

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

В. М. Охріменко, Т. Б. Воронкова

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

**"ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
ТА СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ"**

*(для студентів ЦПО і ЗН освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр
напрямку підготовки 6.060101 Будівництво та слухачів другої вищої освіти
спеціальності 7.06010103 Міське будівництво та господарство)*

Харків
ХНАМГ
2013

Охріменко, В. М. Конспект лекцій з дисципліни «Основи наукових досліджень та системний аналіз» (для студентів ЦПО і ЗН освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр напряму підготовки 6.060101 Будівництво та слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.07010103 Міське будівництво і господарство) / В. М. Охріменко, Т. Б. Воронкова; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2013. – 120 с.

Автори: к.т.н., доц. В. М. Охріменко,
ст. викладач Т. Б. Воронкова

Рецензент: доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
інформаційних систем М. І. Самойленко

Рекомендовано кафедрою «Інформаційні системи і технології в міському господарстві», протокол № 79 від 31.08.2011 р.

© В. М. Охріменко, 2013
© Т. Б. Воронкова, 2013
© ХНАМГ, 2013

ЗМІСТ

Вступ	5
Тема 1. Загальні положення теорії пізнання	6
1.1. Оновні визначення і поняття	6
1.2. Методи наукових досліджень.....	12
1.3. Об'єкт і предмет наукового дослідження.....	17
Запитання для самоконтролю	19
Тема 2. Організація наукових досліджень	20
2.1. Цілі наукових досліджень	20
2.2. Види науково-технічних досліджень.....	23
2.3. Корисність і оцінка економічної ефективності дослідження....	25
2.4. Етапи науково-дослідної роботи	26
Запитання для самоконтролю	27
Тема 3. Системний підхід – методологія наукового дослідження	28
3.1. Загальна характеристика системного підходу.....	28
3.2. Сутність і принципи системного підходу	31
3.3. Загальна теорія систем	34
3.4. Системний підхід у будівництві.....	36
Запитання для самоконтролю	41
Тема 4. Цілі і задачі системного аналізу	41
4.1. Зміст системного аналізу.....	41
4.2. Об'єкт і предмет системного аналізу	44
4.3. Задачі системного аналізу	46
4.4. Принципи системного аналізу.....	49
4.5. Технологія системного аналізу	52
Запитання для самоконтролю	55
Тема 5. Елементи теорії моделювання	55
5.1. Поняття і визначення	56
5.2. Основні вимоги до моделей.....	57
5.3. Принципи моделювання	59
5.4. Види моделей і ознаки їх класифікації.....	60
5.5. Технологія моделювання	63
5.6. Методи моделювання систем	69
Запитання для самоконтролю	73
Тема 6. Моделі складних систем	74
6.1. Модель типу "чорний ящик"	74
6.2. Модель типу "склад системи"	75
6.3. Модель типу "структура системи"	77
6.4. Морфологічна модель системи	79
6.5. Функціональна модель системи	81

6.6. Інформаційна модель системи	83
6.7. Динамічна модель системи.....	87
Запитання для самоконтролю	88
Тема 7. Обробка результатів спостережень і досліджень.....	89
7.1. Обробка результатів дослідження	89
7.2. Елементи теорії планування експерименту	91
Запитання для самоконтролю	91
Тема 8. Планування експериментів.....	92
8.1. Постановка питання планування експерименту	92
8.2. Оцінка якості планів	95
8.3. Нормування факторів	96
8.4. Побудова детермінованих планів	97
8.5. Плани для сумішей	100
Запитання для самоконтролю	103
Тема 9. Дослідження проблеми	103
9.1. Поняття проблеми.....	103
9.2. Проблема як система.	108
9.3. Системний аналіз і вирішення проблеми.	109
Запитання для самоконтролю	118
Список використаних і рекомендованих джерел.....	119

ВСТУП

Сьогодні багато інженерів-дослідників і проектувальників зустрічаються з ситуацією, коли маючи великий обсяг знань вони не здатні ефективно їх реалізувати. В процесі своєї практичної діяльності їм доводиться розв'язувати нестандартні задачі і використовувати для їх розв'язання апріорну інформацію стає небезпечно, так як вона дуже швидко старіє, часто не відповідає тому середовищу і ситуації, в якій вона використовується.

Вихід з цього положення може бути знайдений з допомогою теорії систем і системного аналізу, які орієнтовані на мета знання (знання про знання) і в значно меншій ступені залежать від ситуації, середовища і галузі діяльності і значно повільніше старіють. Методологія системного аналізу ефективно застосовується в наукових дослідженнях і проектно-конструкторських розробках.

Теорія систем займається питаннями побудови моделей складних об'єктів, виявленням їх ізоморфних властивостей. Системний аналіз розглядається як сукупність методологічних засобів, які використовуються для підготовки і обґрунтування рішення складних проблем, виникаючих у процесі взаємовідносин об'єктів з навколишнім середовищем.

Програма дисципліни "Основи наукових досліджень та системний аналіз" орієнтована на студентів що навчаються за напрямом підготовки 6.060101 Будівництво і слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.06010103 Міське будівництво і господарство.

Метою вивчення дисципліни є засвоєння студентами загальних положень організації і проведення наукових досліджень і теоретичних знань із загальної теорії систем і системного аналізу як методологічної основи для дослідження, аналізу і моделювання інженерних систем різного рівня агрегування, здобуття практичних навичок застосування методології системного аналізу при вирішенні проблем проектування і експлуатації будівель і споруд.

Предметом дисципліни є інструментарій системного аналізу і його використання в наукових дослідженнях проблем будівельної галузі.

Тема 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТЕОРІЇ ПІЗНАННЯ

1.1. Основні визначення і поняття

Знання - ідеальне відтворення в мовній і письмовій формі узагальнених представлень про закономірні зв'язки об'єктивного світу.

Функціями знання є узагальнення розрізнених представлень про закономірності природи, суспільства і мислення; збереження в узагальнених представленнях усього того, що може бути передано як стійка основа практичних дій.

Знання є продуктом суспільної діяльності людей, направленої на перетворення дійсності. *Процес руху людської думки від незнання до знання називають пізнанням*, в основі якого лежить відображення об'єктивної дійсності у свідомості людини в процесі її суспільної, виробничої і наукової діяльності, яку називають практикою. Потреби практики виступають основною і рушійною силою розвитку пізнання, його метою. Людина пізнає закони природи, щоб опанувати силами природи і поставити їх собі на службу; вона пізнає закони суспільства, щоб відповідно до них впливати на хід історичних подій.

Пізнання виростає з практики, але потім саме направляється на практичне оволодіння дійсністю. Від практики до теорії і від теорії до практики, від дії до думки і від думки до дійсності - така загальна закономірність відносин людини в навколишній дійсності. Практика є початком, вихідним пунктом і одночасно природним завершенням усякого процесу пізнання. Слід зазначити, що завершення пізнання завжди відносно, тому що в процесі пізнання, як правило, виникають нові проблеми і нові задачі, що були підготовлені і поставлені попереднім розвитком наукової думки. Вирішуючи ці задачі і проблеми, наука повинна випереджати практику і у такий спосіб свідомо направляти її розвиток.

У процесі практичної діяльності людина вирішує протиріччя між наявним положенням речей і потребами суспільства. Результатом цієї діяльності є задоволення суспільних потреб. Зазначене протиріччя є джерелом розвитку пізнання і, природно, знаходить висвітлення в його діалектиці.

Діалектика процесу пізнання виражається в протиріччі між обмеженістю наших знань і безмежною складністю об'єктивної дійсності, між суб'єктивною формою й об'єктивним змістом людського пізнання, у необхідності боротьби думок, що дозволяє шляхом логічних доказів і практичної перевірки встановлювати істину.

Уся наука, усе людське пізнання спрямовані до досягнення істинних знань, що вірно відбивають дійсність. Тільки істинне наукове знання служить людині могутньою зброєю перетворення дійсності, дозволяє прогнозувати її подальший розвиток.

На противагу істинному знанню омана являє собою невірне, ілюзорне відображення світу.

Істинні знання існують у виді законів науки, теоретичних положень і висновків, вчень, підтверджених практикою й існуючих об'єктивно, незалежно від праць і відкриттів вчених. Тому істинне наукове знання об'єктивне. Разом з тим наукове знання може бути відносини і абсолютним.

Відносне знання - знання, будучи в основному вірним відображенням дійсності, відрізняється деякою неповнотою збігу образу з об'єктом.

Абсолютне знання - це повне, вичерпне відтворення узагальнених представлень про об'єкт, що забезпечує абсолютне співпадання образу з об'єктом. Абсолютне знання не може бути спростоване або змінено в майбутньому.

Слід зазначити, що безперервний розвиток практики виключає можливість перетворення знання в абсолютне, але абсолютність практики дозволяє відрізнити об'єктивно істинні знання від оман. Пізнання містить у собі два рівні: почуттєвий і раціональний. Почуттєве пізнання формує емпіричне знання, а раціональне пізнання – теоретичне знання.

Почуттєве пізнання забезпечує безпосередній зв'язок людини з навколишньою дійсністю. Елементами почуттєвого пізнання є відчуття, сприйняття, представлення й уява.

Відчуття - це відображення мозком людини властивостей предметів або явищ об'єктивного світу, що діють на його органи почуттів. **Сприйняття** - відображення мозком людини предметів або явищ у цілому, при чому таких, котрі діють на органи почуттів у даний момент часу.

Сприйняття - це первинний почуттєвий образ предмета або явища.

Представлення - вторинний образ предмета або явища, які у даний момент часу не діють на органи почуттів людини, але обов'язково діяли в минулому. Представлення - це образи, що відновлюються за збереженими у мозку слідами минулих впливів предметів або явищ.

Уява - це з'єднання і перетворення різних представлень у цілісну картину нових образів.

Раціональне пізнання доповнює і випереджає почуттєве, сприяє усвідомленню сутності процесів, розкриває закономірності розвитку. Формою раціонального пізнання є абстрактне мислення.

Мислення - це опосередковане й узагальнене відображення в мозку людини істотних властивостей, причинних відносин і закономірних зв'язків між об'єктами або явищами. *Опосередкований характер мислення* полягає в тому, що людина через доступні органам почуттів, властивості, зв'язки і відносини предметів проникає в сховані властивості, зв'язки, відносини; людина пізнає дійсність не тільки в результаті свого особистого досвіду, але і непрямим шляхом, засвоюючи елементи дійсності в процесі спілкування з іншими людьми. Мислення нерозривно зв'язано з мовою і не може здійснюватися поза нею. Основний інструмент мислення - логічні міркування людини, структурними елементами яких і *формами логічного відображення дійсності є поняття, судження, умовиводи.*

Поняття - це думка, що відбиває істотні і необхідні ознаки предмета або явища. Поняття можуть бути загальними, одиничними, збірними, абстрактними і конкретними, абсолютними й відносними. Загальні поняття пов'язані не з одним, а з безліччю предметів. Більш широкі поняття називаються **категоріями** і до них відносять деякі поняття філософії (про форму і зміст явищ), економічної теорії (товар, вартість) тощо. **Одиничні поняття** відносяться завжди тільки до одного визначеного предмета. Під збірними маються на увазі поняття, що по-

значають цілі групи однорідних предметів, що представляють собою відому єдність, закінчену сукупність (ліс, транспортний потік і т.п.),

Поняття конкретні відносяться до конкретних предметів, а **абстрактні поняття** - до окремо взятих ознак цих предметів, наприклад "білі предмети". Особливістю відносних понять є те, що вони завжди мисляться попарно, наприклад; "правий" і "лівий", "начальник" і "підлеглий". Абсолютними називають такі поняття, що не мають парних відносин, наприклад "планета", "будинок", "дерево".

За ознакою відносин між поняттями їх поділяють на тотожні, рівнозначні, підлеглі, супідрядні, частково згодні, суперечні і протилежні.

Тотожними називають такі **поняття**, що мають однаковий зміст. Це ті самі поняття, тільки виражені в різній словесній формі. **Рівнозначні поняття** мають той самий обсяг, але відрізняються за змістом. Так, наприклад, поняття "автор "Капіталу" і "засновник наукового соціалізму" хоча і відносяться до однієї особи, але вказують на різні його ознаки.

Поняття характеризуються їх обсягом і змістом. **Обсяг поняття** - це коло тих предметів, на які дане поняття поширене. **Змістом** називають сукупність ознак, що об'єднані в даному понятті.

Відносини тотожності і рівнозначності понять мають надзвичайно важливе значення в науці, тому що уможливають заміщення одного поняття іншим. Цією операцією широко користуються в математиці при перетворенні і спрощенні алгебраїчних співвідношень.

Підлеглими називають поняття, що по змісту входять у поняття більш високого рангу або більш загальні. **Супідрядними** є поняття, зв'язані за обсягом (обсяг двох або більше понять входить в обсяг якого-небудь вищого поняття). Наприклад, поняття "багатокутник" і "окружність" є підлеглими поняттю "геометрична фігура" і супідрядними між собою. Якщо окремі частини обсягу понять виявляються співпадаючими, загальними, то їх називають частково узгодженими. У подібному відношенні знаходяться, наприклад, такі поняття, як "студент" і "спортсмен".

Поняття, що заперечує позитивне поняття, називають **суперечним**. Наприклад, поняття "нелюдина" заперечує позитивне поняття "людина". Суперечні поняття не допускають нічого проміжного; одне поняття начисто виключає інше. Якщо поняття вказує не тільки на те, що заперечує, але й на те, що на заміну заперечуваного стверджується, то таке поняття називають **протилежним**. У протилежних понять наявні середні і проміжні поняття. Так, між поняттями "білий" і "чорний" мислиме поняття "сірий".

Для опису процесу формування нових складних понять з більш простих використовується спосіб отримання складних співвідношень з елементарних. Формалізація процесу часто здійснюється мовою теорії множин.

Розкриття змісту **поняття** називають його **визначенням**. Останнє повинно відповідати двом найважливішим ознакам: 1) визначення повинне вказувати на найближче родове поняття; 2) визначення повинне вказувати на те, чим дане поняття відрізняється від інших понять. Так, визначаючи поняття "квадрат", потрібно вказати на те, що квадрат відноситься до роду прямокутників і

виділяється серед прямокутників ознакою рівності своїх сторін. Визначення поняття не повинне бути ні занадто широким, ні занадто вузьким, тобто розмірним і не повинно визначатися самим собою.

Розвиток наукових знань змушує уточнювати визначення понять, вносити нові ознаки в його зміст. При цьому поняття узагальнюється або обмежується. У науковому дослідженні визначення звичайно завершують процес дослідження, закріплюють ті результати, до яких вчений прийшов у своєму дослідженні. Без визначення понять можливо помилкове тлумачення думок автора дослідження. Визначення поняття виявляється можливим у тому випадку, коли ми знаємо, до якого роду воно відноситься і які в нього видові ознаки. Встановлення видових ознак здійснюється за допомогою розподілу поняття. **Розподілом поняття** називається розкриття усіх видів, що входять до складу даного поняття. Якщо визначення має справу зі змістом досліджуваного поняття, то розподіл - з обсягом поняття.

Розподіл підкоряється наступним правилам: 1) члени розподілу повинні вичерпувати обсяг діленого поняття; 2) розподіл повинний вироблятися з погляду однієї визначеної підстави; 3) члени розподілу повинні виключати один одного.

Підставою розподілу називається та ознака, що є загальною для всіх видів, що входять в обсяг даного поняття. Особливим видом розподілу понять є **дихотомія**, або двочленний розподіл, при якому членами розподілу бувають тільки два поняття, з яких одне є суперечним у відношенні іншого.

Судження - це думка, в якій за допомогою зв'язку понять стверджується або заперечується що-небудь. В мові судження виражається у виді речення. Судження - це зіставлення понять, що встановлюють об'єктивний зв'язок між мислимими предметами і їхніми ознаками або між предметом і класом предметів.

Судження поділяють за наступними ознаками: якістю, кількістю, відношенням, модальністю. У свою чергу, за якістю судження поділяються на стверджувальні і негативні, за кількістю - на загальні, часткові й одиничні, за відношенням - на категоричні, умовні і розділові, за модальністю - на проблематичні, аподиктичні й асерторичні. У проблематичних судженнях наявність зв'язку понять відзначається лише з відомим ступенем імовірності. В аподиктичних судженнях вказується, що зв'язок понять є безумовно необхідною. Асерторичні судження вказують тільки на дійсно існуючий зв'язок понять.

З'єднання суджень за кількістю і якістю приводить до чотирьох нових видів суджень: загально стверджуючого, загально негативного, частково стверджуючого і частково негативного.

До судження про предмет або явище людина може прийти або шляхом безпосереднього спостереження якого-небудь факту, або опосередкованим шляхом - за допомогою умовиводу. **Умовивід** - процес мислення, що являє собою послідовність двох або декількох суджень, у результаті яких виводиться нове судження. Часто умовивід називають виводом, виходячи з якого стає можливим перехід від мислення до дії, практики. Разом з тим варто підкреслити, що не всяка послідовність суджень може бути названа умовиводом або висновком. В умовиводі зв'язок двох суджень іноді виявляє підпорядкування, в силу якого

одне (підстава) обумовлює інше (наслідок).

Умовиводи поділяються на дві категорії: **дедуктивні і індуктивні**. Дедуктивні умовиводи являють собою виведення частки випадку з якого-небудь загального положення. В індуктивних умовиводах на підставі окремих випадків приходять до загального положення.

Умовиводи підрозділяються також на **безпосередні й опосередковані**. У безпосередніх умовиводах від одного судження приходять до іншого. В опосередкованих судженнях перехід від одного судження до іншого здійснюється через посередництво третього. Якщо в процесі умовиводу змінюється форма судження, то говорять про її перетворення, наприклад стверджувальне судження стає негативним, і навпаки. При цьому зміст і кількість судження зберігаються. Поняття, судження й умовиводи виражаються в словесній формі і закріплюються в письмовій формі.

У процесі наукового дослідження можна відзначити наступні етапи: виникнення ідей; формування понять, суджень; висування гіпотез; узагальнення наукових факторів; доказ правильності гіпотез і суджень.

Наукова ідея - інтуїтивне пояснення явища без проміжної аргументації, без усвідомлення всієї сукупності зв'язків, на підставі якої робиться висновок. Вона базується на вже наявному знанні, але розкриває раніше не замічені закономірності. Свою специфічну матеріалізацію ідея знаходить у гіпотезі.

Гіпотеза - це припущення про причину, що викликає даний наслідок. Якщо гіпотеза погодиться з фактами, що спостерігаються, то в науці її називають **теорією або законом**. У процесі пізнання кожна гіпотеза піддається перевірці, в результаті якої встановлюється, що наслідки, які випливають з гіпотези, дійсно збігаються з явищами, що спостерігаються, що дана гіпотеза не суперечить ніяким іншим гіпотезам, які вважаються вже доведеними. Але треба підкреслити, що для підтвердження правильності гіпотези необхідно переконатися не тільки в тому, що вона не суперечить дійсності, але й у тому, що вона є єдиною можливою і з її допомогою вся сукупність явищ, що спостерігаються, знаходить собі достатнє пояснення.

З нагромадженням нових фактів одна гіпотеза може бути замінена іншою лише в тому випадку, якщо ці нові факти не можуть бути пояснені старою гіпотезою або їй суперечать. При цьому часто стара гіпотеза не відкидається цілком, а тільки виправляється й уточнюється. В міру уточнення і виправлення гіпотеза перетворюється в закон.

Закон - внутрішній істотний зв'язок явищ, що обумовлює їхній необхідний закономірний розвиток. Закон виражає визначений стійкий зв'язок між явищами або властивостями матеріальних об'єктів.

Закон, знайдений шляхом здогаду, повинний бути потім логічно доведеним, тільки тоді він визнається наукою. Для доказу закону наука використовує судження, що були раніше визнані істинними і з яких логічно випливає доказуване судження. У рідких випадках рівною мірою виявляються доказовими суперечливі судження. У таких випадках кажуть про виникнення парадокса в науці, що завжди свідчить про наявність помилок у логіці доказу або неспроможності вихідних суджень у даній системі знань.

Парадокс у широкому розумінні - це твердження, що різко розходиться з загальноприйнятою, сталою думкою, заперечення того, що представляється "безумовно правильним". Парадокс у вузькому розумінні - це два протилежних твердження, для кожного з яких маються аргументи, що представляються переконливими.

Парадоксальність є характерною рисою сучасного наукового пізнання світу. Наявність парадоксів стає свідченням неспроможності існуючих теорій, вимогою подальшого їх удосконалення.

Виявлення і вирішення парадоксів стало у сучасній науці звичайною справою. Основні шляхи їхнього вирішення: усунення помилок в логіці доказів, удосконалення вихідних суджень у даній системі знань.

Як уже відзначалося, в результаті пророблення і зіставлення з дійсністю наукова гіпотеза може стати теорією.

Теорія (від лат. *terio* - розглядаю) - система узагальненого знання, пояснення тих або інших сторін дійсності. Теорія є духовним, уявним відображенням і відтворенням реальної дійсності. Вона виникає в результаті узагальнення пізнавальної діяльності і практики. Це узагальнений досвід у свідомості людей.

Структуру теорії формують *принципи, аксіоми, закони, судження, положення, поняття, категорії і факти*.

Під **принципом** у науковій теорії розуміють саме абстрактне визначення ідеї (початкова форма систематизації знань). *Принцип - це правило, що виникло в результаті суб'єктивно осмисленого досвіду людей*.

Вихідні положення наукової теорії називаються постулатами або аксіомами.

Аксіома (постулат) - це положення, що береться в якості вихідного, недоведеного в даній теорії, і з якого виводяться всі інші пропозиції і висновки теорії за задалегідь фіксованими правилами. Аксіоми очевидні без доказу. У сучасній логіці і методології науки постулат і аксіома звичайно використовуються як еквівалентні поняття.

Теорія складається з відносно твердого ядра і його захисного поясу. У ядро входять основні принципи. Захисний пояс теорії містить допоміжні гіпотези, що конкретизують її ядро. Цей пояс визначає проблеми, що підлягають подальшому дослідженню, передбачає факти, що не погоджуються з теорією, і витлумачує їх так, що вони перетворюються в приклади, що підтверджують її.

Теорія є найбільш розвинутою формою узагальненого наукового пізнання. Вона включає не тільки знання основних законів, але й пояснення фактів на їхній основі. Теорія дозволяє відкривати нові закони і передбачати майбутнє.

Рух думки від незнання до знання керується методологією. **Методологія** - *філософське вчення про методи пізнання і перетворення дійсності*, застосування принципів світогляду до процесу пізнання, духовної творчості і практики.

У методології виявляються дві взаємозалежні функції: 1) обґрунтування правил застосування світогляду до процесу пізнання і перетворення світу; 2) визначення підходу до явищ дійсності. Перша функція загальна, друга приватна. Загальна функція базується на узагальненні системи поглядів людини на світ у цілому, на місце окремих явищ у світі і на своє власне місце в ньому.

Протилежності в науці виявляються в різних формах, що витікають з конкретно поставлених задач. Це нове і старе, позитивне і негативне, консервативне і революційне. Нове, позитивне і революційне, як більш досконале, пробиває собі дорогу в боротьбі зі старим, віджитим. Не розуміти цього і не вивчати з позицій цього закону факти і явища - виходить, ніколи не підійти до істини.

2.2. Методи наукових досліджень

Метод - це спосіб досягнення мети. Метод поєднує суб'єктивні й об'єктивні моменти пізнання. Метод об'єктивний, тому що в розроблюваній теорії дозволяє відбивати дійсність і її взаємозв'язки. Таким чином, метод є програмою побудови і практичного застосування теорії. Одночасно метод суб'єктивний, тому що є знаряддям мислення дослідника й у якості такого містить у собі його суб'єктивні особливості.

З філософської точки зору методи можна розділити на: **загальні**, що діють у всіх областях науки і на всіх етапах дослідження; **загальнонаукові** (тобто для всіх наук); **часткові** (тобто для визначених наук); **спеціальні або специфічні** (для даної науки).

Такий поділ методів завжди умовний, тому що в міру розвитку пізнання один науковий метод може переходити з однієї категорії в іншу.

До загальнонаукових методів відносяться: спостереження, порівняння, рахунок, вимір, експеримент, узагальнення, абстрагування, формалізація, аналіз і синтез, індукція і дедукція, аналогія, моделювання, ідеалізація, ранжирування, а також аксіоматичний, гіпотетичний, історичний і системні методи.

Спостереження - це спосіб пізнання об'єктивного світу, заснований на безпосередньому сприйнятті предметів і явищ за допомогою органів почуттів без втручання в процес з боку дослідника.

Порівняння - це встановлення розходження між об'єктами матеріального світу або перебування в них загального, здійснюване як за допомогою органів почуттів, так і за допомогою спеціальних пристроїв.

Рахунок - це знаходження числа, що визначає кількісне відношення однотипних об'єктів або їхніх параметрів, що характеризують ті або інші властивості.

Вимір - це фізичний процес визначення чисельного значення деякої величини шляхом порівняння її з еталоном.

Експеримент - одна із сфер людської практики, у якій підлягає перевірці істинність висунутих гіпотез або виявляються закономірності об'єктивного світу. У процесі експерименту дослідник втручається в досліджуваний процес з метою пізнання, при цьому одні умови опиту ізолюються, інші виключаються, треті підсилюються або послаблюються. Експериментальне вивчення об'єкта або явища має визначені переваги в порівнянні зі спостереженням, тому що дозволяє вивчати явище в "чистому виді" за допомогою усунення побічних факторів, при необхідності опити можуть повторюватися й організовуватися так, щоб дослідити окремі властивості об'єкта, а не їхню сукупність.

Узагальнення - визначення загального поняття, у якому знаходить відображення головне, основне, що характеризує об'єкти даного класу. Це засіб для

утворення нових наукових понять, формулювання законів і теорій.

Абстрагування - це уявне відволікання від несуттєвих властивостей, зв'язків, відносин предметів і виділення декількох сторін, що цікавлять дослідника. Воно, як правило, здійснюється в два етапи. На першому етапі визначаються несуттєві властивості, зв'язки та ін. На другому - досліджуваний об'єкт замінюють іншим, більш простим, що є спрощеною моделлю, яка зберігає головне в складному.

Розрізняють наступні види абстрагування: **ототожнення** (утворення понять шляхом об'єднання предметів, зв'язаних за своїми властивостями в особливий клас); **ізолювання** (виділення властивостей, нерозривно пов'язаних з предметами); **конструктивізація** (відволікання від невизначеності границь реальних об'єктів) і, нарешті, **припущення потенційної здійсненості**.

Яскравим прикладом абстрактної моделі дійсності є ідеальний газ, що широко використовується у фізиці, термодинаміці й інших науках.

Формалізація - відображення об'єкта або явища в знаковій формі якої-небудь штучної мови (математики, хімії тощо) і забезпечення можливості дослідження реальних об'єктів і їхніх властивостей через формальне дослідження відповідних знаків.

Аксиоматичний метод - спосіб побудови наукової теорії, при якому деякі твердження (аксіоми) приймаються без доказів і потім використовуються для одержання інших знань по визначеним логічним правилам. Загальновідомою, наприклад, є аксіома про паралельні лінії (не перетинаються), яка прийнята в геометрії без доказу.

Аналіз - метод пізнання за допомогою розчленовування або розкладання предметів дослідження (об'єктів, властивостей і т. д.) на складові частини. У зв'язку з цим аналіз складає основу аналітичного методу досліджень.

Синтез - з'єднання окремих сторін предмета в єдине ціле.

Аналіз і синтез взаємозалежні, вони являють собою єдність протилежностей. Розрізняють наступні види аналізу і синтезу: **прямий або емпіричний метод** (використовують для виділення окремих частин об'єкта, виявлення його властивостей, найпростіших вимірів та ін.); **зворотний або елементарний-теоретичний метод** (базується на представленнях про причинно-наслідкові зв'язки різних явищ); **структурно-генетичний метод** (включає вичленовування в складному явищі таких елементів, що впливають на всі інші сторони об'єкта).

Важливими поняттями в теорії пізнання є: **індукція** - умовивід від фактів до деякої гіпотези (загального твердження) і **дедукція** - умовивід, в якому висновок про деякий елемент множини робиться на підставі знання загальних властивостей усієї множини. Таким чином, дедукція й індукція - взаємообернені методи пізнання, що широко використовують часткові методи формальної логіки. Це методи єдиної подібності (передбачається, що єдина подібна обставина є причиною розглянутого явища); єдиного розходження (передбачається, що єдине розходження обставин є причиною явища); супутніх змін (зміна одного явища приводить до зміни іншого, тому що обидва ці явища знаходяться в причинному зв'язку); залишків (якщо відомо, що деякі із сукупності визначених обставин є причиною частини явищ, то залишок цього явища викликається ін-

шими обставинами).

Одним з методів наукового пізнання є *аналогія*, за допомогою якої досягається знання про предмети і явища на підставі того, що вони мають подібність з іншими. Ступінь імовірності (вірогідності) умовиводу за аналогією залежить від кількості подібних ознак у порівнюваних явищах (чим їх більше, тим більшу імовірність має вивід і вона підвищується, коли зв'язок вивідної ознаки з якою-небудь іншою ознакою відомий більш-менш точно). Аналогія тісно пов'язана з моделюванням або модельним експериментом. Якщо звичайний експеримент безпосередньо взаємодіє з об'єктом дослідження, то в моделюванні такої взаємодії немає, тому що експеримент проводиться не з самим об'єктом, а з його заміником. Прикладом може служити аналогова обчислювальна машина (АВМ), дія якої заснована на аналогії диференціальних рівнянь, що описують як властивості досліджуваного об'єкта, так і електронної моделі.

Гіпотетичний метод пізнання припускає розробку наукової гіпотези на основі вивчення фізичної, хімічної та ін. сутності досліджуваного явища за допомогою описаних вище способів пізнання і потім формулювання гіпотези, складання розрахункової схеми алгоритму (моделі), її вивчення, аналіз, розробку теоретичних положень. Як у соціально-економічних і гуманітарних науках, так і в природних і технічних дослідженнях часто використовують *історичний метод пізнання*. Цей метод припускає дослідження виникнення, формування і розвитку об'єктів у хронологічній послідовності, у результаті чого дослідник одержує додаткові знання про досліджуваний об'єкт (явище) у процесі їхнього розвитку.

При гіпотетичному методі пізнання дослідник нерідко прибігає до ідеалізації - це уявне конструювання об'єктів, що практично нездійсненні (наприклад, ідеальний газ, абсолютно тверде тіло). В результаті ідеалізації реальні об'єкти позбавляються деяких властивих їм якостей і наділяються гіпотетичними якостями.

При дослідженнях складних систем з різноманітними зв'язками, що характеризуються як безперервністю і детермінованістю, так і дискретністю і випадковістю, використовуються *системні методи* (дослідження операцій, теорія масового обслуговування, теорія керування, теорія множин та ін.). В даний час такі методи одержали широке розповсюдження в значній мірі в зв'язку з розвитком ЕОМ.

При аналізі явищ і процесів у складних системах виникає потреба розглядати велику кількість факторів (ознак), серед яких важливо уміти виділяти головні за допомогою методу ранжирування і виключення другорядних факторів, що не впливають істотно на досліджуване явище. Отже, цей метод допускає посилення основних і ослаблення другорядних факторів, тобто розміщення факторів за визначеними правилами в ряд убиваючої або зростаючої за силою фактора послідовності.

Різноманітні методи наукового пізнання умовно підрозділяються на ряд рівнів: емпіричний, експериментально-теоретичний, теоретичний і метатеоретичний рівні.

Методи емпіричного рівня: спостереження, порівняння, рахунок, вимір,

анкетне опитування, співбесіда, тести, метод проб і помилок тощо. Методи цієї групи конкретно пов'язані з досліджуваними явищами і використовуються на етапі формування наукової гіпотези.

Методи експериментально-теоретичного рівня: експеримент, аналіз і синтез, індукція і дедукція, моделювання, гіпотетичний, історичний і логічні методи. Ці методи допомагають дослідникові знайти ті або інші достовірні факти, об'єктивні прояви протікання досліджуваних процесів. За допомогою цих методів реалізується накопичення фактів, їхня перехресна перевірка. При цьому слід підкреслити, що факти мають науково-пізнавальну цінність тільки в тих випадках, коли вони систематизовані, коли між ними розкриті невідповідності залежності, визначені причини наслідку. Таким чином, задача виявлення істини вимагає не тільки збору фактів, але і правильної їх теоретичної обробки. Первісна систематизація фактів і їхній аналіз проводяться вже в процесі спостережень, бесід, експериментів, тому що ці методи включають не тільки акти почуттєвого сприйняття предметів і явищ, але і їхній добір, класифікацію, осмислювання сприйнятого матеріалу, його фіксацію.

Методи теоретичного рівня: абстрагування, ідеалізація, формалізація, аналіз і синтез, індукція і дедукція, аксіоматика, узагальнення та ін. На теоретичному рівні виконується логічне дослідження зібраних фактів, вироблення понять, суджень, робляться умовиводи. В процесі цієї роботи співвідносяться ранні наукові представлення з виникаючими новими. Таким чином, новий теоретичний зміст знань надбудовується над емпіричними знаннями. На теоретичному рівні пізнання широко використовуються логічні методи подібності, розходження, супутніх змін, розробляються нові системи знань, вирішуються задачі подальшого узгодження теоретично розроблених систем з накопиченим новим експериментальним матеріалом.

До методів метатеоретичного рівня відносять діалектичний метод і метод системного аналізу. За допомогою цих методів досліджуються самі теорії і розробляються шляхи їхньої побудови, вивчається система положень і понять даної теорії, встановлюються границі її застосування, способи введення нових понять, улаштовуються шляхи синтезування декількох теорій. Центральною задачею даного рівня досліджень є пізнання умов формалізації наукових теорій і вироблення формалізованих мов, іменованих метамовами.

При вивченні складних, взаємозалежних одна від одної проблем використовується системний аналіз, що одержав широке застосування в різних сферах наукової діяльності людини, і зокрема в логіці, математиці, загальній теорії систем, в результаті чого сформувалися такі науки, як металогіка і метаматематика. **Металогіка** досліджує системи положень і понять формальної логіки, розробляє питання теорії доказів, визначеності понять, істини у формалізованих мовах. **Метаматематика** займається вивченням різних властивостей формальних систем і обчислень.

В основі системного аналізу лежить поняття системи, під якою розуміється безліч об'єктів (компонентів), що мають заздалегідь визначені властивості з фіксованими між ними відносинами. На базі цього поняття виконується облік зв'язків, використовуються кількісні порівняння всіх альтернатив для того, щоб

свідомо вибрати найкраще рішення, оцінюване яким-небудь критерієм, наприклад вимірністю, ефективністю, надійністю тощо.

Системний аналіз використовується для дослідження таких складних систем, як економіка окремої галузі, промислового підприємства, об'єднання, при плануванні й організації технології комплексних будівельних процесів, виконуваних декількома будівельними організаціями тощо.

Системний аналіз складається з основних чотирьох етапів; перший полягає в постановці задачі - визначають об'єкт, цілі і задачі дослідження, а також критерії для вивчення і керування об'єктом. Неправильна або неповна постановка цілей може звести нанівець результати всього подальшого аналізу. Під час другого етапу окреслюються границі досліджуваної системи і визначається її структура; об'єкти і процеси, що мають відношення до поставленої мети, розбиваються на власне досліджувану систему і зовнішнє середовище. При цьому розрізняють замкнуті і відкриті системи. При дослідженні замкнутих систем впливом зовнішнього середовища на їх поведінку зневажають. Потім виділяють окремі складові частини системи - її елементи, встановлюють взаємодію між ними і зовнішнім середовищем. Саме так будується, наприклад, така фундаментальна наука, як термодинаміка.

Останнім часом усе більша увага в техніці приділяється вивченню замкнутих систем, що мають закриті технологічні цикли, так звану "безвідходну технологію". Такі технологічні процеси перспективні як з позицій економіки, так і екології: "чим менше відходів, тим вище рівень виробництва".

Третій, найважливіший етап системного аналізу полягає в складанні математичної моделі досліджуваної системи. Спочатку роблять параметризацію системи, описують виділені елементи системи і їхню взаємодію. В залежності від особливостей процесів використовують той або інший математичний апарат для аналізу системи в цілому.

Слід зазначити, що аналітичні методи використовуються для опису лише невеликих систем в силу їхньої громіздкості або неможливості складання і рішення складної системи рівнянь. Для опису великих систем, їхніх характеристик не тільки якісних, але і кількісних використовуються дискретні параметри (бали), що приймають цілі значення. Наприклад, твердість матеріалів оцінюють балами по шкалі Мооса, енергію сейсмічних хвиль при землетрусах - балами по І. Рихтеру тощо. Методи операцій з дискретними параметрами викладаються в теорії множин і насамперед у таких її розділах, як в алгебрі множин і в алгебрі висловлень (математичній логіці), що складають основу математичного забезпечення сучасних ЕОМ.

Поряд з апаратом алгебри множин і алгебри висловлень при дослідженні складних систем широко використовують ймовірнісні методи, оскільки в них переважають стохастичні процеси. Тому найбільш часто досліджують розвиток процесів з деякою імовірністю або ж визначають імовірність протікання досліджуваних процесів.

Якщо досліджуються складні системи, іменовані як узагальнені динамічні системи, що характеризуються великою кількістю параметрів різної природи, то з метою спрощення математичного опису їх розчленовують на підсистеми,

виділяють типові підсистеми, роблять стандартизацію зв'язків для різних рівнів, ієрархії однотипних систем. Прикладами такого підходу до вивчення складних систем, наприклад керування, є типові збурювання, типові ланки системи з визначеними статичними і динамічними властивостями. В результаті третього етапу системного аналізу формуються закінчені математичні моделі системи, описані формальною, наприклад алгоритмічною, мовою.

Важливим етапом системного аналізу є четвертий. Це аналіз отриманої математичної моделі, визначення її екстремальних умов з метою оптимізації і формулювання висновків.

Оптимізація полягає в знаходженні оптимуму розглянутої функції (математичної моделі досліджуваної системи, процесу) і відповідно знаходженні оптимальних умов поводження даної системи або протікання даного процесу. Оцінку оптимізації роблять за критеріями, що приймають в таких випадках екстремальні значення (наприклад, максимальне знімання продукції з одиниці об'єму пристрою, мінімальну вартість продукції при визначеній продуктивності, мінімальну витрату палива тощо). На практиці вибрати належний критерій досить складно, тому що в задачах оптимізації може виявлятися необхідність у багатьох критеріях, які іноді виявляються взаємно суперечливими. Тому частіше вибирають який-небудь один основний критерій, а для інших установлюють порогові гранично припустимі значення. На підставі вибору складається залежність критерію оптимізації від параметрів моделі досліджуваного об'єкта (процесу). Такий результат дослідження надзвичайно важливий для практичних цілей, дозволяє провести визначену наступну дослідно-конструкторську проробку задачі.

1.3. Об'єкт і предмет наукового дослідження

Об'єкт (лат. *objectum* - предмет) - філософська категорія, що виражає щось, що існує в реальній дійсності (тобто незалежно від свідомості).

Предмет - явище або процес, на які спрямована предметно-практична і пізнавальна діяльність суб'єкта (спостерігача). При цьому як об'єкт може виступати і сам суб'єкт. Як суб'єкт виступає особистість, соціальна група або все суспільство.

Об'єкт - елемент дійсності, взятий без зв'язку з часом; те, що має характеристики і може вступати у відносини; результат виділення з деякої сукупності.

Існує різне розуміння об'єкта і предмета дослідження.

Об'єкт - це процес або явище, що породжує проблемну ситуацію і взяте дослідником для вивчення. **Предмет** - це те, що знаходиться в рамках, в границях об'єкта. Об'єкт - це та частина наукового знання, з якою дослідник має справу. Предмет дослідження - це той аспект проблеми, досліджуючи який, ми пізнаємо цілісний об'єкт, виділяючи його головні, найбільш істотні ознаки. Об'єкт і предмет дослідження як наукові категорії співвідносяться як загальне і частка.

Необхідно підкреслити, що об'єкт і предмет дослідження, так само як і його мета і задачі, залежать не тільки від обраної теми дослідження, але і від задуму дослідника.

Більшість науковців вважають що первинним є об'єкт дослідження (більш широке поняття), а вторинним - предмет дослідження, у якому виділяється визначена властивість об'єкта дослідження. Деякі дослідники не бачать різниці в цих поняттях і ототожнюють предмет і об'єкт дослідження.

Розрізнення об'єкта і предмета - це чисто гносеологічна проблема. Виникає вона завжди там, де з якихось причин перестає працювати методологічна вимога про використання строго визначених понять, і завжди там, де предмет науки, до якої відноситься дана діяльність, ще не виділений і не обґрунтований.

Розходження між об'єктом і предметом виникло в зв'язку з дослідженнями в області гносеології. Вивчаючи об'єктивний світ, ті або інші його сторони, людина виробляє об'єктивні знання про навколишню реальність. Кожен наступний дослідник перш, ніж приступити до вивчення деякого реального об'єкта, зобов'язаний вивчити наявну в суспільстві сукупність знань про цей об'єкт. У цьому випадку *сукупність знань стає предметом вивчення*.

Установлюючи подібності і розходження між окремими об'єктами реального світу, людина фактично виділяє окремі об'єкти, визначає їх як предмети, як потенційні предмети для своєї діяльності, для вивчення. У цьому випадку предмети також являються об'єктивною реальністю, тому що їхнє існування не залежить від людини. Від людини залежить лише сам момент виділення об'єкта. Але виділивши об'єкт, людина перетворює його в предмет діяльності. Це особливість людини перетворювати об'єкт у предмет своєї діяльності. Виділені з об'єктивної реальності окремі об'єкти, стають предметами діяльності людини, і кожний з цих предметів при відповідних умовах може стати предметом, спеціальним предметом специфічної науки.

Таким чином, **об'єкт дослідження** - це *та частина об'єктивної реальності, які досліджує вчений, а сукупність знань про цей об'єкт і сам об'єкт у процесі дослідження - це предмет дослідження*.

Молоток - це об'єкт, що має визначену форму, властивості, має ручку, ударник тощо. Але, як тільки, цим об'єктом (молотком) людин починає забивати цвяхи, молоток стає предметом діяльності, інструментом по забиванню цвяхів.

Поняття "об'єкт пізнання" і "предмет пізнання" виконують неоднакові функції в процесі пізнання. Поняття "об'єкт пізнання" виражає, фіксує об'єктивне існування досліджуваних явищ, їхніх властивостей, зв'язків і законів розвитку. Поняття "об'єкт пізнання" орієнтує дослідників на те, щоб найбільш повно і всебічно відбивати сутнісні, об'єктивні сторони досліджуваного об'єкта в різних формах. Чим повніше і точніше будуть відбиватися ці об'єктивні сторони в знанні, тим глибше за своїм науковим змістом стає це знання. Поняття "об'єкт пізнання" виступає як вихідне поняття для інтерпретації змісту наших знань.

Поняття "предмет пізнання", насамперед, визначає ті границі, у межах яких вивчається той або інший об'єкт. У цьому понятті виражаються і фіксуються ті властивості, зв'язки і закони розвитку досліджуваного об'єкта, що вже включені в наукове знання і виражені у визначених логічних формах. Вихід тієї або іншої науки за границі свого предмета означає або некомпетентне втручання даної науки в сферу інших наук, або появу в даній науці нових наукових на-

прямків, що згодом можуть сформувати свій власний предмет вивчення.

У предметі пізнання в концентрованому виді формулюються пізнавальні задачі тієї або іншої науки, визначаються головні напрямки наукового пошуку, а також можливості рішення відповідних пізнавальних задач засобами і методами даної науки. Адже для того, щоб однозначно охарактеризувати "чим займається" той або інший дослідник, досить вказати предмет його досліджень і використовувані ним методи. Періоди інтенсивного розвитку тієї або іншої науки мають місце в ті моменти, коли розширюється або її предмет, або виникають нові методи. Як приклад можна привести астрономію, що вивчала методом спостереження зоряне небо. З розширенням свого предмета (включивши у свою проблематику пояснення виникнення і розвитку Всесвіту і його елементів), вона перетворилася в астрофізику. Стрибки розвитку останньої відповідають або виникненню нових теорій і їх експериментальному підтвердженню (наприклад, відкриття розширення Всесвіту у 20-х роках ХХ століття), або появі нових експериментальних пристроїв (наприклад, винахід радіотелескопа).

Парадоксальним прикладом відсутності визначення предмета дослідження є такий науковий напрямок як "дослідження операцій". Це область прикладної математики, що вивчає рішення прикладних математичних задач моделювання операцій (цілеспрямованих дій): явищ економіки, виробництва, соціальних систем тощо. Цьому напрямкові в науці присвячена велика кількість досліджень, виділена навіть окрема наукова спеціальність, але, на жаль, ніхто з авторів не сформулював коректно предмет цієї "науки". Все зведено тільки до наборів окремих задач, що вчені можуть сьогодні вирішити. І таке положення справ є характерним для багатьох наукових напрямків, границі яких визначаються не предметом пізнання, не чітко позначеною предметною областю, а сукупністю вже отриманих (іноді розрізнених) теоретичних результатів.

Таким чином, діалектичне співвідношення об'єкта і предмета пізнання має першорядне значення в процесі наукового дослідження. Воно створює можливість наукової інтерпретації змісту сформованих у процесі дослідження знань і строгого визначення тих границь, у межах яких дана наука може вивчати власними засобами і методами об'єктивні явища, їхні властивості, зв'язки і закони розвитку.

Запитання для самоконтролю

1. Дайте пояснення категоріям "знання" і "пізнання"?
2. Поясніть діалектику відносного і абсолютного знання?
3. Дайте пояснення категоріям "відчуття", "сприйняття", "представлення", "уява"?
4. Що розуміється під "науковою ідеєю", "гіпотезою", "законом", "парадоксом"?
5. Дайте класифікацію основних методів наукових досліджень?
6. Які методи емпіричного рівня застосовують в наукових дослідженнях?
7. Які методи теоретичного рівня застосовують в наукових дослідженнях?
8. Дайте загальну характеристику системному аналізу?
9. Що розуміють під об'єктом і предметом наукового дослідження?

Тема 2. ОРГАНІЗАЦІЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Цілі наукових досліджень

Ціль наукового дослідження - всебічне, достовірне вивчення об'єкта, процесу або явища; їхньої структури, зв'язків і відносин на основі розроблених у науці принципів і методів пізнання, а також одержання і впровадження у виробництво (практику) корисних для людини результатів.

Наукові дослідження класифікуються за видами зв'язку з суспільним виробництвом і ступенем важливості для народного господарства; цільовим призначенням; джерелами фінансування і тривалості ведення дослідження.

За видами зв'язку із суспільним виробництвом наукові дослідження підрозділяються на роботи, спрямовані на створення нових технологічних процесів, машин, конструкцій, підвищення ефективності виробництва, поліпшення умов праці, розвиток особистості людини та ін.

За цільовим призначенням виділяють три види наукових досліджень: фундаментальні, прикладні і розробки.

Фундаментальні дослідження спрямовані на відкриття і вивчення нових явищ і законів природи, на створення нових принципів дослідження. Їхньою метою є розширення наукового знання суспільства, встановлення того, що може бути використане в практичній діяльності людини. Такі дослідження ведуться на границі відомого і невідомого, мають найбільший ступінь невизначеності.

Прикладні дослідження спрямовані на знаходження способів використання законів природи для створення нових і удосконалювання існуючих засобів і способів людської діяльності. Ціль - встановлення того, як можна використовувати наукові знання, отримані в результаті фундаментальних досліджень, у практичній діяльності людини.

У результаті прикладних досліджень на основі наукових понять створюються технічні поняття. Прикладні дослідження, у свою чергу, підрозділяються на пошукові, науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи.

Пошукові дослідження спрямовані на встановлення факторів, що впливають на об'єкт, відшукування шляхів створення нових технологій і техніки на основі способів, запропонованих у результаті фундаментальних досліджень. У результаті науково-дослідних робіт створюються нові технології, опитні установки, прилади тощо. Метою дослідно-конструкторських робіт є підбір конструктивних характеристик, визначаючих логічну основу конструкції. У результаті фундаментальних і прикладних досліджень формується нова наукова і науково-технічна інформація. Цілеспрямований процес перетворення такої інформації у форму, придатну для освоєння в промисловості, звичайно називається розробкою. Вона спрямована на створення нової техніки, матеріалів, технологій або удосконалення існуючих. Кінцевою метою розробки є підготовка матеріалів прикладних досліджень до впровадження.

За ступенем важливості для народного господарства наукові дослідження підрозділяються на:

- найважливіші роботи, що виконуються за спеціальними постановами Кабінету Міністрів України;
- роботи, що виконуються за планами галузевих міністерств і відомств;
- роботи, що виконуються з ініціативи і за планами науково-дослідних організацій.

У залежності від джерела фінансування наукові дослідження поділяють на держбюджетні, договірні і не фінансовані. Держбюджетні наукові дослідження фінансуються з засобів державного бюджету. Договірні дослідження фінансуються організаціями-замовниками на основі господарських договорів. Такими організаціями можуть бути як виробничі, так і науково-дослідні.

Не фінансовані дослідження виконуються за договорами про співдружність.

Кожну науково-дослідну роботу можна віднести до визначеного напрямку. Під науковим напрямком розуміється наука або комплекс наук, в області яких ведуться дослідження. У зв'язку з цим розрізняють: технічні, біологічні, соціальні, фізико-технічні, історичні та ін. напрямки з можливою наступною деталізацією. До технічного напрямку можна віднести дослідження в області технічної термодинаміки; до біологічного напрямку - дослідження в області біохімії або генної інженерії тощо.

Таким чином, основою наукового напрямку є спеціальна наука або ряд спеціальних наук, що входять у ту або іншу наукову галузь, а також спеціальні методи дослідження і технічні пристрої (наприклад, газотурбобудування та ін.).

Структурними одиницями наукового напрямку є комплексні проблеми; проблеми, теми і наукові питання. Комплексна проблема являє собою сукупність проблем, об'єднаних єдиною метою; проблема - це сукупність складних теоретичних і практичних задач, рішення яких назріли в суспільстві, Із соціально-психологічних позицій проблема - це відображення протиріччя між суспільною потребою в знанні і відомими шляхами його одержання, протиріччя між знанням і незнанням. Проблема виникає тоді, коли людська практика натрапляє на труднощі або навіть наштовхується на "неможливість" досягнення мети. Проблема може бути глобальною, національною, регіональною, галузевою, міжгалузевою, що залежить від масштабу виникаючих задач. Так, наприклад, проблема охорони природи є глобальною, оскільки її рішення спрямоване на задоволення загальнолюдських потреб. Крім перерахованих розрізняють проблеми загальні і специфічні. До загальних відносять проблеми загальнонаукові, загальнонародні тощо. Загальнонародні проблеми нашої країни сформовані в "Енергетичній стратегії України на період до 2030 року". До них відносяться: структура споживання і виробництва електроенергії, впровадження маловідходних і безвідходних, енерго і матеріалозберігаючих технологічних процесів і систем; забезпечення динамічного і пропорційного розвитку єдиного народно-господарського комплексу країни й ефективна взаємодія всіх його ланок тощо.

Специфічні проблеми характерні для визначених виробництв тієї або іншої промисловості. Так, в автомобільній промисловості такими проблемами є економія палива і створення нових видів палива тощо.

Тема наукового дослідження є складовою частиною проблеми. У результаті досліджень по темі одержують відповіді на визначене коло наукових пи-

тань, що охоплюють частину проблеми. Узагальнення результатів відповідей з комплексу тем може дати рішення наукової проблеми.

Під науковими питаннями звичайно розуміються дрібні наукові задачі, що відносяться до конкретної теми наукового дослідження.

Вибір напрямку, проблеми, теми наукового дослідження і постановка наукових питань є надзвичайно відповідальною задачею. Актуальні напрямки і комплексні проблеми досліджень формулюються в директивних документах уряду нашої країни. Напрямок дослідження часто визначається специфікою наукової установи, галуззю науки, в якій працює дослідник. Тому вибір наукового напрямку для кожного окремого дослідника часто зводиться до вибору галузі науки, в якій він бажає працювати. Конкретизація ж напрямку дослідження є результатом вивчення стану виробничих запитів, суспільних потреб і стану досліджень у тому або іншому напрямку на даному відрізку часу. У процесі вивчення стану і результатів уже проведених досліджень можуть сформулюватися ідеї комплексного "використання декількох наукових напрямків для рішення виробничих задач. Треба при цьому відзначити, що найбільш сприятливі умови для виконання комплексних досліджень мають у вищій школі, у її університетах і політехнічних інститутах, у зв'язку з наявністю в них навчальних наукових шкіл, що склалися в різних областях науки і техніки. Обраний напрямок досліджень часто надалі стає стратегією науковця або наукового колективу, іноді на тривалий період.

При виборі проблеми і тем наукового дослідження спочатку на основі аналізу протиріч досліджуваного напрямку формулюється сама проблема і визначаються в загальних рисах очікувані результати, потім розробляється структура проблеми, виділяються теми, питання, виконавці, встановлюється їхня актуальність.

При цьому важливо вміти відрізнити псевдопроблеми (помилкові, мнимі) від наукових проблем. Найбільша кількість псевдопроблем зв'язана з недостатньою інформованістю науковців, тому іноді з'являються проблеми, ціллю яких виявляються раніше отримані результати. Це приводить до даремних витрат праці вчених і засобів. Разом з тим слід зазначити, що іноді при розробці особливо актуальної проблеми приходиться йти на її дублювання з метою залучення до її рішення різних наукових колективів у порядку конкурсу.

Після обґрунтування проблеми і встановлення її структури визначаються теми наукового дослідження, кожна з яких повинна бути актуальною (важливою, потребуючою якнайшвидшого вирішення), мати наукову новизну, тобто повинна вносити вклад у науку, бути економічно ефективною для народного господарства. Тому вибір теми повинний базуватися на спеціальному техніко-економічному розрахунку. При розробці теоретичних досліджень вимога економічності іноді замінюється вимогою значущості, яка визначає престиж вітчизняної науки.

Кожен науковий колектив (ВНЗ, НДІ, відділ, кафедра) відповідно з своїми традиціями має свій науковий профіль, кваліфікацію, компетентність, що сприяє нагромадженню досвіду досліджень, підвищенню теоретичного рівня розробок, якості й економічної ефективності, скороченню терміну виконання дослідження.

Разом з тим не можна допускати монополію в науці, тому що це виключає змагання ідей і може знизити ефективність наукових досліджень.

Важливою характеристикою теми є можливість швидкого впровадження отриманих результатів у виробництво. Особливо важливо забезпечити широке впровадження результатів у масштабах, наприклад, галузі, а не тільки на підприємстві замовника. При затримці впровадження або при впровадженні на одному підприємстві ефективність таких тем істотно знижується.

Вибору теми повинне передувати ретельне ознайомлення з вітчизняними і закордонними літературними джерелами даної і суміжних спеціальностей. Істотно спрощується методика вибору тем у вченому колективі, що має наукові традиції (свій профіль) і розробляючому комплексну проблему.

При колективній розробці наукових досліджень велику роль здобувають критика, дискусії, обговорення проблем і тем. У процесі дискусії виявляються нові, ще не вирішені актуальні задачі різного ступеня важливості й обсягу. Це створює сприятливі умови для участі в науково-дослідній роботі вузу студентів різних курсів. На першому етапі викладачам доцільно доручити студентам підготовку по темі одного-двох рефератів, провести з ними консультації, визначити конкретні задачі. Велике значення для вибору прикладних тем має чітке формулювання задач замовником (міністерством, об'єднанням тощо.).

При цьому необхідно мати на увазі, що в процесі наукових розробок можливі і деякі зміни в тематиці за вимогою замовника в залежності від виробничої обстановки, що складається.

2.2. Види науково-технічних досліджень

В силу того, що дати повний опис видів науково-технічних досліджень практично неможливо, обмежимося формулюванням задач деяких з них, що найбільш часто зустрічаються. Це зокрема :

1. Одержання інформації про роботу існуючої системи або досліджуваного процесу.

2. Оцінка роботи системи або протікання процесу в порівнянні з передбачуваним за попереднім висновком.

3. Створення і перевірка теорії про роботу досліджуваної машини або системи.

4. Одержання інформації для поліпшення роботи системи, виявлення характеристик або виявлення недоліків у її функціонуванні.

5. Одержання інформації для розробки нової системи. Наприклад, для побудови автоматизованої системи керування виробництвом або ж нової машини (апарата).

6. Створення вимірювальних приладів або методів оцінки роботи існуючої системи.

З перерахованого випливає, що сюди не включено численні цілі досліджень в області хімії, економіки та ін. Фахівець у цих галузях знань легко може додати нові типи досліджень.

По цільовому призначенню дослідження можуть бути об'єднані в два ве-

ликих чітко розділених класи: прикладні і пошукові.

Дослідження з близькою метою можна віднести до класу **прикладних**. Вони проводяться для одержання безпосередньо впроваджуваних у промисловість результатів. Деякі дослідники захоплюються цими дослідженнями, тому що вони часто дають негайний економічний ефект.

Пошукові дослідження переслідують більш далеку мету. Вони необхідні для знаходження нових процесів, для розробки нових теорій, гіпотез, які відкривають шлях для прикладних досліджень.

При наявності попередньої інформації про роботу системи застосовують два підходи, між якими знаходиться більшість науково-технічних досліджень.

До першого типу відносяться дослідження систем, робота яких досить добре відома. У цьому випадку є теорія, яка задовільно описує роботу системи, розроблена математична модель, відомі аналогічні дослідження. Це, наприклад, зняття характеристик насоса, елемента системи автоматичного регулювання, апробація нової машини тощо. Планування експерименту в цьому випадку звичайно має на меті одержання характеристик апарата або значень коефіцієнтів теоретично виведених рівнянь, що описують роботу системи. Вимірвальна апаратура в цьому випадку стандартна.

До другого типу відносять дослідження систем, про роботу яких мало або нічого не відомо. В перші роки розвитку кібернетики метод дослідження таких систем одержав умовну назву методу "чорного ящика".

Система, про роботу якої нічого не відомо, розглядається як закритий ящик. Дослідник не будує інформаційну модель процесу, що протікає усередині ящика, і, тим більше, він не будує математичну модель. Ящик досліджується шляхом спостереження за його функціонуванням або шляхом систематичних впливів на входи, відмічаючи відповідну реакцію на "виходах". Отриманий в такий спосіб емпіричний опис роботи ящика звичайно оформляється у виді статистичної залежності $Y_i = f(X_i)$, багаточленом першого або другого порядку, тобто так званою регресійною залежністю. Така статистична залежність є лише першим кроком у процесі вивчення об'єкта, тому що апроксимуюча формула не може замінити знання суті фізичних явищ, що відбуваються в системі.

Розглянемо характерні процеси або явища в об'єктах дослідження.

1. Процеси або явища, про які є достатня інформація, де відомі основні діючі сили, початкові і граничні умови. Це в основному детерміновані процеси, при дослідженні яких можна застосовувати гіпотетико-дедуктивний метод. Наприклад, вивчення динаміки машин, пристроїв.

2. Процеси або явища, про які є достатня інформація про характер сил, граничні умови, але складність протікання цих процесів не дозволяє одержати дедуктивним шляхом ефективні математичні моделі. Основним методом вивчення в цьому випадку є експериментальне дослідження і фізичне моделювання для виявлення результуючих діючих сил, побудова критеріїв, а також ролі граничних умов. Це процеси руху потоків рідини і газу в багатофазних середовищах, каналах або апаратах складної конфігурації, а також процеси із значними тепловими перепадами і явищами, що відбуваються в складних електромагнітних полях.

3. Процеси або явища, обумовлені численними факторами, і ймовірнісні процеси. Основна задача дослідження в цьому випадку заключається у визначенні дослідним шляхом статистичних характеристик і їхньої залежності від деяких факторів. Це, наприклад, процеси розподілу механічних сумішей і їхнього утворення, передача сигналів при істотному впливі завад, робота машин і апаратів при наявності спотворюючих факторів.

4. Процеси або явища, що відбуваються в складних системах, поводження яких визначається в значному ступені їхньою структурою. Системи автоматичного регулювання, керування і синтез ієрархічних систем, а також розподіл ресурсів. Основний метод дослідження полягає в побудові і вивченні математичних моделей.

2.3. Корисність і оцінка економічної ефективності дослідження

Економічне обґрунтування є вихідним питанням, на яке необхідно відповісти перш, ніж приступити до розробки. Будь-яка операція повинна бути необхідною, реалізуємою й окупною. Дати загальні рекомендації з цього питання дуже важко, тому що мова йде про окупність науки. У науково-технічних дослідженнях прикладного типу на це питання можна відповісти на підставі розроблених методик розрахунку економічної ефективності. У пошукових роботах, очевидно, кращим типом оцінки є експертна оцінка. Для цього необхідно провести аналіз відповідей фахівців на питання такого характеру:

Чи перспективний даний напрямок?

Які корисні результати для суспільства і, зокрема, для народного господарства, дасть рішення задачі?

В яких ще галузях можна буде застосувати результати дослідження та ін?

Цікавих об'єктів дослідження багато. Досліджень, що реалізуються за даних умов, також чимало. Однак число досліджень, що окупаються, у самому широкому обсязі цього поняття набагато менше. Найбільш вагомим критерієм може бути відповідь на питання про те "що дасть суспільству повне рішення поставленої задачі?"

У ряді випадків при плануванні тем виникає потреба у виборі найбільш перспективних, економічно обґрунтованих тем. Тоді оцінку необхідності розробки теми визначають за критеріями, найпростішим з яких є критерій економічної ефективності $k_e = E_p/V_d$, де E_p - передбачуваний економічний ефект від впровадження; V_d - витрати на наукові дослідження.

Чим більше значення k_e , тим ефективніше тема і вище її народногосподарська ефективність.

Але критерій k_e не враховує обсяг впроваджуваної продукції, період впровадження, тому більш об'єктивним є критерій, що обчислюється за формулою

$$k_e = \frac{B_n \sqrt{T}}{3_z},$$

де B_n - вартість продукції за рік після освоєння наукового дослідження і впровадження у виробництво; T - тривалість виробничого впровадження в роках;

Z_3 - загальні витрати на виконання наукового дослідження, досліднене і промислове освоєння продукції і річні витрати на її виготовлення за новою технологією.

Економічність є найважливішим критерієм перспективності теми. Однак при оцінці великих тем цього критерію виявляється недостатньо і потрібна більш загальна оцінка, що враховує й інші показники. У цьому випадку часто використовується експертна оцінка, що виконується спеціально підібраним складом висококваліфікованих експертів (звичайно від 7 до 15 чоловік). З їхньою допомогою в залежності від специфіки тематики, її напрямку або комплексності встановлюються оцінні показники тем. Тема, що одержала максимальну підтримку експертів, вважається найбільш перспективною.

2.4. Етапи науково-дослідної роботи

Науково-дослідна робота виконується у визначеній послідовності. Спочатку формулюється сама тема в результаті загального ознайомлення з проблемою, у рамках якої треба виконати дослідження і розробляється основний вихідний предплановий документ - техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) теми. Тільки при наявності такого обґрунтування можливе подальше планування і фінансування теми замовником. У першому розділі ТЕО теми вказуються причини розробки (її обґрунтування), приводиться короткий літературний огляд, у якому описуються вже досягнутий рівень досліджень і раніше отримані результати. Особлива увага надається ще не вирішеним питанням, обґрунтуванню, актуальності і значимості роботи для галузі і народного господарства країни. Такий огляд дозволяє намітити методи рішення, задачі й етапи дослідження, визначити кінцеву ціль виконання теми. Сюди входять патентне пророблення теми й визначення доцільності закупівлі ліцензій.

На стадії складання ТЕО встановлюється область використання очікуваних результатів НДР, можливість їхньої практичної реалізації в даній галузі, визначається передбачуваний (потенційний) економічний ефект за період застосування нової техніки (що залежить від тривалості розробки НДР і ОКР, етапів завершення і впровадження окремих питань). Крім економічного ефекту в ТЕО вказуються очікувані соціальні результати (ріст продуктивності праці, якості продукції, підвищення рівня безпеки і виробничої санітарії, забезпечення охорони природи і навколишнього середовища). В результаті складання ТЕО робиться висновок про доцільність і необхідність виконання НДР і ОКР. Техніко-економічне обґрунтування затверджується галузевим міністерством. Після затвердження ТЕО конкретизуються цілі і задачі дослідження. Складається бібліографічний список вітчизняної і закордонної літератури, науково-технічних звітів за темою різних організацій відповідного профілю, складаються анотації літературних джерел і в разі потреби реферати за темою, усвідомлюються явища, процеси, предмети, що повинні охопити конкретне дослідження, а також методи дослідження (експериментальні, теоретичні тощо).

Метою теоретичних досліджень є вивчення фізичної сутності предмета. У результаті налаштовується фізична модель, розробляються математичні моделі

й аналізуються отримані таким чином попередні результати.

Перед організацією експериментальних досліджень уточнюються задачі, вибираються методика і програми експерименту. Його ефективність істотно залежить від вибору засобів вимірів. При вирішенні цих задач необхідно керуватися інструкціями і стандартами.

Прийняті методичні рішення формулюються у виді методичних вказівок на проведення експерименту.

Після розробки методик дослідження складається робочий план, у якому вказуються обсяг експериментальних робіт, методи, техніка, трудомісткість і терміни.

Після завершення теоретичних і експериментальних досліджень проводиться загальний аналіз отриманих результатів, здійснюється зіставлення гіпотези з результатами експерименту. У результаті аналізу розходжень уточнюються теоретичні моделі. В разі потреби проводяться додаткові експерименти. Потім формулюються наукові і виробничі висновки, складається науково-технічний звіт.

Наступним етапом розробки теми є впровадження результатів досліджень у виробництво і визначення їх дійсної економічної ефективності. Впровадження фундаментальних і прикладних наукових досліджень у виробництво здійснюється через розробки, проведені, як правило, у дослідно-конструкторських бюро, проектних організаціях, дослідних заводах і майстернях. Розробки оформляються у виді дослідно-технологічних або дослідно-конструкторських робіт, що включають формулювання теми, мети і задачі розробки; вивчення літератури; підготовку до технічного проектування експериментального зразка; технічне проектування (розробка варіантів технічного проекту з розрахунками і розробкою креслень); виготовлення окремих блоків, їхнє об'єднання в систему; узгодження технічного проекту і його техніко-економічне обґрунтування. Після цього виконується робоче проектування (детальне пророблення проекту); виготовляється дослідний зразок; проводиться його випробування, доведення і регулювання; стендові і виробничі іспити. Після цього здійснюється доробка дослідного зразка (аналіз виробничих іспитів, переробка і заміна окремих вузлів).

Успішне виконання перерахованих етапів роботи дає можливість представити зразок до державних іспитів, в результаті яких зразок запускається в серійне виробництво. Розроблювачі при цьому здійснюють контроль і дають консультації.

Впровадження завершується оформленням акта економічної ефективності результатів дослідження.

Запитання для самоконтролю

1. Які цілі наукових досліджень?
2. Поясніть які бувають види науково-технічних досліджень?
3. Як оцінюються корисність і економічна ефективність дослідження?
4. Які основні етапи науково-дослідної роботи?
5. Поясніть особливості пошукових досліджень?
6. Поясніть особливості прикладних досліджень?

Тема 3. СИСТЕМНИЙ ПІДХІД – МЕТОДОЛОГІЯ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Загальна характеристика системного підходу

У процесі розвитку цивілізації і пізнання людиною навколишнього світу, з погляду філософії, беруть участь два головних елементи пізнавального процесу - суб'єкт і об'єкт пізнання. Під *суб'єктом* розуміють індивіда або співтовариство індивідів, яке володіє певним рівнем знання і здійснює пізнання або перетворення дійсності. Тобто суб'єктом пізнання виступає суспільно-історична істота, яка наділена свідомістю, здатністю до цілеспрямованої, предметної, творчої діяльності. З цієї точки зору суб'єкт пізнання, якщо брати його у всій повноті соціальних визначень і духовно-практичних характеристик, - це не тільки окрема людина, а й соціальна група, клас, суспільство, що уособлює ту чи іншу історичну епоху.

Об'єкт пізнання - це та сторона дійсності (навколишнього світу, буття) яка потрапила в коло практичної й пізнавальної діяльності людини. Сфера об'єкта пізнання в міру розвитку суспільства постійно розширюється. Об'єкт пізнання зазвичай визначався шляхом виділення частини об'єктивної реальності, яку включали у людську виробничу та пізнавальну діяльність. В подальшому об'єктом пізнання стає й саме пізнання (мислення людини), і також абстрактні, не існуючі в природі об'єкти (наприклад, математичні поняття як об'єкт науки математики).

Розвиток людства призвів до появи розмаїття наукових дисциплін, які стали теоретичним фундаментом перетворення дійсності і створення складних технічних пристроїв. У першій половині ХХ століття розроблювачі нової техніки зустрілися з проблемами, зумовленими її структурною складністю: великою кількістю складових і зв'язків між ними. У цей самий час з'являються нові наукові напрями, такі як кібернетика, теорія інформації, теорія прийняття рішень, дослідження операцій та ін., предметом вивчення яких стали інформаційні і структурні аспекти досліджуваних об'єктів і явищ.

Ці наукові напрями стали основою створення нової методології – *системного підходу*. Термін "системний підхід" почав використовуватися в перших роботах, в яких елементи нового наукового напрямку - загальної теорії систем використовувалися для практичних застосувань. Використовуючи цей термін, підкреслювали необхідність дослідження об'єкта з різних сторін, комплексно, на відміну від раніше прийнятого поділу досліджень на фізичні, хімічні та ін. Виявилось, що за допомогою багатоаспектних досліджень можна отримати більш повне уявлення про реальні об'єкти, виявити їхні нові властивості, краще визначити взаємини об'єкта з зовнішнім середовищем, з іншими об'єктами.

В рамках нової методології об'єкт дослідження назвали системою, його окремі складові частини - підсистемами, складові підсистеми - елементами системи, а більш загальний об'єкт, частиною якого є об'єкт дослідження – надсистемою (метасистемою), а саму методологію створення й удосконалення об'єк-

тів-систем - системним підходом.

Засновники системного підходу звернули увагу на те, що будь-який об'єкт складається з деякої множини складових частин, і його властивості проявляються в результаті взаємодії цих частин одна з одною в процесі виконання певної функції.

Для складних систем, з якими все частіше приходилось мати справу на практиці, застосування класичного експериментального методу дослідження обмежене його високою вартістю, а в ряді випадків (екологія, макроекономіка та ін.) натурні експерименти стають або зовсім неможливими, або, принаймні, надто, ризикованими. Тому як основний метод дослідження складних систем стали використовувати метод *машинного експерименту* – метод пізнання, заснований на використанні системних імітаційних моделей.

Системний підхід сформувався як напрям методології наукового пізнання і соціальної практики, в основі якого лежить розгляд об'єктів як системи. Системний підхід орієнтує дослідника на розкриття цілісності об'єкта, на виявлення різноманітних зв'язків у ньому і зведення їх у єдину теоретичну картину [1.1].

Отже, у другій половині ХХ сторіччя сформувалася *системологія* – між-дисциплінарна наука про системи і системну організацію процесів і явищ природи, науки, техніки, суспільних формацій, функціональних утворень і структур. Сьогодні системологія проникає в природничо-наукові і гуманітарні, теоретичні і прикладні науки, узагальнюючи різні дані про системи і виводячи основні закономірності їхньої появи, розвитку і перетворення.

В умовах ринкової економіки та інтенсивного розвитку технологій керівник повинен сприймати, переробляти і систематизувати величезний обсяг інформації та знань, які необхідні для прийняття управлінських рішень. Йому необхідна системна методологія, за допомогою якої можливо співвідносити одні напрямки діяльності своєї організації з іншими, знаходити раціональні управлінські рішення.

Системний підхід являє собою сукупність методів і засобів, що дозволяють досліджувати властивості, структуру і функції об'єктів і процесів у цілому, представивши їх як систему із складними міжелементними взаємозв'язками, взаємним впливом елементів на систему і на середовище, а також впливом самої системи на її структурні елементи.

Принцип системного підходу вимагає розглядати досліджуваний об'єкт як комплекс взаємозалежних підсистем та елементів, об'єднаних загальною метою, дозволяє розкрити його інтегральні властивості, а також внутрішні і зовнішні зв'язки [1.10]. Особливістю системного підходу є оптимізація функціонування не окремих елементів, а всієї системи в цілому. Системний підхід може застосовуватися як на етапі аналізу системи, так і на етапі синтезу цієї системи. Об'єкти розглядають як системи, що складаються з закономірно структурованих і функціонально організованих елементів. Системний підхід - це систематизація й об'єднання предметів або знань про них шляхом встановлення істотних зв'язків між ними. Він припускає послідовний перехід від загального до складової

частки, коли в основі розгляду лежить конкретна кінцева мета, для досягнення якої функціонує дана система. Такий підхід означає, що кожна система є інтегрованим цілим навіть тоді, коли вона складається з відокремлених роз'єднаних підсистем.

Отже, *сутність системного підходу* полягає в комплексному, цілісному розгляді та вирішенні різних аспектів і сторін проблем формування, функціонування і поліпшення складних систем. Системний підхід замість інтуїтивних рішень, заснованих на практичному досвіді і здоровому глузді фахівців, висуває методи раціональних, якісних і кількісних оцінок. При системному підході всі часткові локальні цілі і задачі підкоряються загальній глобальній меті.

Особливість системного підходу полягає в тому, що при вивченні будь-якого складного об'єкту або процесу в першу чергу виявляють й аналізують найбільш загальні характерні для них системні аспекти, що визначають їхнє функціонування і розвиток. Використання системного підходу дозволяє побачити в новому світлі об'єкти і процеси, які здавалися добре вивченими. При цьому часто вдається виявити раніше не помічені властивості, важливі для розуміння сутності процесів і визначення тенденцій їхнього розвитку.

Методологія системного підходу дозволяє абстрагуватися від конкретного виду об'єкту та досліджувати вплив на його властивості кількості і розмаїтості його складових частин, а також особливостей їхньої взаємодії одна з одною. Знайдені закономірності враховуються при створенні нових та удосконаленні вже існуючих об'єктів.

Таким чином, в рамках системного підходу *система* - це будь-який об'єкт, що розглядається як *цілісна сукупність визначеної множини взаємодіючих частин і одночасно як складова частина більш загального об'єкта*.

Будучи методологічним напрямом у науці, основна задача якого полягає в розробці методів дослідження складних об'єктів, системний підхід став історичним етапом у розвитку методології наукового дослідження, способів пояснення та опису сутності об'єктів, процесів і явищ. У його арсеналі - методи вироблення, прийняття й обґрунтування рішень при створенні і керуванні складними системами.

Зазначені особливості системології і системного аналізу визначають їхнє особливе місце в структурі наукових дисциплін [1.11] (рис. 3.1). З одного боку, системологія, базуючись на ідеології системного підходу, являє собою дослідницьке поле, на якому спеціальна наука "усвідомлює характер, стан і відповідність (або невідповідність) наявних або створюваних нею методологічних засобів специфічним задачам дослідження і конструювання складних об'єктів". З іншого боку, системний аналіз виступає своєрідним координатором та інтегратором, що дозволяє в процесі вирішення конкретної системної проблеми перетворити конгломерат спеціальних дисциплін у систему знань і методів, що має чітку цільову спрямованість та керувану ієрархічну структуру. Завдяки цьому не тільки створюються умови для прискореного впровадження наукових результатів у практику, але відбувається органічне інтегрування фундаментальних і прикладних знань у цілеспрямований комплекс, що дозволяє розв'язувати

проблеми, які не можна вирішити в рамках окремих дисциплін та часткових підходів.

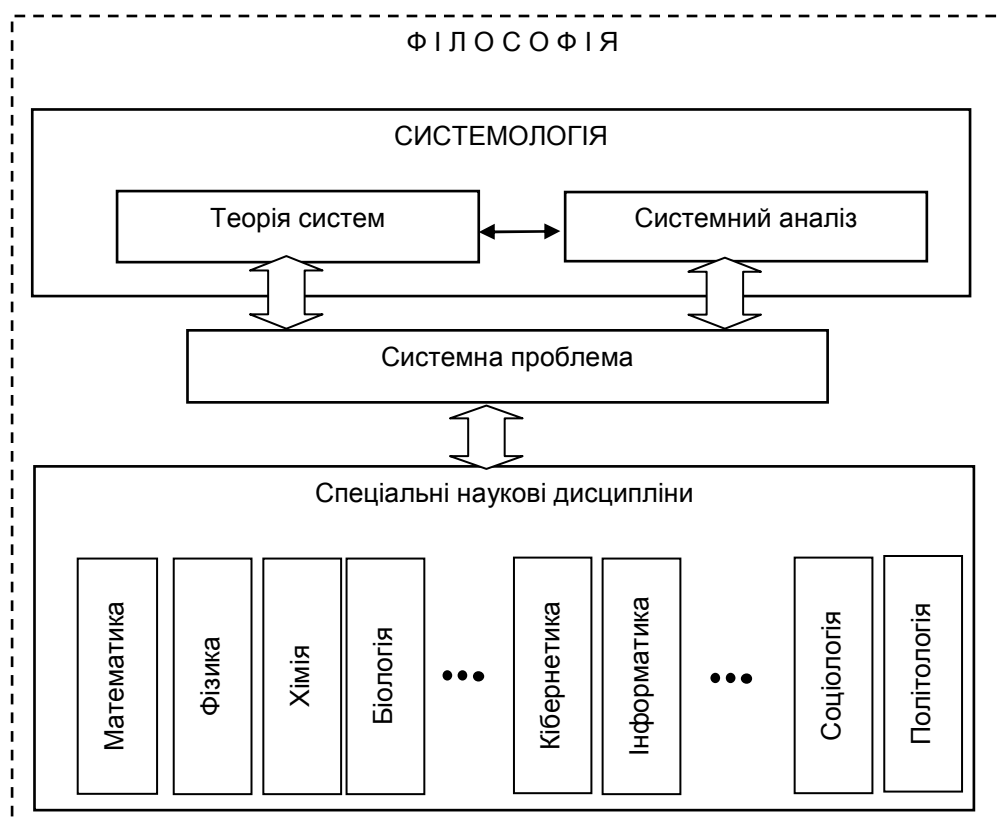


Рис. 3.1 - Місце системного аналізу в структурі наукових дисциплін

3.2. Сутність і принципи системного підходу

Виходячи з розглянутого в п. 3.1, можна дати наступне визначення поняття **системний підхід** – це напрям методології наукового пізнання і соціальної практики, в основі якого лежить розгляд об'єктів як систем, і який являє собою сукупність методів і засобів, що дозволяють досліджувати властивості, структуру і функції об'єктів і процесів у цілому, представивши їх як системи із складними міжелементними взаємозв'язками, взаємовпливом елементів на систему і на оточуюче середовище, а також впливом самої системи на її структурні елементи.

Системологію, як галузь науки, умовно можна розділити на дві частини:

- теоретичну: яка використовує такі напрями як теорія ймовірностей, теорія інформації, теорія ігор, теорія графів, теорія розкладів, теорія рішень, топологія, факторний аналіз та ін.;
- прикладну, засновану на прикладній математичній статистиці, методах дослідження операцій, системотехніці та ін.

Системологія широко використовує досягнення багатьох галузей науки, і це використання безупинно розширюється.

Разом з тим, системологія має свій особливий метод - **системний підхід** до виникаючих задач. **Сутність цього методу** у спрощеному формулюванні

полягає в тому, що всі елементи системи, всі процеси і всі зв'язки в системі повинні розглядатися тільки як одне ціле, тільки в сукупності, тільки у взаємозв'язку один з одним.

Історичний досвід розв'язання системних проблем свідчить про те, що локальні рішення, урахування недостатньої кількості факторів, локальна оптимізація на рівні окремих елементів системи майже завжди приводили до неефективного в цілому, а іноді й небезпечного за наслідками, результату.

Розглянемо основні принципи системного підходу [1.6, 1.8].

1. **Принцип багатоплановості** полягає в тому, що будь-який об'єкт розглядають в декількох планах (аспектах):

- як певну якісну одиницю, що має свої специфічні особливості;
- як частину своєї видово-родової макросистеми, закономірностям якої підкоряється досліджуваний об'єкт або явище;
- у плані мікросистем, закономірностям яких він теж підкоряється;
- у плані його зовнішніх взаємодій та ін.

2. **Принцип багатомірності** полягає в тому, що будь-який складний об'єкт характеризується великою сукупністю властивостей, об'єднаних у групи (кластери), кожна з яких описує ті або інші його особливості. Об'єктивний опис об'єкту можна одержати тільки в тому випадку, якщо досліджуються всі групи властивостей і зв'язки між ними.

3. **Принцип ієрархічності** полягає в тому, що вивчення складних об'єктів має базуватися на уявленні про ієрархічність їхньої структури, тобто на уявленні про розташування частин або елементів цілого в порядку від вищого до нижчого. Ієрархічну структуру мають не тільки моделі складу системи (системи-підсистеми-елементи), а також властивості якості цих систем і критерії, застосовувані при їхній оцінці.

4. **Принцип різнопорядковості властивостей** полягає в тому, що ієрархічність побудови системи і її властивостей породжує закономірності різного порядку. Одні закономірності властиві всім рівням ієрархії, тобто всій системі. Інші належать тільки певній групі рівнів, треті характерні тільки для елементів одного рівня, а четверті - тільки для окремих елементів одного рівня.

5. **Принцип динамічності** полягає в тому, що системний підхід вимагає розгляду досліджуваних об'єктів у їхньому розвитку на всіх етапах їхнього життєвого циклу.

Динамічність властива системам будь-якої природи, вона змінює їх у кожний момент часу так, що система в кожному мить змінює свої параметри. І що характерно: незворотність і мінливість систем є основою їхнього розвитку. Поступове накопичення незворотних змін в ході безперервного оновлення призводить, у кінцевому підсумку, до глибоких якісних змін сутності систем.

Яскраво виражений динамічний характер мають живі і соціальні системи, які, розвиваючись, з одного боку, зберігають свою якісну специфіку, з іншого - набувають інноваційні риси і властивості.

6. **Принцип цілісності** вимагає розглядати об'єкт в єдності його взаємодіючих частин. Цілісний об'єкт виявляє властивості і способи дії, які не можна

пояснити простим підсумовуванням властивостей і способів дії частин, що його утворюють. Сама цілісність розглядається як здатність об'єкта як цілого протистояти збуджуючим діям навколишнього середовища, зберігаючи при цьому свою специфіку і якісну визначеність. Цілісність є результатом більшої інтенсивності і сили внутрішніх зв'язків системи, але порівняно з її зовнішніми зв'язками і їхнім впливом.

7. Принцип максимуму ефективності систем. Досить важливим атрибутом системи є її ефективність. Теоретично доведено, що завжди існує функція цінності системи - у вигляді залежності її ефективності (часто це економічний показник) від умов побудови й функціонування. Окрім того, ця функція обмежена, а це означає, що вона має максимум. Максимум ефективності системи може вважатися третім її основним принципом.

Принципи системного підходу лежать в основі системної методології управління і реалізуються в конкретних аспектах системного вивчення об'єктів. Будь-яка складна система вимагає двостороннього вивчення і аналізу. По-перше, її потрібно розглядати в її предметному бутті, в статичі, ізольовано від навколишнього середовища і без врахування динаміки її реального існування. Тільки при такій "зупинці" пізнання здатне схопити сутність, описати, змоделювати структуру і будову самої системи.

По-друге, систему потрібно вивчити в динаміці її дійсного існування, яка проявляється двояко: з одного боку, рух системи як процес її функціонування, що відображає її діяльність, з іншого - рух системи як її розвиток (виникнення, становлення, еволюція, руйнування і перетворення).

Відповідно до цього адекватне модельне уявлення про складно-динамічну систему потребує поєднання трьох основних аспектів її дослідження: структурного, функціонального та генетичного, які і є необхідними і достатніми методологічними підставами системного підходу.

Структурний аспект системного дослідження включає вирішення двох взаємопов'язаних завдань: виявлення компонентів (підсистем) з яких складається система, і визначення того, як ці компоненти між собою пов'язані. Інакше кажучи, він визначає закономірний спосіб їхнього зв'язку. Тут ми маємо справу з аналізом підсистем (частин) і структури даної системи.

Функціональний аспект дослідження системи так само має два напрями: по-перше, вивчення внутрішнього функціонування, механізму взаємодії елементів усередині даної системи, по-друге, аналіз її зовнішнього функціонування - взаємодії системи з навколишнім середовищем.

Внутрішнє функціонування досліджують як процес взаємодії елементів, спрямованих на збереження системи, здійснення її головної функції, яку вона виконує в складі системи більш високого порядку ("метасистеми"). Залежно від такої спрямованості окремі елементи системи можуть бути функціональними, дисфункціональними та функціонально нейтральними (байдужими) до існування системи. На цій підставі встановлюється необхідний і достатній склад елементів системи.

Зовнішнє функціонування системи можна уявити або в кібернетичних поняттях про прямий і зворотний зв'язок з середовищем ("чорний ящик"), або

описати як обмін речовиною та енергією із середовищем, у процесі якого середовище впливає на систему, остання сприймає і відбиває ці впливи відповідно до своєї внутрішньої природи. При кожному такому акті структура системи знає зворотні (іноді незворотні) зміни у відповідності з природою впливу.

Таким чином, зовнішнє і внутрішнє функціонування системи становлять єдине ціле. Відбиваючи вплив, система сама активно впливає на середовище, свідомо чи несвідомо, навмисно або не навмисно. Тут відбувається взаємодія і взаємовідбиття середовища та системи, їх взаємодетермінація і взаєморецептивність. Система адаптується до середовища і одночасно середовище адаптується до системи.

Генетичний аспект включає історичний і прогностичний вектори дослідження. Перший ставить своїм завданням висвітлити походження даної системи, процес її формування та розвитку аж до того моменту, коли система стала об'єктом вивчення. Прогностичний же вектор пов'язаний з розглядом перспектив подальшого розвитку системи, її можливого науково передбачуваного майбутнього.

3.3. Загальна теорія систем

Як було відзначено у вступі, з позиції системності Світу, він складається з систем і сам є системою. Поняття "система" пронизує усе, що наповнює Світ в якому ми існуємо і розвиваємося.

Вважають, що перші уявлення про системи виникли в античній філософії, що висунула онтологічне тлумачення системи як впорядкованості і цілісності буття. Ще в давньогрецькій філософії і науці (Евклід, Платон, Аристотель, стоїки) розроблялася ідея системності знання (аксіоматична побудова логіки, геометрії). Ідеї та уявлення про системність буття, започатковані в античності, продовжували розвиватися як у системно-онтологічних концепціях Б. Спінози і Г. Лейбніца, так і в побудовах наукової систематики 17-18 ст., яка прагнула до природної (а не теологічної) інтерпретації системності світу. Поняття про систему використовувалося при дослідженні наукового знання і спектр пропонуваніх рішень був дуже широкий.

Згідно І. Канту, наукове знання є системою, в якій ціле переважає над складовими. Ф. Шеллінг і Г. Гегель трактували системність пізнання як найважливішу вимогу діалектичного мислення. У буржуазній філософії 2-ї половини XIX і початку XX ст. при загальному ідеалістичному вирішенні основного питання філософії мають місце постановки, а в окремих випадках і рішення деяких проблем системного дослідження - специфіки теоретичного знання як системи (неокантіанство), особливостей цілого (холізм), методів побудови логічних і формалізованих систем (неопозитивізм).

На противагу цьому в марксистській філософії основою дослідження систем був прийнятий принцип матеріалістичної діалектики, тобто загального зв'язку явищ, розвитку, протиріччя та ін. (К. Маркс і Ф. Енгельс).

З другої половини XIX ст. почалося інтенсивне проникнення поняття системи в різні області конкретно-наукового знання. Важливе значення для цього

мало створення еволюційної теорії Ч. Дарвіна (1859 р.), теорії відносності, квантової фізики, структурної лінгвістики та ін. Виникла задача побудови строгого визначення поняття системи і розробки оперативних методів аналізу систем, яку остаточно не вирішено й зараз.

У 40-50-х рр. ХХ ст. для задоволення потреб стрімкого розвитку складних систем життєзабезпечення людини, кібернетики, електроніки та інформатики з новою силою почалися інтенсивні дослідження системної проблематики.

Запропонована наприкінці 40-х рр. австрійським біологом Л. Берталанфі ідея побудови "*загальної теорії систем*" (ЗТС) стала однією з перших спроб узагальненого аналізу системної проблематики. Л. Берталанфі запропонував підхід орієнтований на дослідження загальних властивостей систем незалежно від їх сутності [1.6]. Реалізацію цієї ідеї він бачив у тому, щоб знайти структурну спільність законів, які встановлені в різних науках, та виводити на цій основі загальносистемні закономірності. Деякі конкретно-наукові принципи аналізу систем були сформульовані дещо раніше в тектології А. А. Богданова, у роботах В. І. Вернадського та ін.

Л. Берталанфі підкреслював особливе значення обміну між системою і зовнішнім середовищем речовиною, енергією та інформацією, тобто встановлення динамічної рівноваги, яку можна спрямувати в сторону ускладнення організації (усупереч другому закону термодинаміки, завдяки введенню інформації зовні). Тоді функціонування – не просто відгук на зміну зовнішніх умов, а збереження старої або встановлення нової рухомої рівноваги системи. Тут враховуються як кібернетичні ідеї гомеостазу, так і нові моменти, які мають витоки з біології.

Треба зазначити, що спроби побудувати всеосяжну теорію про наш Світ почалися набагато раніше. З самого початку, як тільки людина почала усвідомлювати навколишній світ, вона намагалася зрозуміти його і пояснити, тобто, побудувати теорії світобудови. Не дивлячись на примітивність перших уявлень і понять, основою цих теорій були *закони ієрархії, збереження і причинно-наслідкових обмежень*. Отже, розробка трьох основних законів, що лежать в основі ЗТС, почалася ще у стародавні часи.

Саме тоді народилася *ідея ієрархії* сил, яка в остаточному підсумку призвела до ідеї єдиного бога - ідеї монотеїзму. Сильний завжди правий і сильний займає верхню сходинку ієрархії. Ця ідея стала аксіомою, вона не впливала ані з будь-яких інших ідей або знань, а тільки зі спостережень, з того, що ніхто ще не бачив, щоб цей закон порушувався, з фактів.

Закон збереження відкритий ще у стародавності. Логіка і математика, що зародилися в древньому Єгипті і отримали значний розвиток в древній Греції цілком базувалися на законі збереження. Цей закон стверджує: "нічого не з'являється з нічого і не зникає в нікуди".

З закону збереження випливає *закон причинно-наслідкових обмежень* - для усього у Світі є причина. Нічого не буває без причини. Поява будь-якого об'єкта або його дія зумовлена причиною. Упав камінь - на це є причина, відбулася повінь, і на це так само є причина.

Отже, усі три закони - *ієрархії, збереження та причинно-наслідкових*

обмежень, були відомі давно. І якщо спочатку вважалось, що в природі панує хаос, то зараз, в міру нагромадження знань і вивчення сил природи, кількість зрозумілих та усвідомлених фундаментальних фізичних взаємодій скоротилася до чотирьох: гравітаційної, електромагнітної, сильної і слабкої (фізичні взаємодії). А останнім часом вже говорять про Велике з'єднання сил.

У підсумку різні теософські теорії змінювалися на натурфілософські і сучасні фізичні концепції. І хоча зараз розуміння законів ієрархії, збереження і причинно-наслідкових зв'язків істотно відрізняється від того, як це розуміли раніше, ці ідеї не втратили своєї актуальності і зараз. У тому або іншому вигляді вони лежать в основі всіх спроб розробити ЗТС. І ці спроби продовжуються і зараз, оскільки поки ще немає чіткого й однозначного визначення, що ж є системою, хоча усе, що наповняє наш світ, є системами. Окрім фізичних взаємодій у природі існують й інші: біологічні, соціальні, моральні, психічні, взаємодії культур тощо.

Можна сказати, що загальна теорія систем - це загальна теорія про всесвіт (в розумінні матеріального, абстрактного і духовного) і про все що в ньому знаходиться. Така теорія повинна пояснити необхідність існування і будови всього - від елементарних часток, атомів і молекул до усього Всесвіту, включаючи еволюцію людини. Ми бачимо наш Світ у розвитку, отже, він міг мати початок і можливо матиме кінець. Якщо це так, то ЗТС має показати, яким чином виник наш Світ і хто або що створило цю систему, якщо в нього був початок, чому він змінюється і за якими законами, чому є життя і його розвиток, дати пояснення еволюції всіх неживих об'єктів і видів живих істот, показати напрямок цієї еволюції та її етапи. І якщо буде і його кінець, то ЗТС повинна показати, яким і чому буде цей кінець. А якщо не було початку і не буде кінця Світу, тоді чому Світ вічний.

Як бачимо, більш грандіозної задачі, чим та, що постала перед ЗТС, немає ні в якій іншій теорії. Якщо Світ сам є системою і заповнений системами, то фахівці всіх галузей знання мають знати ЗТС, тому що наше знання - це завжди знання про ті об'єкти Світу, що є системами.

Проте приваблива ідея побудувати **загальну теорію систем** як нову логіко-математичну дисципліну надзвичайно важко реалізується. В кінцевому результаті може статися, що найбільшу цінність ЗТС матиме не стільки її математичне оформлення, скільки розробка цілей та завдань системних досліджень, розвиток методології аналізу систем, встановлення загальносистемних закономірностей.

Усе сказане показує, що людина ще дуже мало знає про наш світ, і тому не тільки ще не підвела єдиний фундамент під усі взаємодії, що існують у природі, а навіть під усі просто фізичні взаємодії. Проте, усе, що є в природі, має єдину основу і має стати зрозумілим з єдиних позицій, тобто за допомогою загальної теорії систем і системного аналізу.

3.4. Системний підхід у будівництві

Поряд з іншими галузями науки і техніки методологія системного аналізу широко застосовуються і в будівництві, як на етапі проведення науково-технічних досліджень, так і на етапах проектування, організації і реалізації будівництва, подальшої експлуатації будівель і споруд. Розглянемо можливості

застосування системного підходу на прикладі вирішення низки проблемних питань процесу проектування.

При проектуванні будинків і споруд необхідно враховувати їхню складну взаємодію з основою, водним і повітряним середовищами. При будівництві й експлуатації споруд виникає безліч науково-технічних, виробничо-економічних і соціально-екологічних проблем, розгляд і вибір шляхів рішення яких повинні також знаходити висвітлення в проекті. В даний час проектування складних технічних систем ведеться на основі системного підходу, який базується на методі дедукції (від цілого до частки). Відповідно до цього методу всяка складна технічна система розглядається у взаємодії з оточуючим середовищем, що представляється, у свою чергу, як комплекс систем, пов'язаних між собою і технічною системою (будівлею) різними видами відносин (зв'язків). Визначення цих відносин і складає перелік проблем, які розглядають при проектуванні будинків і споруд.

Системний підхід на основі гармонізації споруди з навколишнім природним, техногенним і соціальним середовищем дозволяє уникнути помилок, викликаних або некомпетентністю, або вузькою спеціалізацією проектувальників, будівельників і експлуатаційного персоналу, і зменшити ризик аварій будинків і споруд.

Проектування споруд має на меті створення нової системи "споруда - людина - навколишнє середовище" і нових функцій і зв'язків в навколишньому середовищі, а мистецтво проектування в кінцевому рахунку зводиться до можливо повного врахування всіх тих факторів і впливів, що можуть вплинути на майбутню споруду, а також до передбачення всіх тих наслідків для суспільства і природи, що виникнуть у результаті будівництва і експлуатації споруди. З позицій системного аналізу вплив на навколишнє середовище великих споруд і їхніх комплексів (висотних будинків, авто- і залізничних доріг, аеропортів, каналів, портів тощо) можна представити у виді систем планетарного рівня узагальнення або як над-схему "зовнішнє середовище".

Розглянемо методологію системного аналізу зовнішнього середовища будівлі. Основна задача в даному випадку полягає в урахуванні всіх проблем, пов'язаних з будучою спорудою. Аналіз проводять з використанням моделі зовнішнього середовища споруди (рис.3.2).

Природне оточення споруди складається з біосфери й антропосистеми (або соціального середовища), а штучне оточення являє собою техносферу. Це природне і штучне оточення знаходиться під впливом космічних процесів, що визначають багато кліматичних, геологічних, біологічних і соціальних процесів. Біосфера охоплює верхню частину літосфери, нижню частину атмосфери і всю гідросферу з співтовариством живих організмів у виді флори і фауни Землі. Гідросфера, атмосфера і літосфера впливають на споруду механічно (вітер, тиск, вага, плин), фізично (температура, радіоактивність, світло, звук), хімічно (хімічні процеси в середовищах, корозія) і геологічно (землетруси, зсуви, яри, сіли). З боку біосфери споруда також отримує біотичні впливи (прояв життєдіяльності тварин, птахів, водоростей, бактерій). Навантаження і впливи на споруду з боку водного, повітряного і геологічного середовищ вивчені досить глибоко, а біотичні впливи, і зокрема, питання біокорозії, вивчені в меншому ступені.

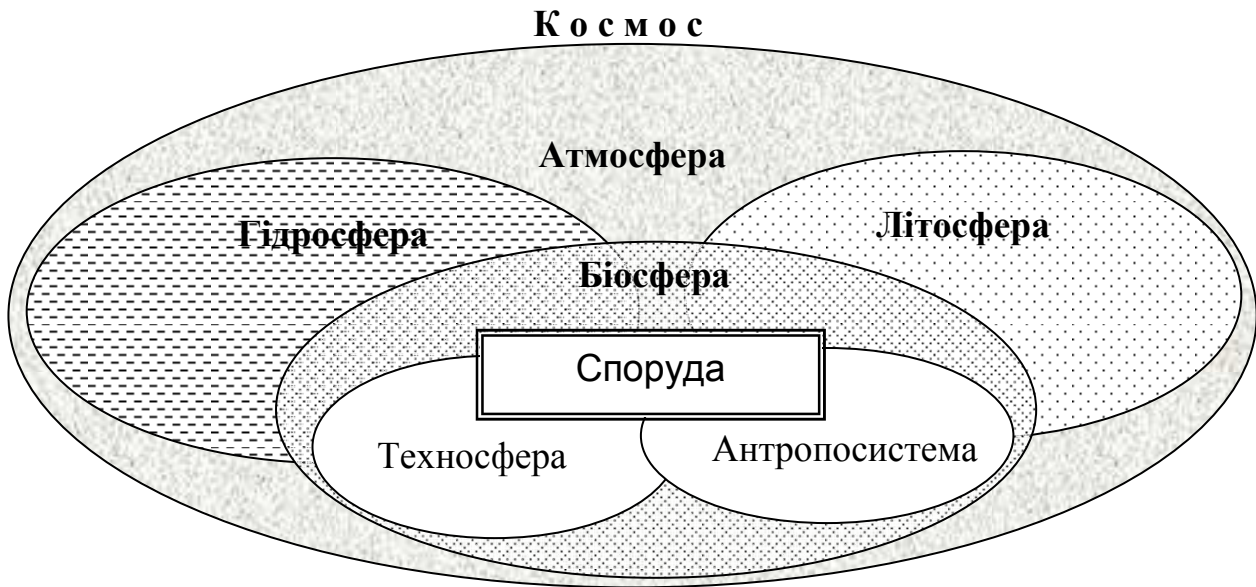


Рис. 3.2 – Модель зовнішнього середовища системи "споруда"

Узагальнений аналіз зв'язків споруди і зовнішнього середовища з урахуванням фактора часу дозволяє перейти до класифікації проблем, пов'язаних з їх проектуванням, будівництвом і експлуатацією. На основі аналізу нормативної і наукової літератури, досвіду проектування, будівництва і експлуатації будинків і споруд можна виділити п'ять основних видів проблем: технічні, економічні, техніко-економічні, екологічні і соціальні.

Рішення технічних проблем забезпечує експлуатаційну надійність і виконання спорудою своїх функцій. Економічні проблеми охоплюють задачі визначення і мінімізації витрат засобів і часу на проектування, будівництво й експлуатацію споруди. Техніко-економічні проблеми розглядають варіанти вибору будівельних матеріалів, технологій, конструкцій споруди, типів будівельних машин і механізмів, устаткування і їхнє оптимальне використання при будівництві й експлуатації споруд. Рішення економічних і техніко-економічних проблем забезпечує економічну ефективність і естетичну досконалість споруди. Екологічні проблеми містять задачі з оптимізації витрат засобів і часу на розвиток позитивних і на зведення до прийнятного рівня негативних впливів споруд на навколишнє середовище, а їхнє рішення забезпечує екологічну прийнятність. Соціальні проблеми охоплюють всі аспекти впливу споруд на умови життя людей (тих що будують, експлуатують, жителів). Від рішення цих проблем залежить прийняття суспільством пропонованої споруди і її доля в майбутньому, тобто її соціальна значимість.

Технічні проблеми поділяють на дві групи: проблеми функціональної надійності і проблеми конструктивної надійності. Рішення проблем функціональної надійності споруд дозволяє наділити їх наступними якостями, що забезпечують виконання ними свого призначення:

- геометричною відповідністю призначенню (геометричні параметри);
- технологічною відповідністю призначенню (температура і вологість вну-

трішнього повітря, кратність повітрообміну, інсоляція тощо);

- моральною довговічністю.

Проблеми конструктивної надійності охоплюють задачі забезпечення фізичної довговічності конкретної споруди в умовах впливу визначеного навколишнього (природного і техногенного) середовища. При будівництві й експлуатації будинки і споруди в загальному випадку повинні мати наступні якості конструктивної надійності:

- загальна і місцева міцність при дії статичних і динамічних навантажень і температурних впливах;
- тріщиностійкість;
- твердість - обмеження по деформаціях;
- витривалість - міцність при дії тривалих динамічних навантажень;
- загальна і місцева фільтраційна міцність споруд і їх основ;
- морозостійкість - стійкість до циклів заморожування і відтавання;
- корозійна стійкість до впливу повітряного і водного середовищ з обліком можливих антропогенних впливів;
- зносостійкість - стійкість до впливів від транспорту, людей тощо;
- температурна стійкість до впливу високих і (або) низьких температур;
- біостійкість до впливу живих організмів і продуктів їх життєдіяльності.

Будівництво великих будинків і споруд пов'язано зі значним впливом на природу і суспільство, що завжди більш значимо, ніж це необхідно для досягнення конкретних цілей будівництва. У сучасних умовах усе більш актуальними стають екологічні і соціальні питання. Екологічні проблеми, пов'язані з будівництвом і експлуатацією споруд, можна розділити на три групи: ландшафтні, кліматичні біологічні. Ландшафтні проблеми містять у собі питання взаємодії споруд з геологічним середовищем, у тому числі гідрогеологічні і гідрологічні питання. Проблеми прогнозу наведеної сейсмічності і зміни рівня ґрунтових вод - лише частина цих проблем. Кліматичні питання розглядають вплив комплексу будинків і споруд на зміну клімату: температуру і вологість повітря, швидкість вітру, частоту туманів та ін. Широкий спектр біологічних питань: врахування представників фауни і флори, що піддаються особливо різкому впливові з боку зміненого спорудою середовища, зміна їхнього видового складу і багато іншого.

Соціальна значимість - властивість системи бути затребуваною суспільством і необхідною для його ефективного розвитку. Більшість споруд мають високу соціальну значимість (затребуваність) для великих періодів часу - десятиків, сотень і навіть тисяч років. Прикладами споруд високої соціальної значимості є житлові будинки, культові й оборонні споруди (храми, фортеці), дороги, гідротехнічні споруди. Оцінками соціальної значимості споруд є, наприклад: термін служби будинку або споруди, кількість жителів і відвідувачів, пропускна здатність доріг та ін.

Економічна ефективність означає відповідність економічним принципам розвитку суспільства. Оцінками економічної ефективності споруд є: вартість будівництва споруди, термін її окупності, питомі капіталовкладення, щорічні

експлуатаційні витрати, собівартість продукції (товару, кіловат-години електроенергії, одного кубічного метра води) та ін.

Екологічна прийнятність - властивість системи, що характеризує екологічні наслідки впровадження споруди в навколишнє природне і соціальне середовище і прийняття її цим середовищем. Екологічна прийнятність характеризується сукупністю позитивних і негативних впливів споруди на геологічне середовище і гідросферу, атмосферу і біосферу, у тому числі і на людину. Будівництво будь-якої споруди супроводжується як правило невеликим числом позитивних екологічних наслідків і безліччю негативних. Оцінки екологічної прийнятності різноманітні, погано піддаються кількісному аналізу і не приводяться до інтегрального показника. Екологічна прийнятність проекрованої споруди оцінюється експертним методом фахівцями, екологами на основі досягнення визначеного рівня згоди при обраній шкалі оцінок.

Естетична привабливість - властивість системи відповідати ідеалам прекрасного і гармонічного, прийнятим у суспільстві, що є необхідною умовою для нормального функціонування споруди і підтримання її соціальної значимості. Раціональність і досконалість форм споруди, їх естетична виразність, колірна гармонійність з рідним ландшафтом і інше є оцінками естетичної привабливості споруд.

Технічна безпека - властивість системи виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах експлуатації і технічного обслуговування, а також підтримувати нормативний рівень попередження аварій шляхом контролю стану споруди і перевіркою відповідності нормативним і проектним вимогам устаткування, зони впливу, системи експлуатації й аварійної безпеки. Під зоною впливу мається на увазі та частина зовнішнього середовища, що впливає на споруду і на яку розповсюджується вплив споруди. Технічна безпека споруди складається з експлуатаційної надійності й аварійної безпеки.

Соціальні проблеми характеризують вплив будівництва і експлуатації будинків і споруд на характер і умови праці і життя людей. Тут виділяють п'ять основних груп соціальних проблем: естетичні, демографічні, забезпечення безпеки умов праці, санітарно-гігієнічні, патентно-правові.

Естетичні питання відбивають архітектурну виразність споруди, раціональність і досконалість її форм, рекреаційну привабливість нового ландшафту тощо.

Демографічні проблеми пов'язані з демографічним аналізом і прогнозом до, під час і після завершення будівництва. Сюди відносяться питання міграції населення, зміна його вікового і професійного складу, вільної і кваліфікованої робочої сили та ін.

Рішення питань забезпечення безпечних умов праці дозволяє з урахуванням конструкції споруди й обраної технології його зведення прогнозувати можливий рівень травматизму під час будівництва і експлуатації споруд, передбачити заходи для його зниження й обсяги соціального страхування.

Санітарно-гігієнічні проблеми пов'язані зі зміною умов життя людей у процесі будівництва й експлуатації споруд (характеристик атмосфери: температури, вологості, прозорості повітря, швидкості вітру, якості води та ін.), харак-

теру і ритму життя, із прогнозом зміни характеру професійних і регіональних захворювань, з необхідністю зміни профілю медичного забезпечення робітників і населення.

Рішення патентно-правових проблем дозволяє вести проектування будівництва й експлуатацію будинків і споруд у рамках законодавчих актів, забезпечити правове обґрунтування використання патентів для об'єктів як в країні так і за кордоном.

Слід зазначити, що наведений вище перелік не вичерпує всіх питань, що постають на етапі проектування будинків і споруд, а лише в якості прикладу пояснює підходи до постановки і рішення проблем з позиції методології системного аналізу.

Запитання для самоконтролю

1. Дайте пояснення поняття системний підхід.
2. Що є предметом науки системологія?
3. У чому полягає системність Світу?
4. Які основні етапи становлення системних уявлень?
5. Поясніть місце системного аналізу в структурі наукових дисциплін.
6. У чому полягає сутність системного підходу?
7. Охарактеризуйте основні принципи системного підходу.
8. Надайте стислу характеристику загальній теорії систем.
9. Поясніть сутність законів ієрархії, збереження і причинно-наслідкових обмежень.
10. Які переваги використання системного підходу у будівництві?

Тема 4. ЦІЛІ І ЗАДАЧІ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

4.1. Зміст системного аналізу

Системний аналіз (СА) сьогодні – це наукова дисципліна, спрямована на вирішення системних проблем, що виникають у різних сферах людської діяльності, шляхом інтегрування розрізнених наукових знань і методів у єдиний технологічний процес комплексного дослідження на базі системної ідеології. Він реалізує на практиці основний принцип системного підходу до вивчення об'єктів і явищ: вирішити практичну системну проблему можна тільки у тому випадку, якщо протиставити їй адекватний за складністю комплекс наукових методів і знань, що охоплює своїми пізнавальними можливостями найбільш істотні сторони об'єктів та явищ, які зумовили виникнення і розвиток даної проблеми.

Можна стверджувати, що відбулося поступове перетворення СА з методу, що рекомендує керівникові вибір оптимальної лінії поведінки, у комплексну наукову дисципліну, яка реалізує на практиці системний підхід до вивчення явищ, і спрямована на:

- розкриття сутності і взаємозв'язків явищ, що зумовили виникнення даної проблеми шляхом побудови математичних та інших моделей;
- всебічний аналіз можливих варіантів вирішення системних проблем, з урахуванням таких реалій як ресурсні обмеження, невизначеність умов зовнішньої обстановки, фінансові та інші ризики;
- обґрунтування на цій основі рекомендацій особам, що приймають рішення, на вибір їхньої раціональної лінії поведінки в складних управлінських ситуаціях.

Отже, у вузькому розумінні СА – це методологія прийняття рішень, а в широкому розумінні – синтез ЗТС, системного підходу і системних методів обґрунтування і прийняття рішень. Спираючись на сучасну комп'ютерну техніку, СА все більше здобуває риси інформаційної технології, потрібної менеджерам для вирішення економічних, технічних, соціальних та інших проблем.

Управління підприємствами і організаціями в умовах сьогодення - це комплексна і складна проблема, яка потребує врахування залежностей між окремими питаннями, які раніше вважалися неістотними і не значущими. Потрібно приймати до уваги все більшу кількість взаємопов'язаних факторів при обмежених лімітах часу. Потрібні методи, які дозволяють аналізувати складні проблеми як ціле, забезпечують розгляд багатьох альтернатив, кожна з яких описується великою кількістю змінних, дозволяють відображати об'єктивні і суб'єктивні невизначеності. Методологією розв'язання таких проблем є системний аналіз.

Системний аналіз [1.8] – це сукупність формалізованих, слабоформалізованих і неформалізованих методів і процедур, які дозволяють застосовувати системний підхід до управління системою діяльністю людини і функціонуванням складних систем на різних етапах їх життєвого циклу.

З *методологічного боку* системний аналіз є прикладною діалектикою [1.8], він реалізує ідеї діалектики стосовно конкретних практичних задач, особливість яких полягає в необхідності виявлення причин їх складності і усуненню цих причин.

З *методичного боку* системний аналіз відрізняє міждисциплінарний і наддисциплінарний характер із залученням для досліджень як неформальних, евристичних, експертних методів, так і точних математичних методів.

З *практичної сторони* системний аналіз є системою методів дослідження або проектування складних систем, пошуку, планування і реалізації змін, спрямованих на ліквідацію проблеми.

У СА використовуються як математичний апарат загальної теорії систем, так і інші якісні і кількісні методи математичної логіки, теорії прийняття рішень, теорії ефективності, теорії інформації, структурної лінгвістики, теорії нечітких множин, методів штучного інтелекту, методів моделювання та ін.

Враховуючи сказане, можна дати наступне визначення. *Системний аналіз* - це логічно зв'язана сукупність теоретичних та емпіричних положень математики, природничих наук і досвіду розробки складних систем, яка

забезпечує підвищення обґрунтованості вирішення конкретної проблеми.

Можна констатувати, що СА:

- застосовуються у випадках, коли задачу не можна відразу подати за допомогою математичних методів;
- приділяє увагу процесу постановки задачі і використовує не тільки формальні методи, але і методи якісного аналізу;
- спирається на основні поняття теорії систем;
- допомагає організувати процес колективного прийняття рішень, поєднуючи фахівців різних областей знань;
- вимагає обов'язкової розробки методики системного аналізу, що визначає послідовність етапів проведення аналізу і методу їхнього виконання;
- досліджує процеси цілепокладання і розробки засобів роботи з цілями;
- як метод використовує розчленовування великої невизначеності на доступнішу для огляду, що краще піддається дослідженню (що відповідає поняттю аналізу) за умови збереження цілісного (системного) подання об'єкта дослідження.

Найбільш ефективно СА можна здійснити лише на основі системного підходу, який передбачає не тільки органічне поєднання аналітичного розчленовування проблеми на частини і дослідження зв'язків і відносин між цими частинами, але й звертає особливу увагу на розгляд цілей і задач, загальних для всіх частин. Відповідно до цього виконується синтез загального рішення з часткових рішень. У СА методи аналізу і синтезу взаємно переплітаються. При здійсненні аналітичної процедури увагу звертають на способи об'єднання окремих результатів у єдине ціле і вплив кожного з елементів на інші елементи системи.

В рамках задач менеджменту СА можна визначити як застосування системних концепцій до функцій управління організаціями і підприємствами. Розглядаючи організацію як підсистему системи досягнення мети (тобто вирішення встановленої проблеми), системний аналіз зовсім по-новому "висвітлює" діяльність людини в організації. Мислення і діяльність людини в такій організації отримує системний характер. Оволодіння системною методологією дає окремій особі розуміння того, що "повинне бути", ясне відчуття необхідності колективної роботи і потребу удосконалення методів роботи організації, а також чітке розуміння свого місця і ролі в цій роботі. Менеджери, які володіють "системними уявленнями", мають можливість знаходження шляхів проведення змін в організації або обґрунтування зміни цілей організації.

Застосування системного аналізу при побудові інформаційних систем організацій дає можливість виділити перелік і вказати доцільну послідовність виконання взаємозалежних задач, що дозволяють не упустити з розгляду важливі сторони і зв'язки досліджуваного об'єкта автоматизації. Іноді говорять, що системний аналіз - це методика поліпшуючого втручання в проблемну ситуацію.

4.2. Об'єкт і предмет системного аналізу

Об'єкт дослідження в гносеології (теорії пізнання) - це та частина об'єктивної реальності, з якою дослідник має справу, а предмет дослідження - це сукупність знань про цю частину об'єктивної реальності.

Об'єктом СА виступають *реальні об'єкти, явища і процеси природи і суспільства, що розглядаються як системи*. Характерними прикладами об'єктів СА є проблеми різного ієрархічного рівня, пов'язані зі створенням нових і удосконалюванням (модернізацією) існуючих організаційних, технічних, технологічних, концептуальних, інформаційних, економічних, військових та інших систем. До числа таких проблем належать:

- формування соціально-економічного курсу держави та визначення стратегії розвитку галузей промислово-господарського комплексу країни, регіону, міста, району;
- обґрунтування способів комплексного розв'язання глобальних і регіональних протиріч економічного, політичного, екологічного і техногенного характеру;
- техніко-економічне обґрунтування і проектування складних систем різного функціонального призначення;
- удосконалення організаційно-управлінських структур організацій, підприємств, фірм і промислових об'єднань в умовах ринкових відносин;
- розробка бізнес-планів і обґрунтування маркетингових стратегій підприємств і фірм з урахуванням конкуренції, нестабільності ринків збуту продукції, економічних криз та ін.

Тобто системний аналіз передбачає системне бачення об'єкта.

Предмет СА та його місце в загальній структурі наукових знань визначаються насамперед тим, що він *втільює на практиці ідеологію системного підходу до вивчення природних і суспільних явищ з метою вирішення виникаючих проблем*. Це означає, що в основі його категорійного апарату, концепцій, методів і прийомів лежать ідеї системного підходу, конкретизовані стосовно до проблеми, яка потребує вирішення.

Разом з тим, системний підхід і системний аналіз - це різні наукові напрями. Системний підхід виступає щодо системних аналітичних досліджень своєю базой ідей, філософською основою. У свою чергу СА наповнює ідеї і концепції системного підходу конкретним змістом і наділяє відповідною інтерпретацією. Спільний розвиток цих наукових напрямів йде через вирішення діалектичного протиріччя "загальне - частка", що призводить до їх взаємного збагачення.

В історичному плані СА є спадкоємцем дослідження операцій, що є напрямком кібернетики, заснованим на апараті математичного програмування, теорії масового обслуговування, математичної статистики, теорії ігор та ін. Його виникнення було реакцією прикладної науки на потребу вирішення економічних, військово-технічних, адміністративно-управлінських та інших масштабних проблем, де застосування операційних методів виявилось

малоефективним. Проте і сьогодні методи теорії дослідження операцій складають методичний базис СА.

На сьогодні накопичений великий досвід практичного застосування методології СА для розв'язання задач різного рівня значущості. З'явилися важливі теоретичні і практичні результати, які дозволяють уточнити місце цієї дисципліни в загальній структурі наукових знань і переосмислити вихідні положення, що визначають підхід до постановки системних проблем, принципи, методи і процедури їхнього вирішення.

У процесі свого розвитку СА сформувався як міждисциплінарний науковий напрям, **предмет** якого можна визначити в такий спосіб. По-перше, це *концепції і принципи постановки і вирішення практичних проблем на основі системної ідеології*. По-друге, *способи інтегрування методів і результатів дослідження спеціальних дисциплін у цільову технологію, спрямовану на вирішення проблемних ситуацій*. По-третє, *методики, прийоми і моделі комплексного дослідження і проектування різних системних об'єктів*.

До предмету СА так само належать **численні характеристики системності**, характерними з яких є:

- склад системи (типологія і чисельність елементів, залежність елемента від його місця і функцій у системі, види підсистем, їхні властивості, вплив на властивості цілого);
- структура системи (типологія і складність структури, різноманіття зв'язків, прямі і зворотні зв'язки, ієрархічність структури, вплив структури на властивості і функції системи);
- організація системи (часовий і просторовий аспекти);
- організація, типологія організації, композиція системи, стійкість, гомеостат, керованість, централізація і периферійність, оптимізація організаційної структури);
- функціонування системи: цілі системи та їхня декомпозиція, вид функції (лінійна, нелінійна, внутрішня, зовнішня), а в умовах невизначеності, у критичних ситуаціях, механізм функціонування, погодженість внутрішніх і зовнішніх функцій, проблема оптимальності функціонування і перебудови функцій);
- положення системи в середовищі (границі системи, характер середовища, відкритість, рівновага, стабілізація, збалансованість, механізм взаємодії системи і середовища, адаптація системи до середовища, фактори і збудуючі впливи середовища);
- розвиток системи (місія, системо-утворюючі фактори, життєвий шлях, етапи і джерела розвитку, процеси в системі - інтеграція і дезінтеграція, динаміка, ентропія або хаос, стабілізація, кризи, самовідновлення, перехідність, випадковість, інноваційність і перебудова).

Одночасно з розширенням предмета й об'єкта якісно змінився сам користувач (споживач) теорії системного аналізу. Якщо в період свого становлення системний аналіз забезпечував діяльність в основному керівників вищого рангу, то в останні роки до них додалися інженери проектів, технологи

виробництв, наукові співробітники, менеджери дрібних і середніх фірм. Загалом, усі ті фахівці, чия діяльність пов'язана з вирішенням технічних, наукових, фінансових та інших системних проблем локального або навіть особистісного характеру. Більш того, в останні роки цей напрям усе більше привертає увагу фахівців гуманітарних галузей знання (соціологів, філологів, юристів, політологів, економістів та ін.), які вбачають у ньому не тільки інструментарій розв'язання різних проблем, але ефективний засіб міжнаукової комунікації.

4.3. Задачі системного аналізу

У процесі дослідження існуючих або створення нових систем дослідники прагнуть до найповнішого та об'єктивного подання об'єкта - опису його внутрішньої структури, яка пояснює причинно-наслідкові закони функціонування і дозволяє передбачити, а значить, і керувати його поведінкою.

До складу задач СА входять задачі декомпозиції, аналізу і синтезу (рис. 4.1).

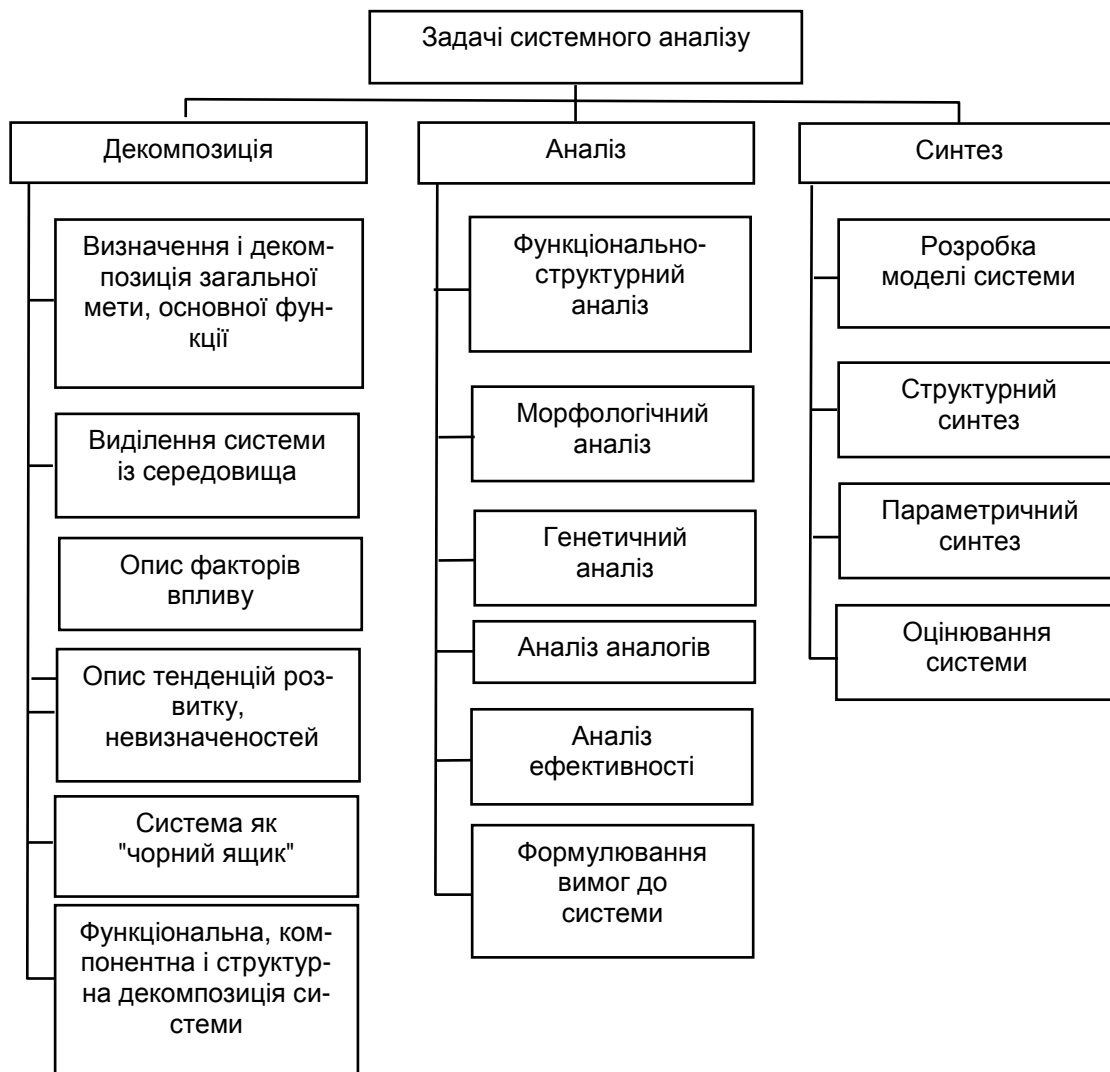


Рис. 4.1 – Основні задачі системного аналізу

Задача декомпозиції полягає в поданні системи у виді підсистем та елементів.

На етапі декомпозиції здійснюють:

- визначення і декомпозицію загальної мети дослідження та основної функції системи як обмеження траєкторії в просторі станів системи або в області припустимих ситуацій. Найчастіше декомпозиція проводиться шляхом побудови дерева цілей і дерева функцій;
- виділення системи із середовища (поділ на систему і оточуюче середовище) за критерієм участі кожного розглянутого елемента в процесі, що приводить до результату на основі розгляду системи як складової частини надсистеми;
- опис факторів впливу;
- опис тенденцій розвитку, невизначеностей різного роду;
- опис системи як "чорного ящика".
- функціональну (за функціями), компонентну (за видом елементів) і структурну (за видом відносин між елементами) декомпозиції системи.

Глибина декомпозиції обмежується. Декомпозиція має припинитися, якщо необхідно змінити рівень абстракції - представити елемент як підсистему. Якщо при декомпозиції з'ясовується, що модель починає описувати внутрішній алгоритм функціонування елемента замість закону його функціонування у виді "чорного ящика", то в цьому випадку відбулася зміна рівня абстракції. Це означає вихід за межі мети дослідження системи і, отже, викликає припинення декомпозиції.

В автоматизованих методиках типовою є декомпозиція моделі на глибину 5-6 рівнів. Така глибина декомпозиції характерна для підсистем. Функції, що вимагають такого рівня деталізації, дуже важливі, і їхній детальний опис дає ключ до розуміння роботи всієї системи.

У загальній теорії систем доведено, що більшість систем підлягають декомпозиції на базові подання підсистем. До них належать: послідовне (каскадне) з'єднання елементів, паралельне з'єднання елементів, з'єднання за допомогою зворотного зв'язку.

Проблема проведення декомпозиції полягає в тому, що в складних системах відсутня однозначна відповідність між законом функціонування підсистем і алгоритмом його реалізації. Тому здійснюють формування кількох варіантів (або одного варіанта, якщо система відображена у виді ієрархічної структури) декомпозиції системи.

Розглянемо деякі стратегії декомпозиції.

Функціональна декомпозиція. Декомпозиція базується на аналізі функцій системи. При цьому ставиться питання, що робить система, незалежно від того, як вона працює. Підставою поділу на функціональні підсистеми служить спільність функцій, виконуваних групами елементів.

Декомпозиція за життєвим циклом. Ознака виділення підсистем - зміна закону функціонування підсистем на різних етапах циклу існування системи "від народження до загибелі". Рекомендують застосовувати цю стратегію, коли

метою системи є оптимізація процесів і коли можна визначити послідовні стадії перетворення входів на виходи.

Декомпозиція за фізичним процесом. Ознака виділення підсистем - кроки виконання алгоритму функціонування підсистеми, стадії зміни станів. Хоча ця стратегія корисна при описі існуючих процесів, результатом її часто може стати занадто послідовний опис системи, що не буде повною мірою враховувати обмеження, накладені функціями одна на одну. При цьому може виявитися сховаюною послідовність керування. Застосовувати цю стратегію потрібно тільки якщо метою моделі є опис фізичного процесу як такого.

Декомпозиція на підсистеми (структурна декомпозиція). Ознака виділення підсистем - сильний зв'язок між елементами за одним з типів існуючих в системі (інформаційних, логічних, ієрархічних, енергетичних та ін.). Силу зв'язку, наприклад, за інформацією можна оцінити коефіцієнтом інформаційного взаємозв'язку підсистем $k = N / N_0$, де N - кількість взаємно використовуваних інформаційних масивів у підсистемах, N_0 - загальна кількість інформаційних масивів.

Задача аналізу полягає у виявленні різного роду властивостей системи або зовнішнього середовища. Метою аналізу може бути визначення закону перетворення інформації, що задає поведінку системи. В останньому випадку мова йде про агрегацію (композицію) системи у один-єдиний елемент.

Етап аналізу забезпечує формування детального уявлення про систему. На цьому етапі здійснюються:

1. Функціонально-структурний аналіз існуючої системи, що дозволяє сформулювати вимоги до створюваної системи. Він включає уточнення складу і законів функціонування елементів, алгоритмів функціонування і взаємовпливів підсистем, поділ керованих і некерованих характеристик, завдання простору станів, завдання параметричного простору, в якому задана поведінка системи, аналіз цілісності системи, формулювання вимог до створюваної системи.

2. Морфологічний аналіз - аналіз взаємозв'язку компонентів.

3. Генетичний аналіз - аналіз передісторії, причин розвитку ситуації, наявних тенденцій, побудова прогнозів.

4. Аналіз аналогів.

5. Аналіз ефективності (за результативністю, ресурсоемністю, оперативністю). Він включає вибір шкали виміру, формування показників ефективності, обґрунтування і формування критеріїв ефективності, безпосереднє оцінювання та аналіз отриманих оцінок.

6. Формування вимог до створюваної системи, включаючи вибір критеріїв оцінки та обмежень.

Задача синтезу системи протилежна задачі аналізу. Необхідно маючи опис закону перетворення побудувати систему, що фактично виконує це перетворення за певним алгоритмом. При цьому попередньо потрібно визначити клас елементів - складових системи, яка реалізує алгоритм функціонування.

Етап синтезу системи можна уявити спрощеною функціональною діаграмою (рис. 4.2). На цьому етапі здійснюється:

1. Розробка моделі необхідної системи (вибір математичного апарата, моделювання, оцінка моделі за критеріями адекватності, простоти, відповідності між точністю і складністю, балансу погрешностей, багатоваріантності реалізацій, блочності побудови).

2. Синтез альтернативних структур системи.

3. Синтез параметрів системи.

4. Оцінювання варіантів синтезованої системи (обґрунтування схеми оцінювання, реалізація моделі, проведення експерименту по оцінці, обробка результатів оцінювання, аналіз результатів, вибір найкращого варіанта).

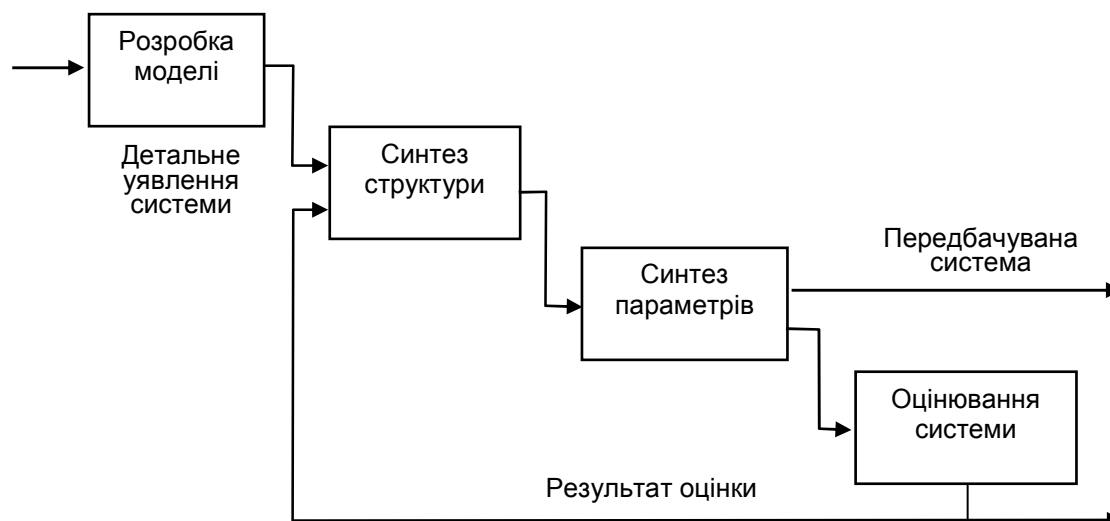


Рис. 4.2 – Спрощена функціональна діаграма етапу синтезу системи

СА завершується оцінкою ступеня адекватності отриманої моделі досліджуваній системі або відповідності створеної системи завданню на її проектування.

Найбільш складними у виконанні є етапи декомпозиції та аналізу. Це пов'язано з високим ступенем невизначеності, яку потрібно подолати у ході дослідження.

В основі системного аналізу як науки лежать **визначення об'єкту, предмету і принципів проведення аналізу**. Об'єкт і предмет СА були розглянуті в п. 4.2. Розглянемо основні принципи СА.

4.4. Принципи системного аналізу

Принципи системного аналізу - це певні положення загального характеру, які є узагальненням досвіду роботи людини зі складними системами. Різні автори викладають принципи з певними відмінностями, оскільки загальноприйнятих формулювань на даний час ще немає. Проте усі формулювання описують ті самі поняття.

Більшість дослідників до системних відносять наступні принципи: принцип кінцевої мети, принцип виміру, принцип еквівіальності, принцип єдності, принцип сполучності, принцип модульної побудови, принцип ієрархії, принцип

функціональності, принцип розвитку (історичності, динамічності), принцип децентралізації, принцип невизначеності.

Принцип кінцевої мети. Це абсолютний пріоритет кінцевої (глобальної) мети. Принцип має кілька правил:

- для проведення системного аналізу необхідно в першу чергу сформулювати мету дослідження. Розпливчасті, недостатньо визначені цілі спричиняють невірні висновки;
- аналіз треба вести на базі першочергового з'ясування основної мети (функції, основного призначення) досліджуваної системи, що дозволить визначити її основні істотні властивості, показники якості і критерії оцінки;
- при синтезі систем будь-яка спроба зміни або удосконалення має оцінюватися з погляду, допомагає чи заважає вона досягненню кінцевої мети;
- мета функціонування штучної системи задається, як правило, системою, у якій досліджувана система є складовою частиною.

Принцип виміру. Про якість функціонування будь-якої системи можна судити тільки з погляду системи більш високого порядку. Інакше кажучи, для визначення ефективності функціонування системи її потрібно представити як частину більш загальної і проводити оцінку зовнішніх властивостей досліджуваної системи щодо цілей і задач над-системи.

Принцип еквіфінальності. Система може досягти необхідного кінцевого стану, який не залежить від часу й зумовлений винятково власними характеристиками системи за різних початкових умов і різних шляхів. Це форма стійкості стосовно початкових і граничних умов.

Принцип єдності. Це одночасний розгляд системи як цілого і як сукупності складових частин (елементів). Принцип орієнтований на "погляд усередину" системи, на розчленовування її із збереженням цілісних уявлень про систему.

Принцип сполучності. Розгляд будь-якої частини разом з її оточенням має на увазі проведення процедури виявлення зв'язків між елементами системи і виявлення зв'язків із зовнішнім середовищем (врахування зовнішнього середовища). Відповідно до цього принципу систему в першу чергу треба розглядати як частину (елемент, підсистему) іншої системи (надсистеми).

Принцип модульної побудови. Корисно виділити модулі в системі і розглядати її як сукупність модулів.

Принцип вказує на можливість замість частини системи досліджувати сукупність її вхідних і вихідних впливів (абстрагування від зайвої деталізації).

Принцип ієрархії. Корисним є введення ієрархії частин і їх ранжирування, що спрощує розробку системи і встановлює порядок розгляду частин.

Принцип функціональності. Це спільний розгляд структури і функції з пріоритетом функції над структурою.

Принцип стверджує, що будь-яка структура тісно пов'язана з функцією системи та її частин. У випадку додавання системі нових функцій корисно

переглядати її структуру, а не намагатися втиснути нову функцію в стару схему. Оскільки виконувані функції складають процеси, то доцільно розглядати окремо процеси, функції, структури. У свою чергу, процеси збігаються до аналізу потоків різних видів:

- матеріальний потік;
- потік енергії;
- потік інформації;
- зміна станів.

З цього погляду структура - це безліч обмежень на потоки в просторі і в часі.

Принцип розвитку. Це врахування змінюваності системи, її здатності до розвитку, адаптації, розширенню, заміни частин, нагромадженню інформації. В основу синтезованої системи потрібно закладати можливість розвитку, нарощування, удосконалення. Звичайне розширення функцій передбачається за рахунок забезпечення можливості включення нових модулів, сумісних з наявними. З іншого боку, при аналізі системи для розкриття закономірностей її функціонування важливо враховувати її передісторію і тенденції зміни в даний час.

Одним із способів врахування цього принципу розроблювачами є розгляд системи в рамках її життєвого циклу. Умовними фазами життєвого циклу штучно створюваної системи є проектування, виготовлення, введення в експлуатацію, експлуатація, нарощування можливостей (модернізація), зняття з експлуатації (заміна), знищення.

Окремі автори цей принцип називають принципом динаміки (історичності) або відкритості. *Для того щоб система функціонувала, вона повинна змінюватися, взаємодіяти із оточуючим середовищем.*

Принцип децентралізації. Це сполучення в складних системах централізованого і децентралізованого керування, яке, як правило, полягає в тому, що ступінь централізації має бути мінімальною і забезпечувати виконання поставленої мети.

Недолік децентралізованого керування - збільшення часу адаптації системи. Він істотно впливає на функціонування системи у швидко мінливих середовищах. Те, що в централізованих системах можна зробити за короткий час, у децентралізованій системі буде здійснюватися досить повільно.

Недоліком централізованого керування є складність управління через величезний потік інформації, що підлягає переробці в старшій системі керування. Тому в складній системі зазвичай присутні два рівні керування.

У повільно мінливій обстановці децентралізована частина системи успішно справляється з адаптацією системи до середовища і з досягненням глобальної мети системи за рахунок оперативного керування, а при різких змінах середовища здійснюється централізоване керування по переводу системи у новий стан.

Принцип невизначеності. Це врахування невизначеностей і випадковостей у системі. Принцип стверджує, що можна мати справу із

системою, в якій структура, функціонування або зовнішні впливи не цілком визначені.

Складні відкриті системи не підкоряються ймовірнісним законам. У таких системах можна оцінювати "найгірші" ситуації і розгляд проводити для них. Цей спосіб зазвичай називають *методом гарантованого результату*. Його застосовують у випадках, коли невизначеність не описується апаратом теорії ймовірностей.

За наявності інформації про ймовірнісні характеристики входів (математичне сподівання, дисперсію, тощо) можна визначати ймовірнісні характеристики виходів у системі.

Перераховані принципи мають дуже високий ступінь узагальнення. Для безпосереднього застосування дослідник має наповнити їх конкретним змістом стосовно до предмету дослідження. Така інтерпретація може призвести до обґрунтованого висновку про малу значущість будь-якого принципу.

Проте знання принципів дозволяє краще побачити істотні сторони розв'язуваної проблеми, врахувати весь комплекс взаємозв'язків, забезпечити системну інтеграцію.

4.5. Технологія системного аналізу

Логіка системного аналізу включає процедури, пов'язані з процесом прийняття управлінських рішень, і має на меті формування логічно-структурної схеми аналізу. В опублікованих роботах по-різному описується послідовність цих процедур. Загальним є те, що більшість авторів відмічають тісний зв'язок методології системного аналізу із загальними принципами та ідеями системного підходу. За такого трактування логіка системного аналізу за змістом значною мірою збігається із системним підходом до аналізу досліджуваних явищ.

Розглянемо *технологію СА* як процес формування загального і детального подання системи, що включає наступні основні дев'ять стадій.

Формування загального подання системи

Стадія 1. Виявлення головних функцій (властивостей, цілей, призначення) системи. Формування (вибір) основних предметних понять, використовуваних у системі. На цій стадії мова йде про з'ясування основних виходів у системі. Саме з цього найкраще починати її дослідження. Треба визначити тип виходу: матеріальний, енергетичний, інформаційний. Виходи треба віднести до будь-яких фізичних або інших понять (вихід виробництва - продукція (яка?), вихід системи керування - командна інформація (для чого? у якому виді?), вихід автоматизованої інформаційної системи – відомості (про що?) та ін.).

Стадія 2. Виявлення основних функцій і частин (підсистем, елементів) у системі. Розуміння єдності цих частин у границях системи. На цій стадії відбувається перше знайомство з внутрішнім змістом системи, виявляється, з яких крупних частин вона складається і яку роль кожна частина відіграє в системі. Це стадія одержання початкових відомостей про структуру і характер основних зв'язків. Такі відомості треба представляти і вивчати за допомогою структурних або об'єктно-орієнтованих методів аналізу систем, де, наприклад, з'ясовується

наявність переважно послідовного або рівнобіжного характеру з'єднання частин, взаємної або переважно однобічної спрямованості впливів між частинами та ін. Вже на цій стадії треба звернути увагу на так звані системоутворюючі фактори, тобто на ті зв'язки, взаємозумовленості, які роблять систему системою.

Стадія 3. Виявлення основних процесів у системі, їхньої ролі, умов здійснення; виявлення стадійності, стрибків, змін станів у функціонуванні; у системах з керуванням - виділення основних керуючих факторів. Тут досліджується динаміка найважливіших змін у системі, хід подій, вводяться параметри стану, розглядаються фактори, що впливають на ці параметри, що забезпечують плин процесів, а також умови початку і кінця процесів. Визначається, чи керовані процеси і чи сприяють вони виконанню системою своїх головних функцій. Для керованих систем виявляються основні керуючі впливи, їхній тип, джерело і ступінь впливу на систему.

Стадія 4. Виявлення основних елементів оточуючого середовища (актуальне середовище), з якими пов'язана досліджувана система. Виявлення характеру цих зв'язків. На цій стадії вирішується ряд окремих проблем. Досліджуються основні зовнішні впливи на систему (входи). Визначається їхній тип (речовинний, енергетичний, інформаційний), ступінь впливу на систему, основні характеристики. Фіксуються границі того, що вважається системою, визначаються елементи "актуального середовища", на які спрямовані основні вихідні впливи. Тут же корисно простежити еволюцію системи, шлях її формування. Нерідко саме це веде до розуміння структури й особливостей функціонування системи. У цілому ця стадія дозволяє краще усвідомити головні функції системи, її залежність та уразливість або відносну незалежність у зовнішньому середовищі.

Стадія 5. Виявлення невизначеностей і випадковостей у ситуації, їх визначального впливу на систему (для стохастичних систем).

Стадія 6. Виявлення розгалуженої структури, ієрархії, формування уявлень про систему як про сукупності модулів, пов'язаних входами-виходами.

Стадією 6 закінчується формуванням загальних уявлень про систему. Як правило, цього досить, якщо мова йде про об'єкт, з яким ми безпосередньо працювати не будемо. Якщо ж мова йде про систему, якою потрібно займатися для її глибокого вивчення, поліпшення, керування, то нам доведеться піти далі циклічним шляхом поглибленого дослідження системи.

Формування детального подання системи

Стадія 7. Виявлення всіх елементів і зв'язків, важливих для цілей розгляду. Їхнє віднесення до структури ієрархії в системі. Ранжирування елементів і зв'язків за їхньою значущістю.

Стадії 6 і 7 тісно пов'язані одна з одною, тому їхнє обговорення корисно провести разом. Стадія 6 - це межа пізнання "усередину" досить складної системи. Більш заглиблені знання про систему (стадія 7) матиме вже тільки фахівець, відповідальний за її окремі частини. Для не дуже складного об'єкта рівень стадії 7 - знання системи в цілому - досяжний і для однієї людини. Таким чином, хоча сутність стадій 6 і 7 та сама, але в першій з них ми обмежуємося тим розумним обсягом відомостей, що доступні одному дослідникові.

При заглибленій деталізації важливо виділяти саме істотні для розгляду елементи (модулі) і зв'язки, відкидаючи все те, що не представляє інтересу для цілей дослідження. Пізнання системи припускає не завжди тільки відділення істотного від неістотного, але також акцентування уваги на більш істотному. Деталізація має торкнутися і вже розглянутого на стадії 4 зв'язку системи з актуальним оточуючим середовищем. На стадії 7 сукупність зовнішніх зв'язків вважається проясненою настільки, що можна говорити про доскональне знання системи.

Стадії 6 і 7 підбивають підсумок загальному, цільному вивченню системи. Подальші стадії вже розглядають тільки її окремі сторони. Тому важливо ще раз звернути увагу на системоутворюючі фактори, на роль кожного елемента і кожного зв'язку, на розуміння, чому вони саме такі або повинні бути саме такими в аспекті єдності системи.

Стадія 8. Урахування змін і невизначеностей у системі. Тут досліджується повільна, зазвичай небажана зміна властивостей системи, яку прийнято називати "старінням", а також можливість заміни окремих частин (модулів) на нові, які дозволяють не тільки протистояти старінню, але і підвищити якість системи порівняно з первісним станом. Таке удосконалення штучної системи прийнято називати розвитком. До нього також відносять поліпшення характеристик модулів, підключення нових модулів, нагромадження інформації для кращого її використання, а іноді і перебудову структури, ієрархії зв'язків.

Основні невизначеності в стохастичній системі вважаються дослідженими на стадії 5. Проте недетермінованість завжди має місце в системі, не призначеній працювати в умовах випадкового характеру входів і зв'язків. Додамо, що урахування невизначеностей у цьому випадку зазвичай перетворюється на дослідження чутливості найважливіших властивостей (виходів) системи. Під чутливістю розуміють ступінь впливу зміни входів на зміну виходів.

Стадія 9. Дослідження функцій і процесів у системі з метою керування ними. Уведення керування і процедур ухвалення рішення. Керуючі дії як системи керування. Для цілеспрямованих та інших систем з керуванням ця стадія має велике значення. Основні керуючі фактори були з'ясовані при розгляді стадії 3, але там це носило характер загальної інформації про систему. Для ефективного введення керувань або вивчення їхніх впливів на функції системи і процеси в ній необхідне глибоке знання системи. Саме тому ми говоримо про аналіз керувань тільки зараз, після всебічного розгляду системи. Нагадаємо, що керування може бути надзвичайно різноманітним за змістом - від команд спеціалізованої керуючої ЕОМ до міністерських наказів.

Проте можливість однакового розгляду всіх цілеспрямованих втручань у поведінку системи дозволяє говорити вже не про окремі управлінські акти, а про систему керування, що тісно переплітається з основною системою, але чітко виділяється у функціональному відношенні.

На даній стадії з'ясовується, де, коли і як (у яких точках системи, у які моменти, у яких процесах, логічних переходах та ін.) система керування впливає на основну систему, наскільки це ефективно, прийнятно і зручно реалізовано. При введенні керувань у системі мають бути досліджені варіанти перетворення

входів і постійних параметрів у керовані, визначені припустимі межі керування і способи їхньої реалізації.

Після завершення стадій 6 - 9 дослідження систем продовжується на якісно новому рівні - впливає специфічна стадія моделювання. Про створення моделі можна говорити тільки після повного вивчення системи.

Запитання для самоконтролю

1. Дайте поясненні визначенню поняття системний аналіз.
2. Наведіть приклади доцільності застосування СА в галузі будівництва.
3. Що розуміється під об'єктом СА?
4. Що розуміється під предметом СА?
5. Які основні задачі системного аналізу?
6. Які стратегії декомпозиції застосовують на практиці?
7. Поясніть основні принципи системного аналізу.
8. Які стадії формування загального представлення системи?
9. Які стадії формування детального представлення системи?

Тема 5. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ МОДЕЛЮВАННЯ

В даній темі ми розглянемо основні положення теорії моделювання, яка сьогодні вважається основним методом наукового пізнання, що забезпечує отримання інформації про досліджувані об'єкти і явища, накопичення нових знань на основі модельних експериментів. Значного поширення цей метод отримав завдяки можливостям сучасної комп'ютерної техніки і комп'ютерних технологій.

Сутність методу моделювання полягає в тому, що поряд із системою-оригіналом SO, розглядають її модель, у якості якої виступає деяка інша система SM, яка представляє собою образ (подобу) оригіналу SO за умови моделюючого відображення (подібності).

Модель, як правило, є спрощеним образом оригіналу, і це спрощення здійснюється відображенням, при якому із системи SO свідомо видаляють деякі компоненти і зв'язки та отримують підсистему SM. У той самий час модель має у визначеному сенсі вірно відображати оригінал, хоча, можливе і деяке наближення.

Залежно від характеру наближення для одного оригіналу можна одержати кілька різних моделей. Стратегія моделювання полягає в спробі шляхом спрощення одержати модель, властивості і поведінку якої можна ефективно вивчати, але яка в той самий час залишається подібною оригіналу, щоб результати вивчення були застосовні до оригіналу.

Розглянемо основні поняття теорії моделювання.

5.1. Поняття і визначення

Модель (від лат. *modulus* - міра, аналог, зразок) - це штучно створений образ конкретного об'єкта, процесу або явища, у кінцевому рахунку, будь-якої системи [1.2].

Поняття моделі пов'язано з наявністю будь-якої подібності між двома об'єктами, один з яких є оригіналом, а інший - його образом, що виконує роль моделі. Модель - це відображення реальної системи (оригіналу), яке має певну об'єктивну відповідність їй і дозволяє прогнозувати і досліджувати її функціональні характеристики. При складанні моделі відображають окремі сторони функціонування системи, тобто те специфічне, що спрямовано на розв'язання поставленої цільової задачі дослідження системи. Подібність двох об'єктів з погляду виконання будь-яких функцій, цілей або задач дозволяє стверджувати, що між ними існує відношення подібності оригіналу і моделі.

Модель є завжди спрощеним описом системи і дає істотні переваги використання (наочність, безпечність, доступність проведення випробувань та ін.).

Моделювання - це процес дослідження системи (об'єкту, процесу чи явища), який включає побудову моделі, вивчення її характеристик і перенос отриманих відомостей на досліджувану систему.

Загальними функціями моделювання є опис, пояснення і прогнозування поведінки реальної системи.

Типовими цілями моделювання можуть бути пошук оптимальних або близьких до оптимальних рішень, оцінка ефективності рішень, визначення властивостей системи, встановлення взаємозв'язків між характеристиками системи, впливу факторів зовнішнього середовища на систему і системи на зовнішнє середовище. Термін "модель" має досить численні трактування. В подальшому ми будемо дотримуватись наступного визначення моделі. **Модель** - це об'єкт, створений для дослідження реального об'єкту (прототипу), що має у деяких відносинах подібність із прототипом і служить засобом опису, пояснення і прогнозування поведінки прототипу [1.2].

Особливо велике значення має моделювання при дослідженні систем, натурні експерименти над якими неможливі в силу складності, великих фінансових витрат, загрози екологічних катастроф, унікальності чи практичної неможливості проведення, тощо.

Можна виділити **три основні області застосування моделей** [1.2]: наукові дослідження, навчання і керування. У наукових дослідженнях моделі служать засобом отримання, фіксування й упорядкування нової інформації, забезпечуючи розвиток теорії і практики. В системі навчання моделі дозволяють досягти високої наочності відображення різних об'єктів і полегшити передачу знань про них. Це в основному моделі, що дозволяють описати й пояснити систему. У керуванні моделі використовуються для обґрунтування рішень. Вони забезпечують як опис, так і пояснення та прогнозування поведінки систем.

Будь-яка діяльність людини носить цільовий характер і спрямована на досягнення певної мети. **Мета**, у даному випадку, - це образ бажаного майбутнього, тобто *модель стану, на досягнення якого спрямована діяльність*.

Системність діяльності проявляється в тому, що вона організується за певним планом або алгоритмом. Алгоритм є моделлю планованої діяльності. Отже, моделювання є неминучою процедурою у всякій доцільній діяльності.

Треба підкреслити, що *модель* не взагалі якість відображення оригіналу, а *цільове відображення оригіналу*. Мета моделювання визначає, які властивості оригіналу і якою мірою (з якою точністю) повинні бути відтворені в моделі.

Якщо розглядають дві подібні системи SO і SM, з яких SO - досліджувана система, а SM - її бажане уявлення, то SO називають реальною (справжньою) системою, а SM - моделюючою системою або моделлю системи SO. При цьому, з позиції подібності систем SO і SM треба звернути увагу на термінологічні нюанси [1.8]. Оскільки відношення подібності симетрично (як і будь-яке відношення еквівалентності), то можна і систему SM розглядати як справжню. Яка з двох систем розглядається як справжня, залежить від обставин. Наприклад, у процесі розробки нового зразка виробу проектно-конструкторська документація може розглядатись як справжня система, а експериментальний зразок виробу – як модель цієї системи. А, після закінчення етапу освоєння виробництва (в процесі якого проектно-конструкторська документація є еталоном, під який підганяється виріб), новий виріб може розглядатись як реальна система, а його проектно-конструкторська і технологічна документації – як модель цього виробу.

Питання про те, чи є якась система підходящою моделлю для реальної системи, вирішується винятково з прагматичних міркувань. Це рішення приймає дослідник. Він обирає потрібну модель як замітник реальної, якщо, на його думку, вона має явні переваги порівняно з справжньою і в той самий час, не гірше за будь-яку іншу з наявних у його розпорядженні моделей.

Отже, термін "модель" використовується в зв'язку з визначеним відношенням між двома системами.

В іншій інтерпретації термін "модель" вживається для назви безлічі припущень, при яких вирішується задача. Такими припущеннями є, наприклад, аксіоми в математичних теоріях.

У літературі термін "модель" використовують також для позначення системи, яка є спрощеною модифікацією іншої системи. Оскільки відношення спрощення асиметричне, а відношення подібності симетричне, то термінологічно треба розрізняти ці поняття.

5.2. Основні вимоги до моделей

Головна вимога до будь-якої моделі полягає в тому, щоб вона була адекватною об'єкту дослідження, інакше губиться зміст моделювання. Під адекватністю моделі зазвичай розуміється ступінь її відповідності системі-оригіналу. Але повної (абсолютної) відповідності не може бути за визначенням моделі. Тому в системному аналізі як критерій адекватності використовується придатність моделі розв'язувати конкретні проблеми, поставлені замовником перед дослідником. Іншими словами, системна модель вважається адекватною реальній, якщо отримані за її допомогою закономірності не суперечать фактам, що спостеріга-

ються, а одержувані з її використанням висновки дозволяють досягти цілей даного дослідження.

Отже, *адекватною називають таку модель, для якої вимоги повноти, точності й істинності моделі виконуються не взагалі повною мірою, а тільки в тій мірі, що приводить до досягнення мети моделювання* [1.8].

Серед інших вимог до моделі можна назвати вимоги, які не потребують особливих пояснень: вимоги точності результатів, отримуваних при використанні моделі; вимоги надійності функціонування моделі; вимоги продуктивності (мінімального часу отримання результатів) моделі; тощо. Розрізняють також модифікаційні вимоги до моделі (можливість її модернізації при появі нових задач моделювання).

Очевидно, що створення адекватної моделі можливо тільки в тому випадку, коли властивості і взаємозв'язки об'єкта моделювання відомі та у достатньому ступені вивчені. Але, якщо об'єкт вивчений, тоді навіщо його моделювати? І навпаки, якщо об'єкт не вивчений, тоді як можна побудувати його адекватну модель? В наявності *парадокс моделювання*, що має місце не тільки в системних, але й у будь-яких інших дослідженнях.

У традиційних наукових напрямках вихід знаходять в тому, що модель не обґрунтовують, а постулюють на основі емпіричних знань, які має дослідник на даний момент часу. Так, наприклад, у класичній і квантовій механіці другий закон І. Ньютона (основна модель механіки макросвіту) і хвильове рівняння нерелятивістської квантової механіки Е. Шредингера (основна модель мікросвіту) не виводяться з будь-яких передумов, а постулюються. Рівняння Д. К. Максвелла, що описують динаміку електромагнетизму, також не доводяться, а приймаються як аксіоми. Такий самий підхід простежується в теоретичній біології, де логістичне рівняння, яким описують динаміку біологічних популяцій, приймається як вихідне і не доводиться.

У період свого становлення системне моделювання розвивалося приблизно таким самим шляхом. З математики запозичався будь-який придатний метод, модифікувався і доопрацьовувався з урахуванням особливостей системи-оригіналу, насичувався відповідною термінологією, доводився до обчислювальних процедур і подавався як модель системи. Потім проводилися дослідження цієї моделі, за результатами яких формулювалися висновки і видавалися рекомендації замовникові щодо раціональних способів його поведінки в тих або інших ситуаціях. При цьому в неявному виді постулювалось, що аксиоматика, прийнята при розробці математичного методу, відповідає принципам побудови та сутності функціонування того реального об'єкту, для моделювання якого використовувалася даний метод. Так, наприклад, вважалося, що методи теорії масового обслуговування однаково придатні для імітації процесів функціонування систем зв'язку і процесів ведення бойових дій. Таку концепцію побудови системних моделей можна назвати редукаціонізмом (від лат. *reduktio* - повернення, приведення назад, зведення складного до простого).

В даний час прийнято іншу, *гомеостатичну концепцію моделювання систем* [1.11], (від грець. *homoios* - подібний + *status* - стан). На практиці вона реалізується різними способами, але суть у них одна: покрокове приведення вихідної моделі до стану подібності об'єкту-оригіналу за рахунок включення в мо-

дель програмних механізмів адаптації та інтерпретації, а також організації режиму ефективного діалогу з дослідником.

Ідея побудови гомеостатичної моделі проста, але її практичне втілення вимагає залучення принципово нових інформаційних технологій. На першому кроці, використовуючи дані описової моделі, створюється так званий каркас системної моделі (її вихідне, нульове наближення), що враховує апріорі відомі властивості та аспекти модельованої системи. Цей каркас, далекий від адекватності об'єкту-оригіналу, не дозволяє сформулювати значущі практичні висновки, але одночасно в нього закладаються спеціальні алгоритми, які дозволяють змінювати вихідні передумови (базові аксіоми і правила висновків) у міру одержання нових даних про об'єкт вивчення. Далі проводиться модельний експеримент. Отримані при цьому дані використовуються для корегування каркаса - формується модель системи в першому її наближенні. Потім уже за допомогою цієї моделі проводиться експеримент, за результатами якого вона знову корегується - формується модель системи в другому її наближенні, і так далі. Такий циклічний дослідницький процес "експеримент - дані – корегування" багаторазово повторюється і ніколи не завершується побудовою остаточної системної моделі. Завжди це буде наближення до системи-оригіналу, яке потребує уточнення в ході подальших досліджень. *Адекватність системної моделі об'єкту вивчення не можна довести. Вона може бути або прийнятою як тимчасова угода, або відкинutoю на тій підставі, що одержані за її допомогою оцінки і висновки суперечать фактам, що спостерігаються, і не дозволяють досягти цілей дослідження.* Системна модель завжди відрізнятиметься від оригіналу і може лише асимптотично наближатися до нього при виконанні певних умов, специфічних для кожної практичної задачі.

5.3. Принципи моделювання

Побудова і використання моделей базується на наступних основних принципах [1.8].

1. Принцип інформаційної достатності. При повній відсутності інформації про систему побудова її моделі неможлива. При наявності повної інформації про систему відсутня необхідність її моделювання. В усіх проміжних ситуаціях дослідник змушений оперувати з моделлю системи, рівень адекватності якої визначається деяким критичним рівнем апріорної інформації про систему.

2. Принцип реалізованості. Модель, розроблювана дослідником, має забезпечити досягнення поставленої мети з практичною імовірністю і за кінцевий час. Рівень практичної імовірності визначається характером розв'язуваної задачі і можливих негативних наслідків. Наприклад, для моделі, що описує відсоток виборців, що виявлять цікавість до виборів, цілком прийнятним можна вважати рівень практичної впевненості, оцінюваний імовірністю, рівною 0,9. Проте така гарантія якості моделі для атомної електростанції явно недостатня і рівень практичної впевненості в цьому випадку повинний задаватися не нижче 0,99999.

3. Принцип множинності моделей. Складність досліджуваних систем і велика розмаїтість їхніх властивостей не дозволяють побудувати одну досить адекватну модель. Тому виникає необхідність у побудові деякої множини моделей, які в сукупності дають досить повне уявлення про систему і всі процеси, що протікають у ній.

4. Принцип агрегування. Будь-яка складна система складається з підсистем, агрегатів і елементів, для кожного з яких можна побудувати модель з визначеним рівнем адекватності. Реалізація цього принципу дозволяє досить гнучко керувати якістю моделі.

5. Принцип параметризації. Сутність цього принципу полягає в тому, що при побудові моделі складної системи деякі її компоненти можуть моделюватися в досить простій абстрактній формі, а саме, у виді скалярного або векторного параметра. Така параметризація системи дозволяє спростити модель системи, хоча це знижує рівень її адекватності.

У кожному конкретному випадку ступінь реалізації перерахованих вище принципів різна. Залежить це як від точки зору дослідника, який створює модель, так і від умов та обмежень, у яких ця модель створюється.

5.4. Види моделей і ознаки їх класифікації

Оригінал і модель, а також різні моделі одного оригіналу можуть відрізнитися за своєю реалізацією, де під реалізацією розуміють спосіб моделюючого відображення. Залежно від особливостей системи-оригіналу і задач дослідження застосовуються різні способи моделюючого відображення, а самі моделі одержують відповідну класифікацію.

Як ознаки класифікації моделей використовуються наступні: класифікація за областю використання; за фактором часу; за галуззю знань, за формою представлення.

За областю представлення розрізняють:

- *навчальні моделі* – використовуються в процесі навчання;
- *дослідницько-експериментальні моделі* – зменшені або збільшені копії об'єкту проектування (застосовують для дослідження і прогнозування майбутніх характеристик);
- *науково-технічні моделі* – для дослідження процесів і явищ;
- *ігрові моделі* – репетиція поведінки об'єкту в різних умовах;
- *імітаційні моделі* – відображення реальності в тому або іншому ступені (метод проб і помилок).

За фактором часу розрізняють моделі *статичні* (описують стан системи у певний момент часу) і *динамічні* (описують процеси зміни і розвитку системи в часі).

Класифікація моделей *за галуззю знань* - це класифікація за галуззю діяльності людини: *математичні, біологічні, хімічні, соціальні, економічні, історичні* тощо.

Однією з основ класифікації моделей є співвіднесення типів моделей з ти-

пами цілей моделювання. Наприклад, моделі можна розділити на пізнавальні і прагматичні.

Пізнавальні моделі є формою організації і подання знань, засобом з'єднання нових знань з наявними. Тому при виявленні розбіжності між моделлю і реальністю встає задача усунення цієї розбіжності за допомогою зміни моделі шляхом наближення її до реальності.

Прагматичні моделі є засобом керування, засобом організації практичних дій, способом представлення зразково правильних дій або їхнього результату. Тому при виявленні розбіжності між моделлю і реальністю встає задача усунення цієї розбіжності за допомогою зміни реальності так, щоб наблизити її до моделі. Прикладами прагматичних моделей можуть служити плани, програми дій, статuti організацій, кодекси законів, алгоритми, проектно-конструкторська документація, тощо.

Отже, прагматичні моделі носять нормативний характер, відіграють роль стандарту, тобто зразка, під який "підганяються" як сама діяльність, так і її результат (стандарту, що використовують як зразок для діяльності та її результатів).

За формою представлення розрізняють моделі **матеріальні** і **абстрактні**.

Матеріальні - це предметні (фізичні) моделі. Вони завжди мають реальне втілення. Відбивають зовнішню властивість і внутрішню будову вихідних об'єктів, сутність процесів і явищ об'єкта-оригіналу. Це експериментальний метод пізнання навколишнього середовища.

Абстрактна модель - це опис об'єкту досліджень на будь-якій мові. Абстрактність моделі проявляється в тому, що її компонентами є поняття, а не фізичні елементи (наприклад, словесні описи, креслення, схеми, графіки, таблиці, алгоритми або програми, математичні вирази).

Абстрактні моделі описують поведінку об'єкта-оригіналу, але не копіюють його. До них відносять гносеологічні, сенсуальні, концептуальні, математичні моделі, тощо.

Гносеологічні моделі спрямовані на вивчення об'єктивних законів природи (наприклад, моделі сонячної системи, біосфери, світового океану, катастрофічних явищ природи).

Сенсуальні моделі - моделі почуттів, емоцій, або моделі, що впливають на почуття людини (наприклад, музика, живопис, поезія).

Концептуальна модель - це абстрактна модель, що виявляє причинно-наслідкові зв'язки, властиві досліджуваному об'єкту та істотні в рамках визначеного дослідження. Основне призначення концептуальної моделі - виявлення набору причинно-наслідкових зв'язків, урахування яких необхідне для отримання потрібних результатів. Об'єкт може, залежно від мети дослідження, представлятися різними концептуальними моделями. Так, одна концептуальна модель може відображати часові аспекти функціонування системи, інша - вплив відмовлень на працездатність системи.

Математична модель - абстрактна модель, представлена мовою математичних відносин. Вона має форму функціональних залежностей між параметрами, які враховуються відповідною концептуальною моделлю. Ці залежності

конкретизують причинно-наслідкові зв'язки, виявлені в концептуальній моделі, і характеризують їх кількісно.

Отже, можна сказати що *модель - це спеціальний об'єкт, який у деяких відносинах заміщує оригінал*. Принципово не існує моделі, яка була б повним еквівалентом оригіналу. Будь-яка модель відбиває лише деякі сторони оригіналу. Тому з метою отримання більш глибоких знань про об'єкт-оригінал користуються сукупністю моделей. Складність моделювання як процесу полягає у відповідному виборі такої сукупності моделей, що заміщають реальний об'єкт у необхідних відносинах.

Незважаючи на велику кількість розробок в області моделювання систем різного призначення, поки не створено єдиної класифікації моделей і теорії побудови системних моделей, яка б повною мірою реалізовувала концепцію системного підходу.

Як приклад, розглянемо один з варіантів класифікації системних моделей, наведений в [1.11] (див. рис. 5.1).

Залежно від призначення системні моделі підрозділяються на керуючі, моделі для проектування і моделі для планування. Моделі для проектування призначені для забезпечення проектування технічних, технологічних, організаційних і інших систем, а також для наукових досліджень. Моделі керуючого типу призначені для керування реальними технологічними, технічними, виробничими й іншими процесами. Наприклад, такі моделі використовуються в автоматизованих системах керування рухом залізничного і повітряного транспорту. У тому випадку, коли системні моделі розробляються і використовуються для відпрацювання планів застосування будь-яких засобів, вони називаються моделями для планування.

Системні моделі, що працюють тільки в режимі "запитання-відповідь", належать до класу експертних. Якщо предметна база містить лише прагматичний рівень, тобто складається тільки з бази даних, то такі моделі називаються інформаційно-пошуковими. Моделі, що працюють в інтерактивному режимі, називаються інформаційно-логічними, а у випадку, коли об'єктом керування є деяка система спеціального математичного забезпечення або пакет прикладних програм, їх називають інформаційно-розрахунковими.

Індивідуальні моделі реалізуються на базі локальних комп'ютерних засобів і призначені для персональної дослідницької, управлінської і планувальної роботи. *Колективні системні моделі* розробляються на базі розподілених комп'ютерних мереж. Вони призначені для проведення комплексних науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт у масштабі інституту або дослідно-конструкторського бюро, а також для керування просторово розподіленими об'єктами. Такі моделі входять до складу відповідних автоматизованих систем керування, утворюють їх інтелектуальне й інформаційне ядро. Зазвичай, для кожного типу системних моделей характерні свої особливості структурної побудови, а також своя специфіка в способах програмної реалізації.

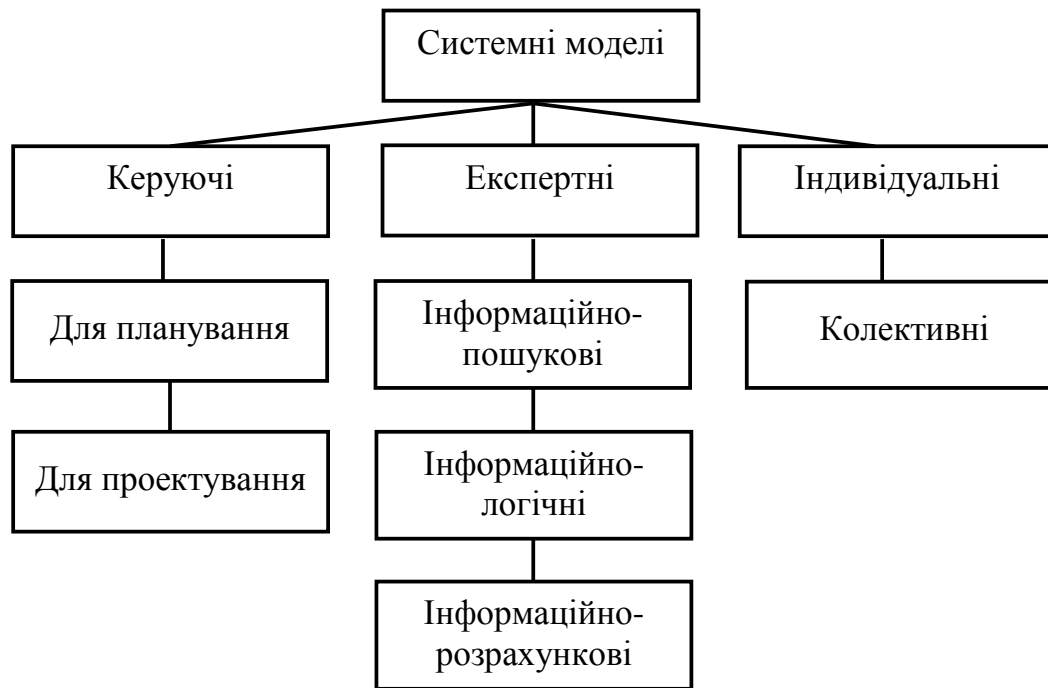


Рис. 5.1 – Варіант класифікації системних моделей

Розгляд методів моделювання виходить за рамки даного конспекта лекцій. Детальніше з класифікаціями моделей і видів моделювання можна ознайомитися в [1.3, стр. 43 - 53], [1.8, стр. 64 - 72].

5.5. Технологія моделювання

В самому загальному випадку процес моделювання включає низку етапів, основні з яких:

1. *Формулювання проблеми і визначення цілей моделювання.* Результатом цього етапу є складений змістовий опис об'єкта моделювання.

2. *Розробка концептуального опису.* Результатом на цьому етапі є концептуальна модель і вибір способу формалізації для заданого об'єкта моделювання.

3. *Формалізація моделі.* Складається формальний опис об'єкта моделювання.

4. *Програмування моделі (розробка імітатора).* Здійснюється вибір засобів автоматизації моделювання, алгоритмізація, програмування і налагодження моделі.

5. *Випробування і дослідження моделі, перевірка моделі.* Проводиться верифікація моделі, оцінка адекватності, дослідження властивостей моделі та інші процедури комплексного тестування розробленої моделі.

6. *Планування і проведення модельного експерименту.* Здійснюється стратегічне і тактичне планування модельного експерименту. Результатом є складений і реалізований план експерименту, задані умови проведення дослідження для обраного плану.

7. Аналіз результатів моделювання. Дослідник проводить інтерпретацію результатів моделювання і їхнє використання.

Розглянемо детальніше зміст цих етапів.

Формулювання проблеми і визначення цілей імітаційного дослідження. На першому етапі формулюють проблему, що повстала перед дослідником і приймають рішення про доцільність застосування методу моделювання. Потім визначаються цілі, які мають бути досягнуті в результаті моделювання. Від формулювання цілей значною мірою залежить вибір типу моделі і характер подальшого дослідження на моделі. На цьому етапі визначається і детально вивчається об'єкт моделювання, ті сторони його функціонування, що становлять інтерес для дослідження. Результатом робіт на даному етапі є змістовий опис об'єкта моделювання з вказівкою цілей моделювання та аспектів функціонування об'єкта моделювання, які необхідно вивчити за допомогою моделі. Змістовий опис складають в термінології реальної системи мовою предметної області, зрозумілою замовникові.

У ході складання *змістового опису* об'єкта моделювання встановлюють границі дослідження об'єкта моделювання, дають опис зовнішнього середовища. Формулюють основні критерії ефективності, за якими передбачається проводити порівняння на моделі різних варіантів рішень, проводять генерацію й опис альтернатив для розгляду. Загального рецепта складання змістового опису не існує. Успіх залежить від інтуїції розробника і знання реальної системи. Загальна технологія або послідовність дій на цьому етапі наступна:

- збір даних про об'єкт моделювання і складання змістового опису об'єкта моделювання;
 - вивчення проблемної ситуації - визначення діагнозу і постановка задачі;
 - уточнення цілей моделювання;
 - обґрунтування необхідності моделювання і вибір методу моделювання.
- На цьому етапі чітко і конкретно формулюються цілі моделювання.

Цілі моделювання визначають загальний задум моделі і пронизують усі наступні етапи моделювання. Далі здійснюється формування концептуальної моделі досліджуваного об'єкта.

Структурування вихідної проблеми. Формулювання проблеми. Насамперед, дослідник повинний вміти аналізувати проблему. Він виконує вивчення і структурування вихідної проблеми, чітко формулювання проблеми.

Аналіз проблеми необхідно починати з детального вивчення всіх аспектів функціонування системи. Тут важливе розуміння деталей, тому треба бути або фахівцем у конкретній предметній області, або взаємодіяти з експертами. Розглянута система пов'язана з іншими системами, тому важливо правильно визначити задачі. Загальну задачу моделювання при цьому розбивають на часткові задачі.

Системний підхід до рішення проблем передбачає наступне.

Системний розгляд сутності проблеми:

- обґрунтування сутності і місця досліджуваної проблеми;

- формування загальної структури досліджуваної системи;
- виявлення повної множини значущих факторів;

визначення функціональних залежностей між факторами.

Побудову єдиної концепції вирішення проблеми:

- дослідження об'єктивних умов вирішення проблеми;
- обґрунтування цілей, задач, необхідних для вирішення проблеми;
- структуризація задач, формалізація цілей;
- розробка засобів і методів вирішення проблеми: опис альтернатив, сценаріїв, правил розв'язання і керуючих впливів для відпрацювання в подальшому на моделі процедур прийняття рішень.

Системне використання методів моделювання:

- системна класифікація (структуризація) задач моделювання;
- системний аналіз можливостей методів моделювання;
- вибір ефективних методів моделювання.

Виявлення цілей. Перший і найважливіший крок при створенні будь-якої моделі полягає у визначенні її цільового призначення. Може бути застосований метод декомпозиції цілей, що припускає поділ цілого на частини: цілей - на підцілі, задач - на підзадачі і т.д. На практиці цей підхід призводить до ієрархічних деревоподібних структур (побудови дерева цілей). Цю процедуру проводять фахівці та експерти з проблеми. Тобто, тут має місце суб'єктивний фактор. Побудоване в результаті цієї процедури дерево цілей може надалі виявитися корисним при формуванні множини критеріїв.

Треба мати на увазі деякі труднощі цього етапу. Те, що для одного рівня є метою, для іншого рівня є засобом, і часто відбувається змішання цілей. Для складної системи з великою кількістю підсистем цілі можуть бути суперечливими. Ціль рідко буває єдиною, при множині цілей існує небезпека невірної ранжирування.

Сформульовані і структуровані на першому етапі цілі моделювання пронизують весь хід подальшого дослідження.

Формування критеріїв. Винятково важливим є чітке й однозначне визначення критеріїв. Це впливає на процес створення й дослідження моделі, окрім того, неправильне визначення критерію веде до неправильних висновків. Розрізняють критерії, за допомогою яких оцінюють ступінь досягнення мети системою, і критерії за якими оцінюють спосіб руху до мети (або ефективність засобу досягнення цілі). Для багатокритеріальних систем моделювання формують набір критеріїв, їх необхідно структурувати за підсистемами або ранжирувати за важливістю.

Розробка концептуальної моделі об'єкта моделювання. Концептуальна модель - це логіко-математичний опис системи відповідно до формулювання проблеми.

Основний зміст цього етапу - формулювання загального задуму моделі, перехід від реальної системи до логічної схеми її функціонування. Тут приводиться опис об'єкта в термінах математичних понять і алгоритмізація функціонування її складових. Концептуальний опис - це спрощене

алгоритмічне відображення реальної системи.

Під час розробки концептуальної моделі встановлюють основну структуру моделі, що включає статичний і динамічний опис системи. Встановлюють границі системи, приводять опис зовнішнього середовища, виділяють істотні елементи і дають їхній опис, формують змінні, параметри, функціональні залежності як для окремих елементів і процесів, так і для всієї системи, обмеження, цільові функції, критерії.

Результат роботи на цьому етапі - документований концептуальний опис і вибраний спосіб формалізації досліджуваної системи. При створенні невеликих моделей цей етап сполучається з етапом складання змістового опису досліджуваної системи. На цьому етапі уточнюють методику модельного експерименту.

Побудова концептуальної моделі починається з того, що на основі мети моделювання встановлюються границі досліджуваної системи, визначаються впливи зовнішнього середовища. Висуваються гіпотези і фіксуються всі припущення, необхідні для побудови моделі. Обговорюють рівень деталізації процесів, що підлягають моделюванню.

Можна визначити систему як сукупність взаємозалежних елементів. У конкретній предметній області визначення системи залежить від мети моделювання і від того, хто визначає систему. На цьому етапі здійснюють **декомпозицію системи**. Визначають найбільш істотні з погляду сформульованої проблеми елементи системи (виконують структурний аналіз системи) і взаємодії між ними, виявляють основні аспекти функціонування системи (*складають функціональну модель*), приводять опис зовнішнього середовища. Декомпозиція системи (об'єкта моделювання) або виділення підсистем - це операція аналізу. Елементи моделі мають відповідати реально існуючим фрагментам у системі. Складну систему розбивають на частини, зберігаючи при цьому зв'язки, що забезпечують взаємодію. Можна скласти функціональну схему, яка прояснить специфіку динамічних процесів, що відбуваються в системі, що розглядається. Важливо визначити, які компоненти будуть включені в модель, які будуть винесені у зовнішнє середовище, і які взаємозв'язки будуть установлені між ними.

Опис зовнішнього середовища виконують з тих міркувань, що елементи зовнішнього середовища впливають на елементи системи, проте вплив самої системи на них, як правило, неістотний.

Під час обговорення рівня деталізації моделі важливо розуміти, що в основі всякої декомпозиції лежать два суперечливих принципи: повнота і простота. Зазвичай на початкових етапах складання моделі спостерігається тенденція до врахування надмірно великої кількості компонентів і змінних. Проте гарна модель – це проста модель. Відомо, що ступінь розуміння явища зворотно пропорційна кількості змінних, що фігурують у його описі. Модель, що перевантажена деталями, може стати складною і важкою для реалізації.

Концептуальна модель - це систематизований змістовий опис системи (або проблемної ситуації) неформальною мовою. Неформалізований опис розроблюваної моделі включає визначення основних елементів модельованої

системи, їхніх характеристик і взаємодію між елементами. При цьому можуть використовуватися таблиці, графіки, діаграми тощо. Неформалізований опис моделі потрібен як самим дослідникам (при перевірці адекватності моделі, її модифікації та ін.), так і для взаєморозуміння з фахівцями інших профілів.

Концептуальна модель містить вихідну інформацію для системного аналітика, який виконує формалізацію системи і використовує для цього певну методологію і технологію, тобто на основі неформалізованого опису здійснюється розробка більш строгого і докладного формалізованого опису.

Потім формалізований опис перетворюється на програму-імітатор відповідно до деякої методики (технології моделювання).

Основна задача етапу формалізації - дати формальний опис складної системи, вільний від другорядної інформації, що міститься в змістовому описі, алгоритмічне подання об'єкта моделювання. Ціль формалізації - одержати формальне подання логіко-математичної моделі, тобто алгоритмів поведінки компонентів складної системи і відтворити на рівні моделюючого алгоритму взаємодію між компонентами.

Може виявитися, що інформації, яка є в змістовому описі недостатньо для формалізації об'єкта моделювання. У цьому випадку необхідно повернутися до етапу складання змістового опису і доповнити його даними, необхідність в яких виявилася при формалізації об'єкта моделювання. На практиці таких повернень може бути декілька. Формалізація корисна у певних межах і для простих моделей недоцільна.

Спостерігається істотна розмаїтість схем (концепцій) формалізації і структуризації, що знайшли застосування в моделюванні. Схеми формалізації орієнтуються на різні математичні теорії і виходять з різних уявлень про досліджувані процеси. Звідси їхнє різноманіття і проблема вибору підходящої (для опису даного об'єкта моделювання) схеми формалізації.

Програмування моделі. Концептуальний або формальний опис моделі складної системи перетворюється на програму-імітатор відповідно до деякої методики програмування з застосуванням мов і систем моделювання. Важливим моментом є коректний вибір інструментального засобу для реалізації моделі.

Збір і аналіз вихідних даних. Не завжди цей етап виділяється як самостійний, але виконувана на цьому етапі робота має велике значення. Якщо програмування і трасування моделі можна виконувати на гіпотетичних даних, то майбутнє експериментальне дослідження необхідно виконувати на реальному потоці даних. Від цього залежить точність одержуваних результатів моделювання й адекватність моделі реальній системі.

Тут перед розроблювачем моделі встають два питання:

- де і як одержати і зібрати вихідну інформацію;
- як обробити зібрані дані про реальну систему.

Основні методи одержання вихідних даних:

- з існуючої документації на систему (дані звітів, статистичні збірники, наприклад, для соціально-економічних систем, фінансова і технічна документація для виробничих систем та ін.);
- фізичне експериментування (іноді для завдання вихідної інформації необхідно провести натурні експерименти на модельованій системі або її прототипах);
- попередній, апріорний синтез даних.

Іноді вихідні дані можуть не існувати, а модельована система виключає можливість фізичного експериментування. У цьому випадку пропонують різні прийоми попереднього синтезу даних. Наприклад, при моделюванні інформаційних систем термін виконання інформаційної вимоги оцінюється на основі трудомісткості реалізованих алгоритмів. До цих методів належать різні процедури, засновані на загальному аналізі проблематики, анкетуванні, інтерв'юванні, широкому застосуванні методів експертного оцінювання.

Друге питання пов'язане з проблемою ідентифікації вхідних даних для дослідження стохастичних систем, тобто таких систем, динаміка яких залежить від випадкових факторів. Вхідні (і вихідні) змінні стохастичної моделі, як правило, випадкові величини, вектори, функції, випадкові процеси. Тому з'являються додаткові труднощі, пов'язані із синтезом рівнянь щодо невідомих законів розподілу і визначенням імовірнісних характеристик (математичних сподівань, дисперсій, кореляційних функцій та ін.) для аналізованих процесів та їхніх параметрів. Необхідність статистичного аналізу при зборі й аналізі вхідних даних пов'язана з задачами визначення виду функціональних залежностей, що описують вхідні дані, оцінкою конкретних значень параметрів цих залежностей, а також перевіркою значущості параметрів. Для підбору теоретичних розподілів випадкових величин застосовують методи математичної статистики, засновані на визначенні параметрів емпіричних розподілів і перевірці статистичних гіпотез, з використанням критеріїв згоди про те, чи погоджуються емпіричні дані з відомими законами розподілу.

Випробування і дослідження властивостей моделі. Після реалізації моделі на ЕОМ, необхідно провести випробування для оцінки адекватності моделі. На етапі випробування і дослідження розробленої моделі організують комплексне тестування моделі - планований ітеративний процес, спрямований на підтримку процедур верифікації моделей і даних.

Якщо в результаті проведених процедур модель виявиться недостатньо достовірною, то можна виконати калібрування моделі (у моделюючий алгоритм вбудовують коефіцієнти калібрування) з метою забезпечення адекватності моделі. У складніших випадках можливі численні ітерації з метою одержання додаткової інформації про об'єкт моделювання або доробки моделі. Наявність помилок у взаємодії компонентів моделі повертає дослідника на етап створення моделі. Причиною цього може бути первісно спрощена модель процесу або явища, що приводить до неадекватності моделі об'єкту. У випадку, якщо вибір способу формалізації виявився невдалим, то необхідно повторити етап складання концептуальної моделі з урахуванням нової інформації і отриманого

досвіду. Нарешті, коли виявилось що недостатньо інформації про об'єкт, необхідно повернутися до етапу складання змістового опису системи й уточнити його з урахуванням результатів випробування.

Спрямований обчислювальний експеримент на моделі. Аналіз результатів моделювання і прийняття рішень. На заключних етапах моделювання потрібно проводити стратегічне і тактичне планування експерименту. Організація спрямованого обчислювального експерименту на моделі припускає вибір і застосування різних аналітичних методів для обробки результатів дослідження. Для цього застосовують методи планування обчислювального експерименту, регресійний і дисперсійний аналіз, методи оптимізації. Організація і проведення експерименту вимагає коректного застосування аналітичних методів. За отриманими результатами проведено дослідження має дозволити зробити висновки, достатні для прийняття рішень.

5.6. Методи моделювання систем

Методи моделювання об'єктів і явищ формувалися в процесі історичного розвитку конкретних наукових напрямів, кожний з яких вивчає системи в своїй предметній області. Як приклади розглянемо деякі з методів, що застосовуються в моделюванні і вирішенні проблем в будівництві.

5.6.1. Якісні методи моделювання

Методи типу "мозковий штурм". Ці методи зазвичай використовуються у формі проведення обговорень, пропозицій або проміжних результатів аналізу, отриманих із застосуванням різних методів. Зазвичай при проведенні сесії колективної генерації ідей намагаються виконувати наступні правила:

- забезпечити як можна більшу свободу мислення;
- вітати будь-які ідеї;
- не припускати критики будь-яких ідей;
- висловлювати якнайбільше ідей, особливо нетривіальних.

Метод сценаріїв. Метод підготовки й узгодження уявлень про проблему або аналізований об'єкт, викладений у письмовому виді, одержав назву "сценарію". *Сценарієм* називають документ, що містить аналіз розглянутої проблеми і пропозиції щодо її розв'язання або щодо розвитку системи. Роль фахівців із системного аналізу при підготовці сценарію полягає у допомозі залученим фахівцям відповідних областей виявити загальні закономірності розвитку системи, проаналізувати зовнішні і внутрішні фактори, що впливають на її розвиток і формулювання мети. Сценарій є попередньою інформацією, на основі якої проводиться подальша робота з прогнозування або розробки варіантів розв'язання проблеми.

Метод Дельфі. Назва методу походить від імені давньогрецького Дельфійського оракула. Метод припускає відмовлення від колективних обговорень і передбачає наступну послідовність дій:

- формується група (як правило з експертів, але в окремих випадках можуть бути залучені люди, які не є експертами), причому важливо те, що ці люди не спілкуються безпосередньо один з одним;

- кожному члену групи пропонується анонімно висловити пропозицію щодо проблеми, з якої має бути прийняте рішення;
- після узагальнення всіх пропозицій кожен член групи отримує звіт про висловлені припущення (іноді перераховуються всі пропозиції);
- на підставі отриманого звіту учасникам знову пропонується висловити свої думки.

Подібні цикли повторюються або протягом встановленого часу, або до того часу, поки узагальнений звіт перестане змінюватися, що означатиме, що кожен член групи залишився при своїй думці.

Метод дерева цілей. Термін "дерево цілей" передбачає використання ієрархічної структури, отриманої шляхом поділу загальної мети на підцілі. Побудова дерева цілей виконується для повнішого виявлення і систематизації факторів, що повинні бути враховані для побудови цільової функції та обмежень.

Метод орієнтований на отримання повної і відносно стійкої структури цілей, тобто такої, яка мало змінюється при змінах у системі.

5.6.2. Методи експертних оцінок

Експертними оцінками називають групу методів, що використовуються для оцінювання систем на якісному рівні.

Припустимо, що є кінцеве число оцінюваних альтернатив і сформульовані ознаки порівняння:

$$A = \{a_1, \dots, a_n\}.$$

Методи виміру розрізняються процедурою порівняння об'єктів. Ця процедура включає побудову відносин між об'єктами, вибір перетворення φ і визначення типу шкал виміру.

Метод ранжирування. Цей метод є процедурою упорядкування об'єктів, що виконується експертом. У результаті порівняння всіх об'єктів складається упорядкована послідовність

$$a_1 > a_2 > \dots > a_n.$$

Об'єкт a_1 вважається найкращим. Для цього відношення доведене існування числової системи, елементами якої є дійсні числа, пов'язані між собою відношенням нерівності ">". Це означає, що упорядкуванню об'єктів відповідає упорядкування чисел

$$\begin{aligned} x_1 > x_2 > \dots > x_n, \\ x_i = \varphi(a_i). \end{aligned}$$

У практиці ранжирування найчастіше застосовуються подання у виді натуральних чисел

$$\begin{aligned} x_1 = \varphi(a_1) &= 1, \\ x_2 = \varphi(a_2) &= 2, \\ &\dots\dots\dots, \\ x_n = \varphi(a_n) &= n. \end{aligned}$$

Переваги цього методу - простота процедури.

Недолік: при кількості об'єктів понад 10-15 експерти утруднюються в побудові ранжирування.

Метод парного порівняння. Цей метод є процедурою встановлення пере-

ваги об'єктів. При порівнянні можливих пар об'єктів можливо або відношення строгого порядку, або відношення еквівалентності. У практиці парного порівняння використовуються наступні числові подання:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } a_i \geq a_j \\ 0, & \text{якщо } a_i < a_j \end{cases}$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 2, & \text{якщо } a_i > a_j \\ 1, & \text{якщо } a_i \approx a_j \\ 0, & \text{якщо } a_i < a_j \end{cases}$$

Результати порівняння всіх пар подають у формі матриць:

	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄
a ₁	1	1	1	0
a ₂	0	1	1	0
a ₃	0	0	1	0
a ₄	1	1	1	

	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄
a ₁	1	2	2	0
a ₂	0	1	2	0
a ₃	0	0	1	0
a ₄	2	2	2	

В цілому використання експертних методів базується на тому, що досліджувана проблема досить добре забезпечується інформацією, і групова думка експертів близька до істини, але є клас маловивчених проблем, стосовно яких думка одного експерта важливіша, за думку інших. У зв'язку з цим, у задачах такого класу треба застосувати якісні методи обробки результату, тому що методи усереднення можуть привести до помилок.

Експертні оцінки можуть нести колективно-суб'єктивні риси. Усунути цей недолік можна, звертаючи особливу увагу на формування групи експертів і на обробку результатів, виділяючи рідкі і суперечливі думки.

5.6.3. Методи формалізованого подання систем

Існують різні класифікації методів формалізованого представлення. Розглянемо наступну:

- аналітичні;
- статистичні;
- методи дискретної математики;
- графічні методи.

Аналітичні методи. Основу складають методи класичної математики. Бі-

льшість з напрямків математики не містить засобів постановки задач і доказів адекватності моделі. Адекватність доводиться експериментом. Експеримент не завжди безперечний і не завжди може бути реалізованим. До аналітичних методів належить математичне програмування. Привабливість методів математичного програмування для рішення слабоформалізованих задач пояснюється рядом особливостей:

- введення понять "цільова функція" і "обмеження" є, фактично, засобом постановки задачі. У процесі проведення дослідження можливе уточнення уявлень про проблемну ситуацію;
- з'являється можливість об'єднання в єдиній моделі різнорідних критеріїв (різних розмірностей, граничних значень).
- модель припускає і навіть орієнтує вихід на границю області визначення змінних;
- методи математичного програмування дозволяють одержати уявлення про покрокове наближення до рішення.

Графічна інтерпретація задачі дає наочне представлення про області припустимих рішень, що допомагає в практичних ситуаціях, коли не вдається знайти формальне відображення цільової функції і строго вирішити задачу.

Резюмуючи, можна сказати, що аналітичні методи застосовують, коли знання про процеси і події в певному інтервалі часу дозволяють цілком визначити їхню поведінку поза цим інтервалом.

Для складних систем одержати аналітичні залежності у край важко і практично неможливо довести адекватність.

Статистичні методи. Статистичним називають відображення системи за допомогою випадкових процесів, що описуються імовірнісними характеристиками і статистичними закономірностями.

Розширення можливостей, порівняно з аналітичними методами, можна пояснити тим, що процес постановки задачі частково замінюється статистичними дослідженнями, які дозволяють не виявляти всі детерміновані зв'язки.

На основі вибіркового дослідження можна одержати статистичні закономірності і поширити їх на поведінку всієї системи в цілому.

У той самий час, не завжди можна визначити репрезентативну вибірку, довести правомірність застосування отриманих на її основі статистичних закономірностей. У таких випадках доцільно звернутися до методів дискретної математики.

Методи дискретної математики

Теоретико-множинні подання. Ці методи базуються на поняттях теорії множин. Вони знайшли поширення для уточнення ряду математичних напрямків. Зокрема, важливі результати були отримані в теорії чисел, комбінаториці, топології, тощо.

Будь-яку систему можна представити як сукупність множин і підмножин, різнорідних компонентів. Але в описаній за допомогою цього апарата проблемній ситуації можуть виявитися парадокси.

Логічні методи і математична логіка. Логічні представлення переводять реальну систему на мову однієї з алгебр. На базі математичної логіки створені і розвиваються:

- теорія логічного аналізу і синтезу;
- теорія автоматів.

Застосовуються при дослідженні нових структур і систем різноманітної природи.

На основі логічних уявлень розвиваються мови моделювання проблемних ситуацій.

Можливості логічних методів обмежені і не завжди дозволяють адекватно відобразити реальну проблемну ситуацію.

Лінгвістичні і семіотичні методи. Для системних досліджень використовують сполучення математичних, лінгвістичних, семіотичних методів. Ці методи виникли у зв'язку з потребою аналізу тексту і мов. Вони є зручним апаратом для першого етапу постановки і формалізації задач у ситуаціях з великою початковою невизначеністю.

На основі цих методів розробляють мови моделювання та автоматизації проектування.

Графічні методи - зручний і наглядний засіб дослідження структур і процесів у складних системах. До графічних представлень належать: діаграми, гістограми, графіки Ганта, а також різні графічні відображення, які виникли на основі їхніх теорій - теорії графів, теорії сіткового планування і керування.

Запитання для самоконтролю

1. Що розуміють під моделлю і моделюванням?
2. Які відношення між моделлю і реальним об'єктом?
3. Які вимоги висуваються до моделей об'єктів і явищ?
4. Поясніть основні принципи моделювання.
5. Надайте приклади ознак класифікації моделей.
6. Наведіть приклад концептуальної моделі організації (туристична фірма, готель, торгівельно-розважальний центр)?
7. У чому сенс парадоксу моделювання?
8. Поясніть послідовність процедури моделювання системи.
9. Охарактеризуйте якісні методи моделювання.
10. Охарактеризуйте методи експертних оцінок.
11. Охарактеризуйте методи формалізованого представлення систем.
12. Охарактеризуйте графічні методи.

Тема 6. МОДЕЛІ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

6.1. Модель типу "чорний ящик"

У випадках, коли апріорна інформація про об'єкт дослідження мінімальна (практично відсутні відомості про внутрішню будову) використовують представлення системи у виді непрозорого "ящика", виділеного з оточуючого середовища. Звернемо увагу на два моменти. По-перше, ця максимально проста модель уже відображає дві істотні властивості системи: цілісність і відокремленість від середовища. По-друге, не дивлячись на те, що "чорний ящик" відокремлений від середовища, його не вважають повністю ізольованим. Тобто, система зв'язана з середовищем і за допомогою цих зв'язків впливає на середовище. Ці зв'язки називають виходами системи. В цій моделі виходи системи відповідають поняттю "мета" (ціль) системи. Окрім цього система виступає як засіб реалізації "мети", тому треба враховувати і зовнішні впливи на систему, які називаються входами системи. В результаті, має місце модель, яка називається "чорний ящик" (рис. 6.1).

Ця модель, не дивлячись на зовнішню простоту і відсутність даних про внутрішню будову системи, часто виявляється досить корисною. Але, побудова моделі типу "чорний ящик" не є тривіальною задачею, оскільки питання про те, що є входами і що є виходами моделі не завжди має однозначну відповідь.

Модель "чорний ящик" складається з чотирьох моделей: границя, зовнішнє середовище, входи і виходи системи. Вона акцентує увагу дослідника на взаємодії системи з зовнішнім середовищем. Така взаємодія здійснюється шляхом впливу системи на середовище через результати її цілеспрямованого функціонування, тобто через цільовий продукт. Цільовим продуктом системи є її виходи. У свою чергу зовнішнє середовище впливає на систему через ресурсне забезпечення, керування і різні контрольовані і неконтрольовані фактори, що сприяють або перешкоджають нормальному функціонуванню системи.



Рис. 6.1 - Модель системи типу "чорний ящик"

Зовнішня простота моделі "чорний ящик" на практиці обертається труднощами, пов'язаними з визначенням складових моделі – границі, зовнішнього середовища, входів і виходів системи.

Границя системи. У теорії систем зустрічаються різні визначення поняття "границя системи". Нижче приведено два найбільш вдалих, які відбивають

фізичну та інформаційну сутності цього поняття [1.8]. Границя системи це:

- лінія або поверхня в певному просторі, що розділяє саму систему і навколишнє середовище (державний кордон, границя заповідника, границя території мешкання будь-якого виду тваринного світу тощо);
- межа, до якої поширюється і в якій перетворюється керуюча інформація системи (границя дії супутникової навігаційної системи; границя, у межах якої прослухується віщання радіопередавача та ін.).

Побудову моделі границі системи завжди пов'язують з метою використання системи в надсистемі.

Зовнішнє середовище системи. Це сукупність всіх об'єктів поза границею системи, зміна властивостей яких впливає на систему, а також тих об'єктів, чий властивості змінюються в результаті поведінки системи.

Виділяє середовище для системи (або систему із середовища) дослідник, який визначає (обмежує) об'єкти, що включаються в зовнішнє середовище, від інших згідно з певним набором цільових критеріїв. Як об'єкт дослідження зовнішнє середовище характеризується наступними основними властивостями:

- складністю, яка описується кількістю і розмаїтістю факторів, що істотно впливають на систему;
- взаємозв'язком факторів, що характеризується силою з якою зміна одного фактора впливає на зміну іншого;
- рухливістю, яка вимірюється відносною швидкістю зміни властивостей середовища;
- невизначеністю, яка вимірюється відносною кількістю інформації про середовище і мірою впевненості у вірогідності цієї інформації.

При визначенні зовнішнього середовища з усієї безлічі об'єктів, що розташовані поза границею системи, виділяють найбільш значущі з погляду активності взаємодії із системою через входи і виходи. Таку сукупність об'єктів середовища називають **актуальним середовищем**.

Актуальне середовище поділяється на **середовище прямого впливу** і **середовище непрямого впливу**. На рис. 6.2 наведено приклад спрощеної моделі актуального середовища підприємства, в якій виділені підсистеми середовища прямого і середовища непрямого впливу.

4.2. Модель типу "склад системи"

При розгляді будь-якої системи виявляється, що її цілісність і відособленість, відображені в моделі "чорного ящика", виступають як зовнішні властивості. Внутрішність же "ящика" виявляється неоднорідною, що дозволяє розрізняти складові частини самої системи. При детальнішому розгляді деякі частини системи можуть бути, у свою чергу, розбиті на складові частини і т.д. Ті частини системи, що в процесі дослідження розглядаються як неподільні, називаються **елементами**. Частини системи, що складаються більш ніж з одного елемента, називають **підсистемами**. При необхідності вводять позначення або терміни, що вказують на ієрархію частин. Наприклад, у складі підприємства, цехи – підсистеми системи "підприємство", в цехах – дільниці є підсистемами системи "цех", а "робоче місце" є елементом системи "дільниця", яка є підсистемою сис-

теми "цех" у випадку, коли в дослідження включаються і робочі місця, або є елементом підсистеми "цех", якщо робочі місця в дослідження не включені. Як результат маємо модель типу "склад системи підприємство", яка описує, з яких підсистем і елементів складається досліджуване підприємство (рис. 5.3).

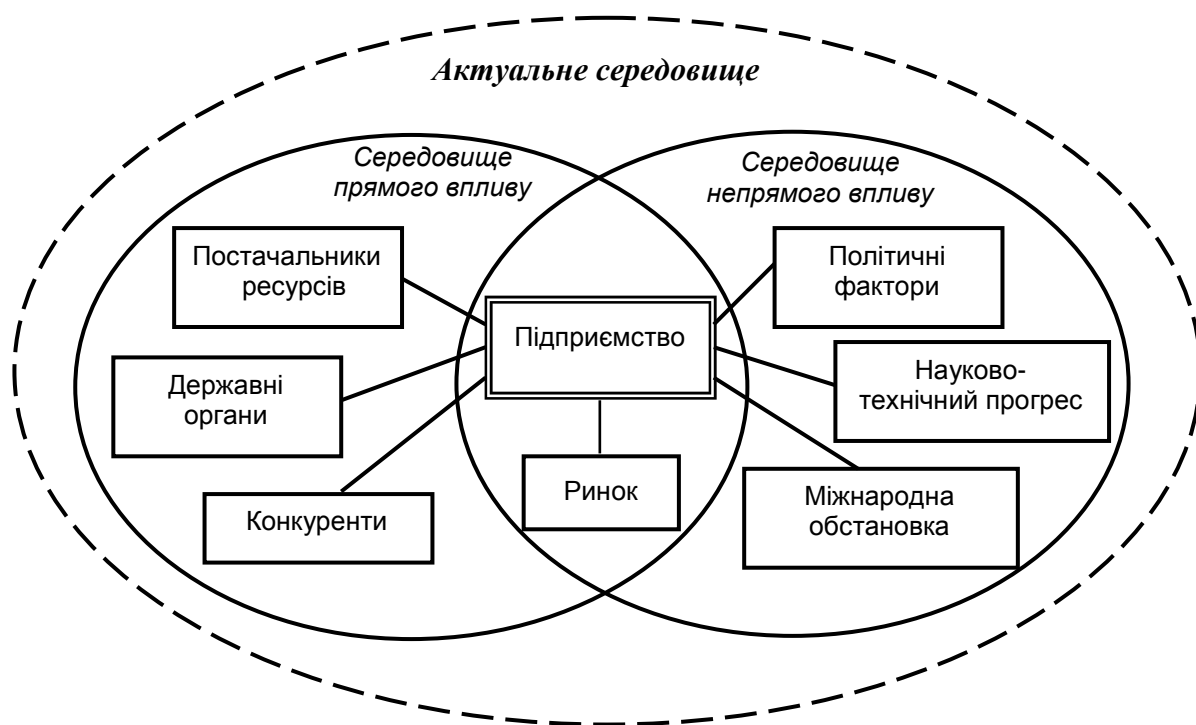


Рис. 6.2 – Модель актуального середовища підприємства

Зауваження. Підсистеми складаються з різного набору елементів. Проте не будь-яка сукупність елементів визначається як підсистема, а тільки та, яка виконує деяку функцію, що підтримує базову функцію системи більш високого рівня.

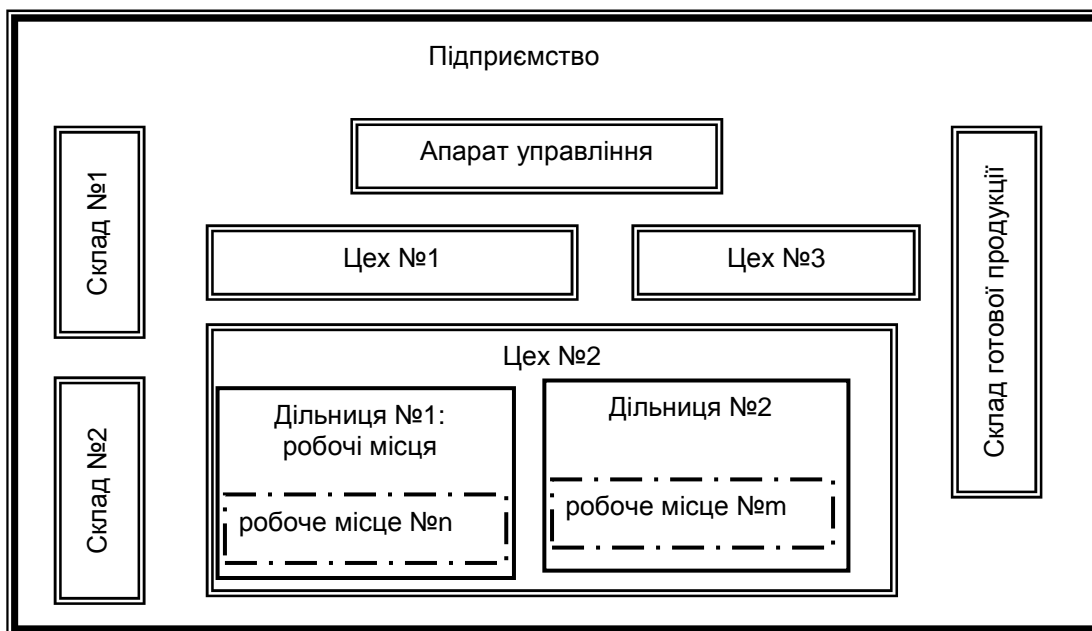


Рис. 6.3 – Варіант моделі склад системи підприємство

6.3. Модель типу "структура системи"

Незважаючи на корисність розглянутих вище моделей систем, існують проблеми, вирішити які за допомогою таких моделей не можна. Наприклад, щоб одержати велосипед, недостатньо мати окремі його деталі (хоча склад системи в наявності). Необхідно ще правильно з'єднати всі деталі між собою, або установити між елементами визначені зв'язки - відносини.

Сукупність необхідних і достатніх для досягнення мети відносин між елементами називається **структурою системи**.

Коли ми розглядаємо якусь сукупність об'єктів як систему, то з усіх відносин ми обираємо важливі, тобто істотні для досягнення мети. Точніше, у модель структури (у список відносин) ми включаємо тільки кінцеве число зв'язків, вплив яких або можна оцінити, або наявність яких забезпечує необхідний рівень адекватності моделі.

Природно, що розглядати модель "структура системи" безвідносно до сукупності елементів системи (моделі "склад системи") неправомірно. Тому ця модель будується разом з моделлю "склад системи".

Самостійну роль може грати етап вивчення різних структур, їхніх переваг і недоліків у контексті з елементним складом системи. У цьому випадку не акцентується увага на сутностях елементів, між якими установлюються відносини. Якщо як елементи розглядаються функції системи, то ми матимемо справу з **функціональною структурою**; якщо елементи - джерела інформації, то матимемо **інформаційну структуру**; якщо елементи - це посадові особи організації, тоді говорять про **управлінську структуру** та ін.

Усі структурні схеми мають дещо загальне і це спонукало математиків розглядати їх як об'єкт математичних досліджень. Для цього довелося абстрагуватися від змістової сторони структурних схем. У результаті вийшла схема, в якій позначається тільки наявність елементів і зв'язків між ними. Така схема називається **графом**.

Граф складається з позначень елементів довільної природи, що зветься **вершинами**, і позначень зв'язків між ними, що зветься **ребрами** (або **дугами**). На рис. 6.4 показано приклад зображення графа. Вершини позначені у виді кружків, ребра у виді ліній.

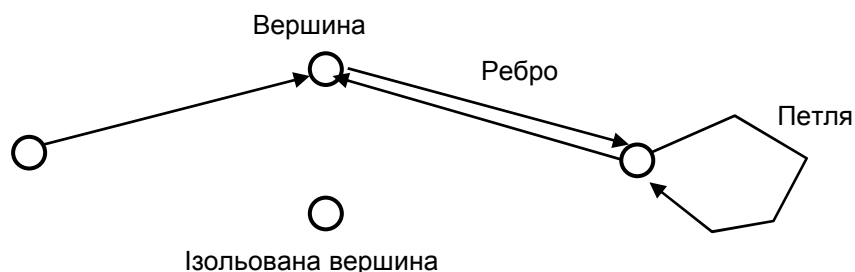


Рис. 6.4 – Приклад графа

Якщо напрямки зв'язків не позначаються, то граф називається неорієнтованим, при наявності стрілок на ребрах - орієнтованим. Будь-яка пара вершин

може бути з'єднана будь-якою кількістю ребер. Вершина може бути з'єднана сама з собою (тоді ребро називається *петлею*). Якщо в графі потрібно відобразити інші розходження між елементами або зв'язками, то або ребрам приписують різні ваги (зважені графи), або розфарбовують вершини або ребра (розфарбовані графи).

Для графів розроблена змістова теорія, що має численні застосування. Різноманітні задачі цієї теорії пов'язані з різними перетвореннями графів, а також з можливістю розгляду різних відносин на графах: ваг, рангів, кольорів, імовірнісних характеристик (стохастичні графи) і т.д. Оскільки множини вершин і ребер формально можна поміняти місцями, то існують два різних подання системи у виді вершинного або реберного графа.

Графи можуть зображувати будь-які структури, якщо не накладати обмежень на перетин ребер. Деякі типи структур мають особливості, важливі для практики, вони виділені з інших і одержали спеціальні назви. Так, в організаційних системах часто зустрічаються (див. рис. 6.5) лінійні, деревоподібні (ієрархічні) і матричні структури; в технічних системах частіше зустрічаються мережні структури. Особливе місце в теорії систем займають структури із зворотними зв'язками, що відповідають кільцевим шляхам в орієнтованих графах.

Модель типу "структура системи" є найдосконалішою і повною моделлю будь-якої системи на даному етапі нашого пізнання. При цьому завжди залишається актуальним питання про адекватність цієї моделі. Відповідь на це питання дає практика використання моделі.

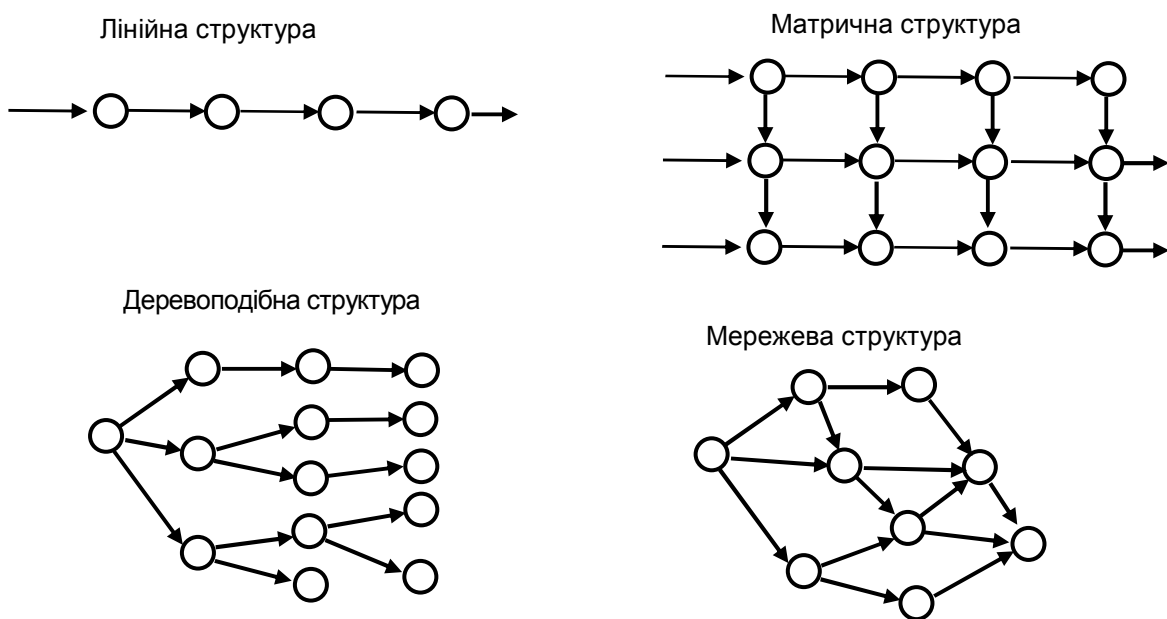


Рис. 6.5 – Приклади структур систем

Структурні властивості систем визначаються характером і стійкістю відносин між елементами. За характером відносин між елементами структури поділяються на багатозв'язні, ієрархічні, змішані.

Найбільш стійкі детерміновані структури, в яких відносини або постійні, або змінюються в часі за детермінованими законами. Ймовірнісні структури змінюються в часі за ймовірнісними законами. Хаотичні структури характерні

відсутністю обмежень, елементи в них вступають у зв'язок відповідно до індивідуальних властивостей. Класифікація проводиться за домінуючою ознакою.

Структура відіграє основну роль у формуванні нових властивостей системи, відмінних від властивостей її компонентів, у підтримці цілісності і стійкості її властивостей стосовно зміни елементів системи в певних межах.

Важливими структурними компонентами є відносини координації і субординації. Координація виражає упорядкованість елементів системи "за горизонталлю". Тут мова йде про взаємодію компонентів одного рівня організації.

Зауваження. Як було зазначено у п. 5.3, складність систем і неможливість їх достатнього опису однією моделлю потребує побудови декількох моделей. Моделі високого рівня абстрагування в теорії систем називають **формальними моделями**. Ці моделі використовують як шаблони, за допомогою яких будують змістові моделі.

Змістова модель - це формальна модель, наповнена змістовою сутністю з заданої предметної області, тобто термінологічно "прив'язана" до об'єкта моделювання. Розглянуті моделі типу "чорний ящик", "склад системи" і "структура системи" належать до розряду формальних моделей, а модель на рис. 6.3 у випадку відображення складу конкретного підприємства з найменуваннями його підрозділів, буде віднесена до категорії змістових моделей.

6.4. Морфологічна модель системи

Сукупність розглянутих моделей "чорний ящик", "склад системи" і "структура системи" складає **морфологічну модель** системи, яка дає уявлення про побудову системи (морфологія - наука про форму, побудову). Глибина опису, рівень деталізації, тобто визначення компонентів системи що розглядатимуться як елементарні (неподільні), зумовлюється метою дослідження системи. Морфологічний опис ієрархічний. Конфігурація морфологічної моделі задається на стількох рівнях, скільки їх потрібно для вивчення (моделювання) основних властивостей системи.

Цілями дослідження морфологічної моделі можуть бути:

- розробка правил символічного відображення систем;
- оцінка якості структури системи;
- вивчення структурних властивостей системи в цілому та її підсистем;
- обґрунтування висновків про оптимальність структури системи і рекомендацій з подальшого її удосконалення.

При розробці і дослідженні морфологічної моделі можна виділити два етапи: визначення складу системи (кількості підсистем і елементів) і з'ясування зв'язків між ними. Основна проблема побудови морфологічних моделей полягає у знаходженні компромісу між простотою моделі і ступенем її деталізації

Вивчення морфології системи починається з елементного складу. Він може бути:

- гомогенним (однотипні елементи);
- гетерогенним (різномісними елементами);
- змішаним.

Гомогенність, як правило, супроводжується надмірністю і наявністю схованих (потенційних) можливостей, додаткових резервів.

Гетерогенні елементи спеціалізовані, вони економічні і можуть бути ефективними у вузькому діапазоні зовнішніх умов, але швидко втрачають ефективність поза цим діапазоном.

Бувають системи елементний склад яких визначити не вдається.

Важливою ознакою морфології є призначення елементів. Розрізняють елементи *інформаційні, енергетичні і речовинні*. Такий розподіл елементів системи в певному сенсі умовний і відбиває лише переважні властивості елемента. У загальному випадку передача інформації не можлива без енергії, перенос енергії не можливий без інформації.

Інформаційні елементи призначені для прийому, зберігання, перетворення і передачі інформації. Перетворення може полягати в зміні виду енергії, яка несе інформацію, у зміні способу кодування (подання в певній знаковій формі) інформації, у стиску інформації шляхом скорочення надмірності та ін.

Перетворення енергії полягає в зміні параметрів енергетичного потоку. Потік вхідної енергії може надходити ззовні, або від інших елементів системи. Вихідний енергетичний потік спрямований в інші системи, або в навколишнє середовище. Процес перетворення енергії, природним образом, має потребу в інформації.

Процес перетворення речовини може бути механічним (наприклад, штампування), хімічним, фізичним (наприклад, різання), біологічним. У складних системах перетворення речовини носить змішаний характер.

У загальному випадку, треба мати на увазі, що будь-які процеси, так чи інакше, призводять до перетворення речовини, енергії та інформації.

Морфологічні властивості системи істотно залежать від характеру зв'язків між елементами.

Поняття зв'язку входить у будь-яке визначення системи. Воно одночасно характеризує і побудову (статичку) і функціонування (динаміку) системи. Зв'язки забезпечують виникнення і збереження структури і властивостей системи. Виділяють інформаційні, речовинні та енергетичні зв'язки, визначаючи їх у тому самому сенсі, в якому були визначені елементи.

Характер зв'язку визначається питомою вагою відповідного компонента (або цільовою функцією).

Зв'язок характеризується напрямом, силою, характером. За першими двома ознаками *зв'язки поділяють на спрямовані і неспрямовані, сильні і слабкі*, за характером розрізняють *зв'язки підпорядкування, породження* (генетичні), *рівноправні і зв'язки керування*, за спрямованістю процесів - *прямі, зворотні, нейтральні*.

Прямі зв'язки призначені для передачі речовини, енергії, інформації або їхніх комбінацій від одного елемента іншому відповідно до послідовності виконуваних функцій.

Якість зв'язку визначається його пропускну здатністю і надійністю.

Дуже важливу роль грають зворотні зв'язки. Вони є основою саморегулювання і розвитку систем, їх пристосування до зміни умов існування. Вони в ос-

новному служать для керування процесами. Найбільш поширені інформаційні зворотні зв'язки.

Нейтральні зв'язки не належать до функціональної діяльності системи, вони є непередбаченими і випадковими. Проте нейтральні зв'язки можуть зіграти певну роль під час адаптації системи, служити вихідним ресурсом для формування прямих і зворотних зв'язків, бути резервом.

У самому загальному виді морфологічну модель системи можна подати виразом:

$$SM = \{S, V, d, K\}, \quad (6.1)$$

де $S = \{S_i\}_i$ - множина елементів та їхніх властивостей (під елементом у даному випадку розуміють підсистему, усередину якої морфологічний опис не проникає); $V = \{V_j\}_j$ - множина зв'язків; d - структура; K - композиція.

Усі множини вважаються кінцевими. Причому у множині елементів S розрізняють:

- склад: гомогенний, гетерогенний, змішаний (велика кількість гомогенних елементів при деякій кількості гетерогенних), невизначений;
- властивості елементів: інформаційні, енергетичні, інформаційно-енергетичні, матеріально-енергетичні, невизначені (нейтральні).

У множині зв'язків V розрізняють:

- призначення зв'язків: інформаційні, матеріальні, енергетичні;
- характер зв'язків: прямі, зворотні, нейтральні.

У множині структур d розрізняють:

- стійкість структури: детерміновану, ймовірнісну, хаотичну.
- побудову структури: ієрархічну, багатозв'язну, змішану, таку що перетворюється.

У множині K розрізняють композиції: слабкі, з ефекторними підсистемами, з рецепторними підсистемами, з рефлексивними підсистемами, повні, невизначені.

6.5. Функціональна модель системи

Всякий об'єкт характеризується результатами свого існування, місцем, яке він займає серед інших об'єктів, роллю, яку він відіграє в середовищі. Функціональний опис необхідний для того, щоб усвідомити важливість системи, визначити її місце, оцінити відносини з іншими системами.

Функціональна модель системи дозволяє дослідити орієнтацію зовнішніх зв'язків системи, її контакти з оточуючим середовищем, напрямки її можливої зміни. Функціональний опис виходить з того, що всяка система виконує деякі функції: просто пасивно існує, служить областю мешкання інших систем, обслуговує системи більш високого порядку, служить засобом для створення досконаліших систем.

Як нам уже відомо, система може бути однофункціональною і багатфункціональною.

Багато в чому оцінка функцій системи залежить від точки зору того, хто її оцінює.

Функціонування системи може описуватися числовим функціоналом, що залежить від функцій, які описують внутрішні процеси системи, або якісним функціоналом (упорядкування в термінах "краще", "гірше", "більше", "менше" та ін.).

Функціонал, який кількісно або якісно описує діяльність системи, називають **функціоналом ефективності**.

Функціональна організація може бути описана:

- алгоритмічно;
- аналітично;
- графічно;
- як таблиця;
- за допомогою часових діаграм функціонування;
- вербально (словесно).

Функціональна модель має відповідати концепції розвитку систем певного класу і задовольняти деяким вимогам:

- бути відкритою і допускати можливість розширення (звуження) спектра функцій, реалізованих системою;
- передбачати можливість переходу від одного рівня розгляду до іншого, тобто забезпечувати дослідження систем будь-якого рівня.

При описі системи розглядатимемо її як структуру, у яку у певні моменти часу щось вводиться (матеріал, енергія, інформація), і з якої у певні моменти часу щось виводиться.

У самому загальному виді функціональний опис системи в будь-якій динамічній системі зображується сімкою:

$$S_f = \{T, x, C, Q, y, \varphi, \eta\}, \quad (6.2)$$

де T – множина моментів часу; x – множина миттєвих значень вхідних впливів, $C = \{c: T \rightarrow x\}$ – множина припустимих вхідних впливів, Q – множина станів; y – множина значень вихідних величин; $Y = \{u: T \rightarrow y\}$ – множина вихідних величин; $\varphi = \{T \times T \times T \times x \rightarrow Q\}$ – перехідна функція стану; $\eta: T \times Q \rightarrow y$ – вихідне відображення; c – відрізок вхідного впливу; u – відрізок вихідної величини.

Такий опис системи охоплює широкий діапазон властивостей.

Недоліком даного опису є неконструктивність та труднощі інтерпретації і практичного застосування. Функціональний опис має відбивати такі характеристики складних і мало пізнаних систем як *параметри, процеси, ієрархію*.

Приймемо, що система S виконує N функцій $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_s, \dots, \psi_N$, що залежать від процесів $F_1, F_2, \dots, F_i, \dots, F_n$. Ефективність виконання i -ї функції

$$E_s = E_s(\psi_s) = E(F_1, F_2, \dots, F_i, \dots, F_n) = E_s(\{F_i\}), i=1 \dots n, s=1 \dots N.$$

Загальна ефективність системи – вектор-функція $E = \{F_s\}$. Ефективність системи залежить від величезної кількості внутрішніх і зовнішніх факторів. Представити цю залежність в явній формі надзвичайно складно, а практична цінність такого представлення незначна через багатомірність і багатозв'язність. Раціональний шлях формування функціонального опису в застосуванні такої багаторівневої ієрархії описів, при якій опис більш високого рівня залежатиме

від узагальнених і факторизованих змінних нижчого рівня.

6.6. Інформаційна модель системи

Методологія системного підходу вимагає при дослідженні систем разом з розглядом матеріальної і енергетичної сторін системи проводити дослідження її інформаційних аспектів: цілей, інформаційних потоків, процесів керування, організації системи та ін. Створення нових і удосконалення існуючих об'єктів (систем) залежить від вирішення питань, що дозволяють аналізувати наявну інформацію, відсівати її надлишкову частину, виділяти основну, робити оцінку і забезпечувати формування альтернатив для прийняття рішень.

Кожна складна система, в тому числі і економічна, в процесі свого існування споживає і виробляє великий обсяг інформації. Більш того, в умовах технічної і технологічної революцій обсяг інформації, необхідний для нормального функціонування економічних систем, і вимоги до швидкості сприйняття інформації неухильно зростають.

Інформаційний опис повинен давати уявлення про організацію і керування системою.

Термін інформація має кілька значень:

- 1) сукупність деяких відомостей, знань про будь-що;
- 2) відомості, що є об'єктом збереження, передачі і переробки;
- 3) сукупність кількісних даних, які виражаються за допомогою цифр або кривих, графіків і використовуються при зборі й обробці будь-яких відомостей;
- 4) відомості, сигнали про навколишній світ, що сприймають організми в процесі життєдіяльності;
- 5) у біології - сукупність хімічно закодованих сигналів, що передаються від одного живого організму іншому (від батьків - нащадкам) або від одних кліток, тканин, органів іншим у процесі розвитку особи;
- 6) у математиці, кібернетиці - кількісна міра усунення ентропії (невизначеності), міра організації системи;
- 7) у філософії - властивість матеріальних об'єктів і процесів зберігати і породжувати певний стан, який у різних матеріально-енергетичних формах може бути переданий від одного об'єкта іншому; ступінь, міра організованості будь-якого об'єкта (системи).

Визначення 1-4 трактують інформацію як відомості, дані, повідомлення, сигнали, що підлягають передачі, прийомові, обробці, збереженню й відображенню реальної дійсності або інтелектуальної діяльності. У цьому змісті **інформація** - відображення в деякий простір символів. Надалі будемо називати її **інформацією відображення**.

Фізично інформація визначає передбачуваність властивостей і поведінки об'єкта в часі. Чим вище рівень організації (більше інформації), тим менше об'єкт підданий дії середовища.

Організованість, упорядкованість системи - здатність визначати свою перспективу, своє майбутнє. Зрозуміло, перспектива системи залежить і від середовища. Але і здатність системи виконувати роботу залежить від середовища.

Чим більше безладдя системи, тим більше її перспектива залежить від випадкових факторів (внутрішніх і зовнішніх). Підвищення упорядкованості означає збільшення залежності між факторами, що визначають поведінку (стан) системи. Щодо зовнішніх випадкових факторів це означає наявність у системі можливостей встановлення відповідності між властивостями середовища і функціями системи. Встановлення відповідності вимагає відображення середовища в системі.

Таким чином, міру організованості можна розуміти як потенційну міру передбачуваності майбутнього системи, кількісну характеристику можливості передбачення стану (поведінки) системи. *Інформація про організацію системи* - це кількісна характеристика можливості передбачення її стану (поведінки) на відповідному рівні деталізації системи. *Інформація про середовище* - кількісна характеристика можливості передбачення впливу середовища. Інформація про організацію системи складає частину її внутрішньої інформації.

При *інформаційному підході* досліджувану систему в найбільш абстрактному виді можна подати ієрархічною структурою, на нижньому рівні якої знаходяться ділянки технологічного процесу, а на більш високих - вузли керування, пов'язані з об'єктами керування та один з одним каналами зв'язку.

Перший інформаційний рівень - це рівень безпосереднього керування технологічними операціями, що здійснюють робітники й автомати (роботи). На наступних рівнях утворюються виробничо-технологічні підрозділи (ділянки, цехи) підприємства. Залежно від поставлених задач дослідник сам визначає кількість рівнів у системі, сутність кожного елемента структури системи та їхню кількість.

Інформація, що циркулює в системі може мати три форми:

- ***інформуюча*** - рухається переважно від об'єктів керування до відповідних вузлів керування (як правило, інформуюча інформація передається каналами зворотного зв'язку);
- ***керуюча*** - рухається в зворотному напрямі і містить вказівки, директиви та ін.;
- ***перетворююча*** - визначає закономірності поведінки вузла керування й алгоритми функціонування його окремих елементів.

Вузли керування перетворюють інформуючу інформацію на керуючу за допомогою перетворюючої інформації, що закладена в структурі й алгоритмах вузла керування.

У міру руху нагору за ієрархією інформація поступово узагальнюється, перетворюється в різних вузлах керування і надходить у головний вузол керування, що знаходиться на вершині ієрархії.

Цей вузол, використовуючи отриману інформуючу інформацію, генерує керуючу інформацію, яка рухаючись вниз деталізується в нижче розташованих вузлах. Чим менше потрібно інформації від вищестоящих вузлів для формування інформації керування в деякому і-ому вузлі, тим більш автономним є цей вузол.

Для досягнення мети і підмети керування (реалізації дерева цілей) досить

важливо, щоб у відповідні вузли керування стікалася тільки цінна інформація і щоб її було достатньо. Тому в процесі керування складними системами на перший план виступають смислові і ціннісні характеристики інформації.

Інформуюча і керуюча інформація може генеруватися і споживатися як усередині системи керування, так і поза нею, утворювати інформаційні потоки, що зв'язують систему керування з зовнішнім середовищем.

Фактично інформаційні потоки системи є відображенням функціональної і структурної організації досліджуваного об'єкта в ракурсі механізму прийняття рішень усередині системи.

У ході інформаційного аналізу в системі виділяють рівні ієрархії керування, окремі вузли керування (інформаційні елементи) і потоки інформації, що їх з'єднують. Уся система подається у виді спрямованого графа, вершинами якого служать вузли керування, а ребрами - інформаційні потоки. Напрямки ребер відповідають напрямкам інформаційних потоків. Оскільки потоки керуючої та інформуючої інформації мають, як правило, протилежну спрямованість, то в загальному випадку будується два графа.

Рух інформації в економічній системі носить досить складний характер і цілком відбиває ієрархічну структуру економічного об'єкта. Результатом інформаційного опису системи є:

- 1) визначення складу інформаційних елементів;
- 2) визначення складу і структури інформаційних потоків між ними;
- 3) кількість і цінність інформації, що надходить (виходить) у (з) інформаційні елементи;
- 4) алгоритми перетворення інформації у відповідних інформаційних елементах.

Якість побудови інформаційної моделі можна істотно підвищити, якщо мати досить чітке уявлення про основні функції інформаційного забезпечення розглянутої системи. До таких функцій належать наступні:

- пошук інформації;
- збір інформації;
- збереження інформації;
- переробка інформації;
- перетворення інформації;
- поширення інформації;
- використання інформації.

Реалізацію кожної з перерахованих функцій можна забезпечити тільки за умови використання принципів системного підходу до створення інформаційної моделі.

Сукупність функціонального, морфологічного та інформаційного описів дозволяє відбити головні властивості систем.

6.6.1. Методика побудови інформаційної моделі системи включає опис [1.8]:

- зовнішнього оточення системи (у термінах рамок проекту і границь системи);
- зовнішніх об'єктів, що обмінюються даними із системою;
- потоків вхідної і вихідної інформації;
- потоків даних у межах границі системи;
- сховищ даних;
- задач обробки інформації, які утворюють потоки даних і забезпечують їхнє збереження.

Кінцевим продуктом реалізації методики є наступні документи.

1. Каталог даних.

2. Модель інформаційних потоків.

2.1. Схема зовнішнього оточення.

2.2. Схема інформаційних потоків.

2.3. Опис функцій.

2.4. Опис зовнішніх об'єктів.

2.5. Опис інтерфейсів функцій.

3. Довідник інформаційних об'єктів і сховищ даних.

Цілями реалізації методики моделювання інформаційних потоків є:

- визначення загальних вимог до системи;
- виявлення подій, що відбуваються в системі, і функцій підсистем і елементів;
- перевірка коректності логічної моделі даних.

При побудові моделі інформаційних потоків рекомендується дотримувати наступної послідовності етапів роботи:

- погодити з користувачем предмет обговорення і орієнтовні границі системи, керуючись при цьому документом, що ініціює розробку;
- з'ясувати основні вхідні і вихідні інформаційні потоки системи;
- з'ясувати джерела і споживачів кожного інформаційного потоку і позначити їх на схемі інформаційних потоків як зовнішні об'єкти;
- для кожного потоку даних у границях системи виявити задачу, для якої він несе вхідну або вихідну інформацію; встановити, які сховища даних для вхідної, вихідної і проміжної інформації при цьому мають використовуватися;
- з'єднати лініями інформаційних потоків зовнішні об'єкти, задачі і сховища даних;
- з'ясувати задачі, локалізовані в границях системи (це можуть бути задачі перетворення даних, фіксації результатів діяльності користувачів усередині системи або архівування), а так само пов'язані з ними інформаційні потоки і додаткові сховища даних;
- з'єднати задачі відсутніми інформаційними потоками;
- перевірити схему на несуперечність і повноту, а потім провести неформальне обговорення з користувачами.

При перевірці моделі на повноту і несуперечність звертають увагу на наступне:

- назва кожної задачі в ідеальному випадку має містити активне дієслово і єдиний підмет (наприклад, "Перевірити вимогу", "Оцінити результат"), якщо не вдається дати чітку назву задачі, то, швидше за все, її зміст до кінця не виявлений або її треба чіткіше відокремити від інших задач;
- для кожної задачі повинен ясно простежуватися зв'язок між вхідними і вихідними потоками даних;
- чим менше на схемі потоків даних, що з'єднують пари задач, тим краще їх поділ;
- задачі не повинні виконувати роль сховищ або одержувачів даних; задача перетворює вхідний інформаційний потік у вихідний;
- кожне сховище даних повинно мати вхідні і вихідні інформаційні потоки; іншими словами, дані мають створюватися і використовуватися.

6.7. Динамічна модель системи

Недоліком розглянутих вище моделей систем є їхній статичний характер, тобто параметри моделі вважаються незмінними в часі. *Моделі, які описують систему з урахуванням зміни характеристик системи в часі називаються динамічними.*

Динамічні моделі дозволяють досліджувати в часі процеси функціонування, зростання і розвитку системи.

Функціонування системи – це процеси, які забезпечують реалізацію основної функції (цілі) системи. Наприклад, міський транспорт функціонує для забезпечення виконання функції (задачі) перевезення громадян.

Зростання системи - таке її функціонування, при якому деякі функціональні характеристики системи зазнають кількісних змін. Наприклад, у місті побудовано новий житловий масив, і для вирішення транспортної проблеми збудовані нові транспортні маршрути (виросла потреба населення в транспортних послугах визначеного типу і для її задоволення збільшили існуючий транспортний парк і довжину маршрутів). Інакше кажучи, із зростанням, як правило, пов'язують збільшення витрат ресурсів з метою збільшення результативності системи.

Розвиток системи - таке її функціонування, при якому відбуваються якісні зміни в системі. Наприклад, в системі міського транспорту вводяться технологічно нові види пасажироперевезень (метрополітен, високошвидкісний транспорт на магнітній подушці, повітряний транспорт для екскурсійного обслуговування, тощо). Розвиток системи пов'язаний зі зміною цілей системи. Досягнення нових цілей потребує від системи нових функцій, що вимагає у свою чергу від підсистем, агрегатів і елементів системи нових властивостей. Нові властивості система матиме, якщо відбудеться її перебудова: з'являться нові підсистеми, зникнуть деякі старі, утворяться нові зв'язки (зміниться структура) та ін.

Треба відмітити, що зростання і розвиток системи необов'язково супроводжують один одного. Розвиток може здійснюватися без зростання або навіть при зменшенні ресурсних витрат і кінцевої продукції. Наприклад, випуск якіснішого холодильника, у якого різко збільшена продуктивність (обсяг) і надійність і застосована нова технологія виробництва (з нового матеріалу), може призвести до зниження необхідних ресурсів і зменшення кількості холодильників, що випускаються.

Будь-яка складна система зазвичай рідко знаходиться в якійсь одній динамічній фазі. Найчастіше мають місце всі три фази динаміки системи, тобто система функціонує, зростає і розвивається одночасно. Тому побудова динамічних моделей системи є завжди складною задачею.

У самому загальному виді динамічну модель системи можна описати наступним чином [1.8]. Вводять поняття "стан системи" як деяку "внутрішню" характеристику системи. Стан системи зазвичай характеризується набором величин $z_1(t), z_2(t), \dots, z_k(t)$, що утворюють вектор $\vec{Z}(t)$, який є функцією часу. Вектор входу системи $\vec{X}(t) = (x_1(t), x_2(t) \dots x_n(t))$ і вектор виходу системи $\vec{Y}(t) = (y_1(t), y_2(t) \dots, y_m(t))$ так само є функціями часу.

У найпростішому випадку вектори входу $\vec{X}(t)$, виходу $\vec{Y}(t)$ і стану $\vec{Z}(t)$ зв'язані один з одним співвідношенням

$$\vec{Y}(t) = f(\vec{X}(t), \vec{Z}(t)). \quad (6.3)$$

Отже, **динамічна модель системи** - це сукупність співвідношень, яка визначає вихід системи залежно від входу і стану системи (рис. 6.6).

Сучасні інформаційні технології дозволяють за допомогою спеціальних програмних CASE-засобів (Computer Aided Software Engineering) розробляти динамічні моделі для великих складних систем.

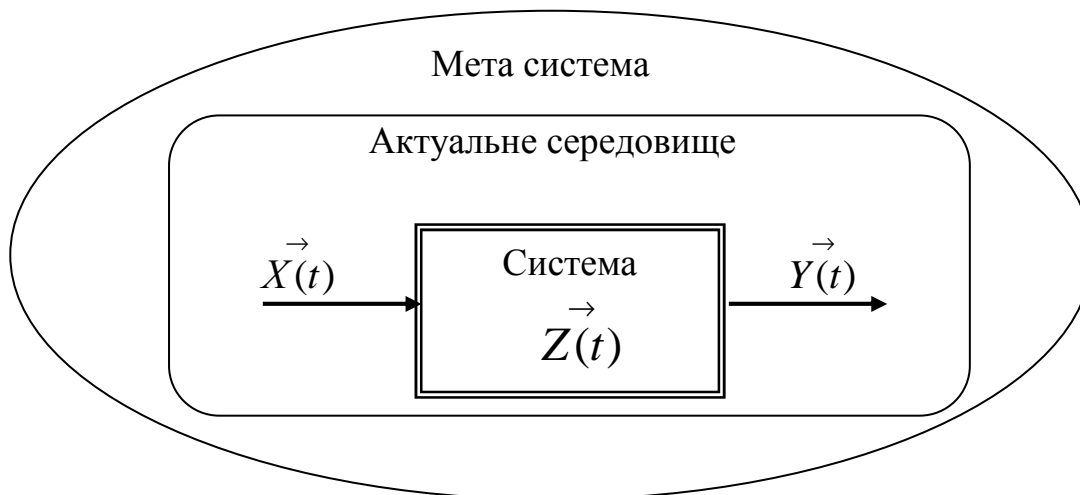


Рис. 6.6 – Динамічна модель системи

Запитання для самоконтролю

1. Які складові входять до моделі типу "чорний ящик"?
2. Поясніть складові моделі зовнішнього середовища.

3. Що розуміється під моделлю типу "склад системи"?
4. Що розуміється під моделлю типу "структура системи"?
5. Наведіть приклади структур систем. Дайте їм пояснення.
6. Що розуміється під поняттям "морфологічна модель системи"?
7. Які компоненти входять до морфологічної моделі загального виду?
8. Які особливості функціональної моделі системи?
9. Що розуміється під інформаційною моделлю системи?
10. В яких формах виявляється інформація в системі? Поясніть ці форми.
11. Опишіть методику побудови інформаційної моделі системи.
12. Які особливості динамічної моделі системи?

Тема 7. ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ СПОСТЕРЕЖЕНЬ І ДОСЛІДЖЕНЬ

7.1. Обробка результатів дослідження

Аналіз випадкових похибок ґрунтується на теорії випадкових помилок, що дає можливість з визначеною гарантією обчислити дійсне значення вимірюваної величини й оцінити можливі помилки.

Основу теорії випадкових помилок складають припущення про те, що при великому числі вимірів випадкові похибки однакової величини, але різного знака зустрічаються однаково часто; великі похибки зустрічаються рідше, ніж малі (імовірність появи похибки зменшується з ростом її величини); при нескінченно великому числі вимірів дійсне значення вимірюваної величини дорівнює середньоарифметичному значенню всіх результатів вимірів, а поява того або іншого результату виміру як випадкової події описується нормальним законом розподілу.

Для проведення дослідів із заданою точністю і вірогідністю необхідно знати ту кількість вимірів, при якій експериментатор упевнений в позитивному результаті. У процесі обробки експериментальних даних варто виключати грубі помилки ряду. Поява цих помилок цілком ймовірна, а наявність їх відчутно впливає на результат вимірів. Однак тепер тим, як виключити той або інший вимір, необхідно переконатися, що це дійсно груба помилка, а не відхилення внаслідок статистичного розкиду. Відомо кілька методів визначення грубих помилок статистичного ряду, Найбільш простим способом виключення з ряду виміру, що сильно виділяється, є правило трьох сигм: розкид випадкових величин від середнього значення \bar{x} лежить в інтервалі $[\bar{x} - 3\sigma; \bar{x} + 3\sigma]$, де σ - стандартне відхилення

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} .$$

При обробці результатів вимірів і спостережень широко використовуються методи графічного зображення, тому що результати вимірів, представлені в табличній формі, іноді не дозволяють досить наглядно характеризувати закономірності досліджуваних процесів. Графічне зображення дає найбільше наоч-

не представлення про результати експерименту, дозволяє краще зрозуміти фізичну сутність досліджуваного процесу, виявити загальний характер функціональної залежності досліджуваних змінних величин, установити наявність максимуму або мінімуму функції.

Для графічного зображення результатів вимірів (спостережень), як правило, застосовують систему прямокутних координат. Перш ніж будувати графік, необхідно знати хід (плин) досліджуваного явища. Як правило, якісні закономірності і форма графіка експериментаторові орієнтовно відомі з теоретичних досліджень.

Крапки на графіку. необхідно з'єднувати плавною лінією так, щоб вона по можливості проходила ближче до всіх експериментальних крапок. Якщо з'єднати крапки прямими відрізками, то одержимо ламану криву. Вона характеризує зміну функції за даними експерименту. Звичайно функції мають плавний характер. Тому при графічному зображенні результатів вимірів варто проводити між крапками плавні криві. Різке скривлення графіка пояснюється похибками вимірів. Якби експеримент повторили з застосуванням засобів вимірів більш високої точності, то одержали б менші похибки, а ламана крива більше б відповідала плавній кривій.

Однак можуть бути і виключення, тому що іноді досліджуються явища, для яких у визначених інтервалах спостерігається швидка скачкообразна зміна однієї з координат. Це пояснюється сутністю фізико-хімічних процесів, наприклад фазовими перетвореннями вологи, радіоактивним розпадом атомів у процесі дослідження радіоактивності тощо. У таких випадках необхідно особливо ретельно з'єднувати крапки кривої.

Іноді при побудові графіка одна-дві крапки різко віддаляються від кривої. У таких випадках спочатку варто проаналізувати фізичну сутність явища, і якщо немає підстави чекати стрибка функції, то таке різке відхилення можна пояснити грубою помилкою або промахом. Це може виникнути тоді, коли дані вимірів попередньо не досліджувались на наявність грубих помилок вимірів. У таких випадках необхідно повторити вимір у діапазоні різкого відхилення даних виміру. Якщо колишній вимір виявився помилковим, то на графік наносять нову крапку. Якщо повторні виміри дадуть колишнє значення, необхідно до цього інтервалу кривої віднести особливо уважно і ретельно проаналізувати фізичну сутність явища.

Масштаб по координатних осях звичайно застосовують різний. Від його вибору залежить форма графіка - він може бути плоским (вузьким) або витягнутим (широким) уздовж осі. Вузькі графіки дають велику похибку по осі y , широкі по осі x .

У деяких випадках будують номограми, які істотно полегшують застосування для систематичних розрахунків складних теоретичних або еміричних формул у визначених межах виміру величин. Номограми можуть відбивати алгебраїчні вирази і тоді складні математичні вирази можна вирішувати порівняно просто графічними методами. Побудова номограм - трудомістка операція. Проте, будучи раз побудованою, номограма може бути використана для знаходження кожної з змінних, що входять у номограмоване рівняння. Застосування ЕОМ істотно знижує трудомісткість номограмування.

7.2. Елементи теорії планування експерименту

Математична теорія експерименту визначає умови оптимального проведення дослідження, у тому числі і при неповному знанні фізичної сутності явища. Для цього використовуються математичні методи при підготовці і проведенні дослідів, що дозволяє досліджувати й оптимізувати складні системи і процеси, забезпечувати високу ефективність експерименту і точність визначення досліджуваних факторів. Забезпечується також ефективне керування експериментом при неповному знанні механізму явищ.

Експерименти звичайно ставляться невеликими серіями за заздалегідь погодженим алгоритмом.

Після кожної невеликої серії дослідів виконується обробка результатів спостережень і приймається строго обґрунтоване рішення про те, що робити далі.

При використанні методів математичного планування експерименту можливо: вирішувати різні питання, пов'язані з вивченням складних процесів і явищ; проводити експеримент із метою адаптації технологічного процесу до оптимальних умов, що змінюються, його протікання і забезпечувати в такий спосіб високу ефективність його реалізації тощо.

Теорія математичного експерименту містить ряд концепцій, які забезпечують успішну реалізацію задач дослідження. До них відносяться концепції рандомізації, послідовного експерименту, математичного моделювання, оптимального використання факторного простору і ряд інших.

Принцип рандомізації полягає в тому, що в план експерименту вводять елемент випадковості. Для цього план експерименту складається таким чином, щоб ті систематичні фактори, що важко піддаються контролю, враховувалися статистично і потім виключалися в дослідженнях як систематичні помилки.

При послідовному проведенні експеримент виконується не одночасно, а поетапно, для того щоб результати кожного етапу аналізувати і приймати рішення про доцільність проведення подальших досліджень. У результаті експерименту одержують рівняння регресії, яке часто називають моделлю процесу. Для конкретних випадків математична модель створюється виходячи з цільової спрямованості процесу і задач дослідження, з урахуванням необхідної точності рішення і вірогідності вихідних даних, що звичайно проводиться за критерієм Фішера. Оскільки ступінь полінома, що адекватно описує процес, передбачити неможливо, то спочатку намагаються описати явище лінійною моделлю, а потім, якщо вона неадекватна, підвищують ступінь полінома, тобто проводять експеримент поетапно.

Запитання для самоконтролю

1. Поясніть правило трьох сігм?
2. Яким чином використовують графічні методи для аналізу результатів?
3. Поясніть особливості застосування методів математичного планування експерименту?

Тема 8. ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

8.1. Постановка питання планування експерименту

Коли перед дослідником стоїть задача проведення експерименту, то виникає цілий ряд питань, на які не завжди можна знайти правильну і однозначну відповідь.

Насамперед варто почати з питання про те, чи є математична модель явища або процесу, яка досить добре описує його в визначених границях зміни головних факторів? При наявності такої моделі задача зводиться до визначення дослідних коефіцієнтів при декількох заданих значеннях змінних, тобто найчастіше до стандартних статистичних процедур. У цьому випадку від дослідника потрібне знайомство з простими планами, а також алгоритмами і програмами обробки результатів спостережень і експериментів.

Однак часто на етапі планування експерименту такі моделі ще невідомі, а в їхній якості приймається апроксимуюча функція - багаточлен

$$y = f(x_i, a_k) \approx a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_{11}x_1^2 + a_{12}x_1x_2 + \dots + a_{22}x_2^2 + \dots + a_{111}x_1^3 + a_{112}x_1^2x_2 = \dots \quad (8.1)$$

Кінцева мета роботи найчастіше зводиться до того, щоб за допомогою цього багаточлена прогнозувати максимум або мінімум функції y , або ж одержати адекватну статистичну залежність y у формі інтерполяційного полінома.

Визначаючи помилки прогнозування як різницю між результатами дослідів $y_1^{\text{дос}}$, і відповідними їм розрахунковими значеннями за апроксимуючим багаточленом $y_{\text{аі}}$, умовно їх можна розділити на три групи.

1. Помилки, що виникають через невідповідність математичної моделі описуваному процесу, наприклад, при спробі апроксимувати параболу 2-го ступеня прямою лінією.

2. Помилки, що виникають через те, що значення вимірюваної величини не постійне, коливається. Наприклад, зольність вугілля визначеного джерела може змінюватися у великих межах. Міцності тестових кубиків того самого бетону можуть відрізнятися між собою на 10, 15 і більше відсотків. Відмітимо, що цей тип "помилки" часто не підкоряється закону нормального розподілу.

3. Багаточленні і невеликі погрішності властиві будь-яким вимірюванням. Найчастіше вони підкоряються нормальному закону.

Відзначимо, що, зазвичай невідповідності третьої групи є найменш значними. Однак більшість загальновідомих статистичних критеріїв розроблені саме з врахуванням лише цієї групи "помилки".

Питання, що виникають перед вибором плану експерименту, також можна умовно розбити на три групи.

1. Питання, що відносяться до факторів, зокрема, встановлення числа незалежних змінних-факторів, виявлення значимих факторів і визначення ступеня їхнього впливу на вихідну величину, визначення розміру факторного простору.

2. Питання, що відносяться до плану, зокрема, кількість експериментів і їхній розподіл по полю експериментування (факторному просторові), кількість повторень окремих дослідів і кількість рівнів варіювання кожного фактору.

3. Питання, що відносяться до багаточлена, зокрема, його ступінь, кількість коефіцієнтів, їхня значимість, оцінка адекватності апроксимуючого поліному.

Усі ці питання входять до кола питань планування експерименту.

Як відомо, апроксимуючий поліном (8.1) є розкладанням в ряд Тейлора навколо заданої точки невідомої функції $y = F(X)$ (тут X - вектор фактор). Отже, відповідність між розмірами поля експерименту і ступенем полінома дуже тісна. Лінійна апроксимація гарна для невеликої області, квадратична - середньої, і так далі. Труднощі полягають в тому, що розміри області залежать від типу невідомої функції.

У зв'язку з цим рекомендується вибрати багаторівневий план для того, щоб можна було апробувати на тих самих результатах, без додаткових дослідів, поліноми різних ступенів. За допомогою програми "Поліном" можна одержувати послідовні апроксимації (регресійні моделі), починаючи з лінійної, потім квадратичної і так далі. Для цього необхідно міняти число шуканих коефіцієнтів n_k і відповідні елементи матриці.

Наприклад, при лінійній апроксимації

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 \quad (8.2)$$

маємо $n_k = 4$ и матрицю $M1[4,1] = 0, 1, 2, 3$.

В якості наступної апроксимації може бути використана залежність

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{11}x_1^2 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 \quad (8.3)$$

для якої $n_k = 7$, а матриця індексів має вигляд $M1[7, 2] = 0, 0; 0, 1; 0, 2; 0, 3; 1, 1; 1, 2; 1, 3$.

Але, іноді необхідно описати всю область. Для цього поле поділяється на 2, 4, 6, або більше підполів, кожне з яких апроксимується окремим поліномом, можливо, різного ступеня. За допомогою простих логічних висновків неважко скласти алгоритм використання такого опису.

Варто зазначити, що гнучкість програми "Поліном" дозволяє використовувати її не тільки для визначення розмірів дослідного поля, але і для дослідження інших питань, пов'язаних із впливом окремих факторів або значимістю коефіцієнтів багаточлена.

У цьому відношенні характерний приклад чисельного експериментування для чотирьох факторів ($n_f = 4$) при двадцятьох шести дослідах ($n_o = 26$) і варіації помилки апроксимації не більш 2% (табл. 8.1).

Первинна обробка результатів дозволила одержати апроксимацію у виді повної квадратики для чотирьох факторів плюс три кубічних ефекти a_{221} , a_{223} , a_{224} . Помилки апроксимації Sa і $V\%$ у цьому випадку припустимо малі, але апроксимуючий багаточлен громіздкий.

В силу того, що в чисельному експерименті використовується план з нормованими факторами, значення коефіцієнтів в апроксимації порівнянні.

Так у колонці 1 табл. 8.1 розміщені всі 18 коефіцієнтів, чотири з яких малі і ними зневажаємо.

Таблиця 8.1

Індекси	Спрощення				
	1	22	3	4	5
	$n_k = 18$	$n_k = 14$	$n_k = 10$	$n_k = 6$	$n_k = 4$
000	105,98	105,90	105,99	106,04	106,02
001	-0,873	-0,885	-1,104	-1,233	-1,266
011	-0,132	-0,120			
020	0,176	0,141			
021	-0,089				
022	0,018				
221	5,091	5,098	5,161	5,211	5,124
223	-0,229	-0,199			
224	-0,376	-0,352	-0,272		
030	0,867	9,871	9,575	9,628	9,625
031	-0,064				
032	0,376	0,315	-0,284		
033	-0,100				
040	0,942	0,885	0,795	0,126	
041	0,466	0,374	0,290	0,110	
042	-0,276	-0,201			
043	0,372	0,345	0,241		
044	0,386	0,319	0,132		

Далі обчислюємо новий багаточлен для $n_k = 14$ коефіцієнтів. У цьому випадку помилки апроксимації навіть зменшуються (див. колонку 2). Знову видно, що деякі коефіцієнти апроксимації малі, і подивимося, чи можна ними знехтувати, обчислюючи з цією метою новий багаточлен для $n^k = 10$ (колонка 3). Результат гарний - помилки апроксимації продовжують зменшуватися, і для розглянутого багаточлена вони найменші.

Легко помітити, що коефіцієнти апроксимації при ефектах взаємодії з четвертим фактором систематично зменшуються при кожному наступному спрощенні.

З метою більш компактного представлення результатів дослідження можна видвинути гіпотезу про те, що 4-й фактор не впливає істотно в межах даної експериментальної області, Дійсно, останнє представлення при $n_f = 3$ подається рівнянням:

$$y = 106,02 - 1,27x_1 + 5,21x_1x_2^2 + 9,62x_3$$

при $S_a = 1,52$ і $V_a = 1,45\%$, що знаходиться в припустимих межах ($V_a < V_\infty$).

Таким чином, після проведення чисельних експериментів можна відповісти на поставлені питання.

У відношенні факторів, якщо їхнє число заздалегідь невідоме, варто провести серію дослідів для визначення їхньої значимості. Для цих цілей можна скористатися програмою "Фільтр" або додержуватися методу, викладеному вище. Важливо по можливості обмежити межі варіювання факторів для того, щоб зменшити розміри поля експериментування.

Що стосується планів, то далі буде більш докладно викладене питання оцінки їхньої якості, а також буде розглядатися питання про кількість повторень окремих дослідів.

Щодо ступеня і кількості членів в апроксимуючому поліномі, адекватність останнього визначається за критерієм Фишера. Або простіше, якщо статична апроксимація фізичного закону дає результати того ж порядку, що і відповідні експерименти, можна вважати, що задача визначення статичної апроксимації успішно вирішена. Загалом, варто прагнути до простоти, тобто до зменшення ступеня полінома і числа його членів.

8.2. Оцінка якості планів

Досить часто для оцінки якості планів використовуються критерії D, E, G, A,...- оптимальності [1.7]. Як уже відзначалося, ці критерії засновані на статистичній оцінці розподілу "помилки" дослідів по полю планування.

Вище відзначалося, що помилки, що підкоряються нормальному закону, найчастіше малі в порівнянні з іншими помилками. Зокрема, відомо, що помилки невідповідності статистичної моделі (багаточлена) дійсному фізичному закону жадають від експериментатора різкого зменшення поля експериментування.

Загальну вимогу до планів можна сформулювати таким чином, що план повинний давати при його реалізації достатню кількість інформації при мінімальному числі дослідів.

Кількість інформації можна вважати достатньою, якщо отримана статистична апроксимація дає правдоподібні прогнози, у відповідності з критерієм Фишера. Разом з тим, план, повинний забезпечувати доцільне для поставленої задачі розташування дослідних крапок і їхню частоту по експериментальному полю. Якщо це можливо, число рівнів у плані повинне бути максимальним, а в ідеальному варіанті рівним числу дослідів. Останнє істотно сприяє виявленню впливу окремих факторів на вихідну величину. Поряд з цим необхідно, щоб кореляція між факторами була зневажливо малою. Таким чином, у якості одного з критеріїв оптимальності може використовуватися мінімальний коефіцієнт парної кореляції.

Кореляція між членами статистичної залежності (зокрема, багаточлена) також повинна бути малою для того, щоб інформаційна матриця не була погано обумовленою. Останнє особливо важливо, коли число обумовлених коефіцієнтів дуже велике.

Само собою зрозуміло, що одержання інформації пов'язане з витратами, а технологічні труднощі при промисловому експерименті відомі. Якщо лінійна апроксимація задовольняє поставленій задачі, на цьому потрібно скінчити обробку експерименту. При цьому необов'язково і, навіть небажано, обмежуватися планами на двох рівнях. У випадку неадекватності лінійної апроксимації варто переходити до більш складних статистичних (поліноміальних) моделей і проводити додаткові дослідів. У цьому зв'язку планування з числом рівнів більше трьох дає можливість при відносно

невеликому числі дослідів встановити характер залежності вихідної величини від кожного фактора і цим обмежити число дослідів. При подальшому послідовному включенні ефектів взаємодії більш високого порядку в поліноміальну модель можна одержати вже адекватну апроксимацію.

При виборі статистичної моделі у виді багаточлена, оцінка плану практично зводиться до оцінки оборотності інформаційної матриці нормальних рівнів за методом найменших квадратів.

Як відомо, ортогональна матриця - діагональна, кореляційна ж від ортогональної матриці - одинична. План, що приводить до одиничної матриці, за інших рівних умов, є ідеальним планом. Варто підкреслити, що саме за інших рівних умов, тобто при наявності декількох доцільних планів, кращим виявляється той, у якого кореляційна матриця ближче до одиничної. Такий план прийнято називати квазіортогональним, а чисельно ця близькість виражається індексом якості зворотної кореляційної матриці

$$I_c = \frac{\sum_i a_{ii}}{\sqrt{(n_k - 1)}} \quad (8.4)$$

Кореляційна матриця має $n_k - 1$ рядків і стільки ж стовпців.

У літературі [1.7] використовується і надалі ми будемо застосовувати аналогічний критерій - слід зворотної нормованої інформаційної матриці

$$t_r = t_r(M_n^{-1})/n_k \quad (8.5)$$

Відзначимо, що обидва критерії добре характеризують оборотність матриці при використанні методу найменших квадратів.

8.3. Нормування факторів

Для зручності планування й аналізу планів доцільно перейти від планів при реальних (розмірних) значеннях факторів z_j до їхніх нормированих (безрозмірних) значень x_j . Нормування здійснюється розподілом області варіювання факторів на $k = 2, 4, 6$ або більш ділянок так, щоб

$$\Delta z_j = (z_{j \max} - z_{j \min})/k$$

при $z_{jcc} = \frac{z_{j \max} - z_{j \min}}{2}$ і $z_j = z_{jcp} + x_j \Delta z_j$

При $k = 2$ маємо три рівня варіювання, тобто $x_j \in (-1, 0, 1)$.

При $k = 4$ - п'ять рівнів, тобто $x_j \in (-2, -1, 0, 1, 2)$, а при $k = 6$ - сім рівнів, тобто $x_j \in (-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3)$.

Крім того, можна будувати плани і на двох рівнях $(-1, +1)$. В подальшому для більш наочного представлення планів будемо розглядати фактори x_j , тільки у виді цілих чисел. Представлення планів нормованими значеннями факторів не тільки більш наочно, але і має ряд переваг. Наприклад, при обробці планів, придатних для будь-яких фізичних змінних і при пошуку коефіцієнтів багаточлена, можна значну частину обчислень здійснити заздалегідь, раз і

назавжди. Крім того, у статистичних моделях, отриманих на основі нормованих планів, легко відрізнити значимі коефіцієнти від незначущих.

Не менш важливо і те, що інформаційна матриця при нормуванні факторів точніше звертається, тобто краще коефіцієнт якості плану.

У відношенні числа повторень дослідів: деякі автори рекомендують повторювати $S = 2 + 4$ рази кожен дослід при заданих значеннях факторів, виходячи з бажання отримати дані для оцінки помилки дослідів, і подальшого зіставлення з помилкою апроксимації. Але, якщо мати на увазі, що часто відома припустима варіація помилки $V_{a_{\infty}}\%$, те достатньо провести усі дослідів і по одному розподілити їх по полю експериментування. Спеціальні дослідження показали, що немає істотних переваг між зазначеними способами.

Варто відзначити, що збільшення числа різних крапок у плані дозволяє одержувати при необхідності кубічну або апроксимацію більш високого порядку, а також визначати область екстремальних значень вихідної функції у.

8.4. Побудова детермінованих планів

Існує багато способів побудови планів експерименту - випадкових і детермінованих. Але, незалежно від способу необхідно отримати матрицю МНК із малою кореляцією між рядками. Граничним випадком є ортогональна матриця, але її можна одержати лише для простих випадків.

Для побудови майже всіх ортогональних планів використовувалася система ортогональних тригонометричних функцій. Зокрема, використовуючи співвідношення ортогональності

$$\int_0^{2\pi} \sin(n\alpha) \sin(m\alpha) d\alpha = 0 \quad (8.6)$$

і заміняючи інтеграл на інтегральну суму, одержують

$$\sum_{i=1}^N \sin(n\alpha_i) \sin(m\alpha_i) \Delta f \Rightarrow 0 \quad (8.7)$$

$\Delta f \rightarrow 0, N \rightarrow \infty.$

Якщо вважати $\Delta f \neq 0$, то можна записати

$$\sum_{i=1}^N \sin(n\alpha_i) \sin(m\alpha_i) \Delta f \cong 0$$

де N - кількість розбивок на відрізок $[0, 2\pi]$. Ліва частина приведенного виразу тим точніше наближається до нуля, чим на більше число частин поділений відрізок $[0, 2\pi]$.

Як критерії оптимальності планів використовують [1.4, 1.9] мінімальний коефіцієнт парної кореляції, показники ефективний коефіцієнт спряженості і коефіцієнт розкиду.

У приведеному нижче алгоритмі використовується перший критерій, який є статистичною характеристикою невирожденості матриці плану і може бути використаний як критерій добору значимих факторів у процедурі алгоритму побудови апроксимуючих багаточленів.

Пропонований алгоритм призначений для побудови симетричних і несиметричних багаторівневих планів із заданим числом дослідів N (N - просте

число). На початковому етапі він зводиться до обчислення елементів

$$\alpha_i = \frac{2\pi(i-1)}{N}, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, N) \quad (8.9)$$

допоміжного одномірного масиву $\{\alpha_i\}_{i=1}^N$. Далі, використовуючи заданий масив максимальних значень рівнів факторів, обчислюють елементи

$$Z_{ij} = a_j \sin(i \alpha_j) \quad (8.10)$$

допоміжної матриці $\|Z\|$, де $M = (N - 1)/2$ - кількість факторів. Кількість рівнів за кожним фактором вибирається непарною, а їхні значення розташовуються симетрично відносно до нуля. Наприклад, встановлюючи п'ять рівнів варіювання (-2, -1, 0, 1, 2) для перших трьох факторів і три рівні (-1, 0, 1) для четвертого фактора, елементи вихідного масиву будуть представлені числами 2, 2, 2, 1. Для симетричних планів значення елементів a_j однакові. Задаючи значеннями константи B на відріжку 0,1 - 0,9, одержують елементи квазіортогональних векторів

$$x_{ij} = [|z_{ij}| + B] \operatorname{sgn} Z_{ij} \quad (8.11)$$

шуканої матриці плану $\|x\|$, у якій при $B < 0,5$ більшість крапок плану концентрується біля центра.

Змінюючи в співвідношенні (6.10) значення синуса на косинус, одержують ще стільки ж квазіортогональних векторів, які разом з раніше отриманими утворюють розширену план-матрицю з N рядків (дослідів) і $2M$ стовпців (факторів) зі значеннями максимального коефіцієнта парної кореляції r_{\max} , що не перевищує 0,3. Отриману матрицю також можна розглядати як квазіортогональний план або як базисну систему векторів для вибору найкращого їхнього сполучення при забезпеченні мінімальної кореляції між коефіцієнтами передбачуваної регресійної моделі процесу.

Відповідно до описаного алгоритму для $B = 0,4$ у табл. 8.2 наведений приклад несиметричного квазіортогонального плану.

Модифікація розглянутого алгоритму при побудові плану на $n_0 = 13$ дослідів добре простежується на прикладі табл.8.3, у якій наведено 13 значень синуса для $\alpha = 2\pi(i - 1)/13$ і відповідні значення нормованого фактора при числі рівнів $n_n = 3, 5, 7$.

Таблиця 8.2

Номер дослідів	Номера факторів									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	2	2	3	1	1
2	1	2	3	1	1	2	1	-1	-1	-1
3	2	2	-1	-1	-1	1	-2	-3	0	-1
4	2	-1	-3	1	1	-1	-2	2	1	-1
5	2	-2	2	1	-1	-2	-1	3	-1	1
6	1	-1	3	-1	1	-2	2	-2	1	0
7	-1	1	-3	1	-1	-2	2	-2	1	0
8	-2	2	-2	-1	1	-2	-1	3	-1	1
9	-2	1	3	-1	-1	-1	-2	2	1	-1
10	-2	-2	1	1	1	1	-2	-3	0	1
11	-1	-2	-3	-1	-1	2	1	1	-1	-1

Таблиця 8.3

i	α	$\sin\alpha$	3 рівня	5 рівнів	7 рівнів
1	0,00	0,00	0	0	0
2	0,48	0,46	2	1	1
3	0,97	0,82	2	2	2
4	1,45	0,99	2	2	3
5	1,93	0,94	2	2	2
6	2,42	0,66	2	1	1
7	2,90	0,24	2	0	0
8	3,38	-0,24	-2	0	0
9	3,87	-0,66	-2	-1	-1
10	4,35	-0,94	-2	-2	-2
11	4,83	-0,99	-2	-2	-3
12	5,32	-0,82	-2	-2	-2
13	5,80	-0,46	-2	-1	-1

При необхідності значення $\sin\alpha$ можуть служити тринадцятьом рівням плану. Але зазвичай такої необхідності немає, і їхнє число можна зменшити до 3, 5 або 7 рівнів. При подальших викладеннях будемо використовувати п'ять рівнів ($n_n = 5$).

Наступний крок при побудові плану складається в знаходженні такого сполучення векторів-стовпців, яке б забезпечило гарні якості інформаційної матриці, зокрема , щоб слід матриці був близький до одиниці. Пошук здійснюється в два етапи таким чином, що на першому етапі перебирають численні сполучення, вибираючи між ними ті, у яких мале значення коефіцієнтів кореляції r_{ij} між членами багаточлена. При цьому допускається, що величину $r_{ij} \leq 0,40$ можна вважати пренебрежимо малою.

Для знаходження інших векторів плану немає необхідності повторювати розрахунки табл.8.3. Маючи вектор-базис $VB(n_0)$, можна одержувати інші вектори сполучення $IM(n_f)$ за алгоритмом

```

5000 FOR I=1 TO NO
5010 FOR J=1 TO NF
5020 L=(I-1)*IM[J]
5030 L=(L MOD NO)+1
5040 X[I,J]=VB[L]
5050 NEXT J
5060 NEXT I

```

у якому $IM(n_f)$ - заданий вектор плану, а $X[n_0, n_0]$ - матриця плану.

Приведена модифікація алгоритму будує план по рядках. У нашому прикладі, де $n_0 = 13$, $n_f = 3$ і $VB(13) = 0, 1, 2, 2, 2, 1, 0, 0, -1, -2, -2, -2, -1$, вихідними даними є число факторів n_f , число дослідів n_0 , вектор-базис $VB(n_0)$ і варіанти – $IM(n_f)$. Потрібно побудувати план.

Як відзначалося вище, не всі сполучення рівноцінні. Для зазначеного вектора-базиса характеристики планів наведені в табл.8.4.

Таблиця 8.4

Вектори-варіанти ІМ [3]	Характеристики плану			
	I C	t r	V, %	F
1, 2, 3	6,48	3,47	3,53	3,37
1, 2, 4	1,54	1,40	5,41	1,82
1, 2, 5	4,72	2,53	7,28	2,28
1, 3, 4	1,34	1,35	4,57	1,26
1, 3, 5	4,72	2,53	6,91	10,50

Для того, щоб з'ясувати причину різниці в характеристиках, виконаємо аналіз кореляційної табл. 8.5 сполучення варіантів 1, 2, 3.

Таблиця 8.5

Функції									Функції
1,0	1,1	2,0	2,1	2,2	3,0	3,1	3,2	3,3	
1	0	0,14	0	0	-0,14	0	0	0	1,0
	1	0	0,16	-0,11	0	-0,67	0,15	-0,11	1,1
		1	0	0	0	0	0	0	2,0
			1	0,42	0	0,17	0,46	-0,27	2,1
				1	0	0,79	0	0,19	2,2
					1	0	0	0	3,0
						1	-0,07	0,10	3,1
							1	0	3,2
								1	3,3

З таблиці видно, що між взаємодією x_3x_1 , і взаємодіями x_1x_1 і x_2x_2 наявна значна кореляція ($r_{ij} = 0,67$, $r_{ij} = 0,79$ відповідно).

При цьому чотири значення коефіцієнта кореляції більше 0,40. Виходячи з цього характеристики плану, складеного з векторів (1, 2, 3), погані.

Відзначимо, що і поганий план може дати зазначеним характеристикам задовільну апроксимацію у вузлових (дослідних) крапках. Разом з тим при повторних дослідах значення коефіцієнтів багаточлена можуть різко відрізнятися від коефіцієнтів моделі, і прогнозовані (екстрапольовані) значення функції в інші (довільних) крапках можуть бути дуже погані ($F \gg FT$). Слід також зазначити, що спроби деяких авторів додати коефіцієнтам багаточлена якийсь фізичний зміст часто не обгрунтовані.

8.5. Плани для сумішей

При побудові планів для сумішей необхідно дотримуватись умови

$$\sum_{j=1}^{nf} x[i, j] = 1 \quad (8.12)$$

Наприклад, при складанні плану для визначення вагових часток компонентів бетону (цементу, води і твердого наповнювача) потрібно, щоб загальна вага дорівнювала 1000 кілограмів.

Мається ряд рекомендацій для побудови планів при $nf = 2 - 3$ компонентів. Нижче наведено загальний метод побудови планів при будь-якій кількості факторів. Побудова планів для сумішей припускає додання до алгоритму програми "Поліном" підпрограми, що реалізує наступні операції:

1. Обчислення nf рівномірно розподілених випадкових чисел ($0 \leq p \leq 1$) і їхньої суми

$$S = \sum_{j=1}^{nf} p_j \quad (8.13)$$

2. Знаходження значень факторів, як частки цієї суми

$$X[i, j] = p/S \quad (8.14)$$

Після повернення в основну програму обчислюються відповідні значення стандартизованих факторів

$$x_{cm}[i, j] = \frac{x[i, j] - \bar{x}_j}{\sigma_{xj}} \quad (8.15)$$

і значення критерію якості tr .

Процедура повторюється кілька разів (10 - 20), а з отриманих планів вибирається той, у якого величина tr найменша і який найкраще підходить з технологічних міркувань.

Стандартизація необхідна для приведення всіх планів до загального масштабу і, отже, для порівняння між собою.

При застосуванні програми "Поліном" треба враховувати, що значення одного з факторів визначено іншими, тому при визначенні вихідних даних вводимо значення nk на одиницю менше числа факторів. Відповідно поліном складається для $nf - 1$ факторів. Наприклад, при $nf = 3$ маємо

$$Y_p = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_{11}x_1^2 + a_{12}x_1x_2 + a_{12}x_2^2 \quad (8.16)$$

Вибір $nf - 1$ факторів із загального числа nf проводиться довільно, тобто, наприклад, для x_1 і x_2 матриця MI має вигляд:

$$MI[nk, nf] = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 2 \\ 1 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 2 \end{bmatrix} \cdot$$

Для x_1 і x_3 вона матиме наступний вигляд:

$$MI[nk, nf] = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 3 \\ 1 & 1 \\ 1 & 3 \\ 3 & 3 \end{bmatrix}$$

Пропонований метод дозволяє ввести обмежуючі умови. Наприклад, нехай потрібно одержати план для суміші з трьох компонентів, для яких $\sum_{nf} x_j = 1$ при обмеженні

$$q_{\min} \leq x_1/x_2 \leq q_{\max}$$

тобто відношення x_1/x_2 повинно знаходитися у визначених межах. Така ситуація має місце, наприклад, при виборі компонентів бетону. Водоцементне відношення В/Ц, тобто відношення кількості води до кількості цементу повинне залишатися в заданому проміжку $q_{\max} - q_{\min}$. Приведений алгоритм можна представити програмно у виді групи операторів

```

5000 I=1: RANDOMIZE TIME
5010 WHILE I<=NO
5020 P2=RND; P3=RND
5030 P1=P2*(QMIN+(QMAX-QMIN)*RND)
5050 S=P1+P2+P3
5060 X[I, 1]=P1/S: X[I, 2]=P2/S
5070 X[I, 3]=1-X[I, 1]-X[I, 2]
5080 I=I+1
5086 PRINT
5090 WEND
5100

```

Реалізація алгоритму при $q_{\min} = 0,1$ і $q_{\max} = 0,60$ дозволяє скласти план-матрицю (табл. 8.11) для суміші з трьох компонентів, з метою визначення статистичної апроксимації при двох факторах x_1 і x_2 .

Таблиця 8.11

№	x_1	x_2	x_3	№	x_1	x_2	x_3
1	0,15	0,31	0,54	9	0,23	0,76	0,01
2	0,04	0,18	0,78	10	0,08	0,34	0,58
3	0,23	0,55	0,22	11	0,13	0,47	0,40
4	0,06	0,54	0,40	12	0,14	0,48	0,38
5	0,19	0,40	0,41	13	0,12	0,33	0,55
6	0,14	0,60	0,26	14	0,14	0,50	0,36
7	0,14	0,74	0,12	15	0,07	0,65	0,28
8	0,19	0,80	0,01	tr = 2,23			

Запитання для самоконтролю

1. У чому полягає питання планування експерименту?
2. Поясніть призначення апроксимуючої функції.
3. За яким критерієм оцінюється адекватність апроксимуючого полінома?
4. Як виконується оцінка якості планів?
5. Як виконується нормування факторів? З якою метою?
6. Поясніть порядок побудови детермінованих планів?
7. Поясніть порядок побудови планів для сумішей?

Тема 9. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ

9.1. Поняття проблеми

Проблема (від грець. problema - задача) у широкому розумінні - це складне теоретичне або практичне питання, що вимагає вивчення, вирішення, або суперечлива ситуація, що виникає через протилежні позиції в поясненні будь-яких явищ, об'єктів, процесів і потребує адекватної теорії для її вирішення.

Вся історія людства та індивіда пов'язана з подоланням утруднень засобами інтелекту, тобто з вирішенням проблем. Проблема - це ситуація невідповідності бажаного та існуючого. Проблемні ситуації виникають у процесі пізнавальної діяльності суб'єкта, спрямованої на певний об'єкт, коли суб'єкт зустрічає певне утруднення, тобто перешкоду.

Перешкода може мати різну природу: це і нестача або невідповідність знань, засобів та способів їхнього застосування, і необхідність зробити якісь невідомі дії для досягнення мети або зробити вибір між кількома об'єктами тощо. У всіх цих випадках виникає ситуація, яку прийнято називати проблемною. Проблемна ситуація - це "розрив" у діяльності, "неузгодженість" між цілями і можливостями суб'єкта, тобто умови, що породжують проблему. Проблемна ситуація - умови, що породжують проблему.

Умови появи проблеми - це об'єктивно виникаючі протиріччя між тими або іншими діями, зокрема через незнання способів їхнього виконання; між потребами в нових знаннях та їхній недостатності.

Типовими проблемними ситуаціями є наступні:

- результати діяльності не відповідають бажаним цілям;
- раніше вироблені, теоретично обґрунтовані і практично перевірені методи рішення не дають належного ефекту або не можуть бути використані;
- у практичній діяльності виявляються факти, що не вписуються в рамки існуючих теоретичних уявлень;
- одна з окремих теорій вступає в логічне протиріччя з більш загальною теорією або іншими сферами життя в межах певної галузі знань.

Виділяють дві категорії проблем: проблеми стабілізації і проблеми розвитку.

Проблемами стабілізації називаються такі, рішення яких спрямовані на запобігання, усунення або компенсацію збурень, що порушують поточну діяльність системи. До рішення проблем стабілізації належить також сукупність заходів, що без зміни основних характеристик системи корегують процеси поточної діяльності. При цьому враховуються умови протікання, що змінюються, сталого виробничого процесу (у тому числі виникаючі додаткові можливості використання ресурсів) і коливання потреби в продукції, у тому числі її різних сортових різновидів.

На рівні підприємства, корпорації або галузі рішення цих проблем позначають терміном "керування виробництвом", розуміючи під ним сукупність заходів для керування основним і допоміжним виробництвами, матеріально-технічним постачанням і збутом, а також для їх поточного планування.

Проблемами розвитку та удосконалення систем називають такі, рішення яких спрямовані на підвищення ефективності функціонування за рахунок зміни характеристик об'єкта керування або системи керування об'єктом. Рішення цих проблем можна розглядати як сукупність заходів для переведення системи з вихідного стану в новий, що відрізняється від попереднього кращими технічними характеристиками, кращою організацією. Це забезпечує більш високу ефективність системи. На рішення проблем розвитку й удосконалення систем спрямоване перспективне планування, керування науково-дослідними та експериментальними роботами, проектування, капітальне будівництво, забезпечення технічного й організаційного прогресу, у тому числі впровадження нової техніки, планування і реалізація організаційно-технічних заходів, весь комплекс робіт із вдосконалення планування і керування.

Як класифікаційні ознаки використовуються також ступінь формалізації, характер прояву і ступінь зв'язаності проблем.

За ступенем формалізації проблеми підрозділяють на:

- **неструктуровані** (опис на якісному рівні і вирішення евристичними методами, тобто на основі досвіду та інтуїції);
- **слабоструктуровані** (якісний і кількісний опис, частково формалізована предметна область), для вирішення яких і призначений системний підхід;
- **структуровані** (зазвичай вирішуються методами дослідження операцій).

Існують ще інші класифікації проблем. Узагальнюючи різні способи класифікації проблем, можна привести їх до наступних трьох видів:

- **оперативні проблеми** - проблеми, рішення яких спрямовано на запобігання, усунення або компенсацію збурень, що порушують поточну діяльність системи. Це структуровані проблеми. Рішення цих проблем пов'язано з їхньою кількісною оцінкою, наявністю добре відпрацьованих альтернативних наборів дій у тій або іншій ситуації;
- **проблеми удосконалення і розвитку систем** - проблеми, рішення яких спрямовано на підвищення ефективності функціонування за рахунок зміни характеристик об'єкта керування або системи керування об'єктом, а також впровадження нових ідей. Це слабоструктуровані проблеми, рішення яких є об'єктом дослідження системного аналізу і синтезу;
- **інноваційні проблеми** - проблеми, рішення яких пов'язано з виробленням нових ідей та впровадженням нововведень. Це дуже слабоструктуровані (або неструктуровані) проблеми. Рішення цих проблем пов'язано з

породженням нових ідей та застосуванням евристичних методів на основі досвіду та інтуїції.

Одним з центральних у сучасній теорії СА є поняття **системної проблеми**. Виділяють дев'ять ознак [1.11], що дозволяють у сукупності ідентифікувати проблеми цього класу (рис. 9.1).

Розглянемо ознаки системних проблем.

Слабка структурованість. Проблеми сфери наукових досліджень підрозділяються на три класи:

1. **Добре структуровані** або кількісно сформульовані *проблеми*. Істотні залежності достатньо з'ясовані, можуть бути виражені в числах або символах. Ці проблеми складають предмет теорії дослідження операцій та її численних математичних розділів - теорії масового обслуговування, теорії марковських процесів, теорії ігор, математичного програмування та інших.



Рис. 9.1 – Ознаки системних проблем

2. **Неструктуровані**, або якісно виражені *проблеми*. Містять лише словесні описи найважливіших аспектів досліджуваного об'єкта, його ознак і характеристик, кількісні залежності між якими невідомі. Ці проблеми входять до кола інтересів гуманітарних наук - соціології, психології, економіки, політології, юриспруденції та інших.

3. **Слабоструктуровані проблеми**. Містять як якісні, так і кількісні елементи, причому якісні, маловідомі, невизначені сторони мають тенденцію домінувати. Ці проблеми складають основний предмет системного аналізу.

Конфліктність. Системні проблеми формуються протиріччями між прагненням природи і суспільства до свого розвитку і завжди обмеженими можливостями практичної реалізації цього прагнення. Протиріччя виявляються у виді явних або схованих конфліктів різного масштабу і значущості, що загрожують перерости в кризи. Тобто проблеми такого класу конфліктні за своєю природою. З цієї причини характерною рисою системних проблем є компромісний характер їхнього вирішення, пов'язаний із багатофакторністю та множинністю критеріїв якості. Фактично вони вирішуються тільки шляхом врегулювання протиріч в динаміці їх розвитку і компромісу між бажанням

досягти визначених цілей та існуючими для цього можливостями. Так, наприклад, при розробці і модернізації технічних систем конфліктність виражається в бажанні замовника домогтися максимального ефекту при мінімумі витрат, у той час як можливості конструктора обмежені наявною технічною і технологічною базою, а його фінансові запити не завжди відповідають розрахункам замовника. Аналогічна ситуація спостерігається у взаєминах між виробниками і споживачами на ринку товарів і послуг. Очевидну і яскраво виражену конфліктність мають системні проблеми військово-технічного, політичного, економічного та соціального характеру.

Невизначеність. Змістову сторону динаміки системних проблем можна описати лише можливими сценаріями (варіантами) розвитку подій, в яких немає вичерпних даних щодо обставин, що супроводжують дану проблему, її зв'язків з іншими проблемами і ресурсами, необхідними для її вирішення. Врахувати заздалегідь усі ситуації, з якими прийдеться зіштовхнутися при вирішенні системної проблеми, неможливо. Як показує досвід науково-дослідних робіт, апріорі виявлена частина системної проблеми несе в собі не більше 5-10 % від загального обсягу інформації, необхідної для її вирішення, а інша частина схована від дослідника і починає з'являтися тільки в процесі самого дослідження. Окрім того, для системних проблем характерний широкий діапазон неочевидних способів і прийомів їхнього вирішення, але повний набір можливих варіантів не може бути визначений заздалегідь. Рішення системної проблеми часто пов'язано з переглядом прийнятих поглядів на природу речей, з пошуком принципово нових ліній поведінки, що виходять за рамки традиційного розуміння фізичних, біологічних та соціальних процесів.

Неоднозначність. Системна проблема найчастіше має кілька варіантів свого вирішення, які важко ранжувати за їх перевагою. У системній проблематиці існує особлива область толерантності (нечутливості), доступна інтуїтивному сприйняттю, але в яку не можна проникнути науковими (логічними) методами. Тому інтуїція (підкріплена знаннями) і наукова творчість грають у системному аналізі істотну, а часом вирішальну роль, виступаючи джерелом зародження нових ідей і способів вирішення системних протиріч.

Наявність ризику. Для вирішення будь-якої системної проблеми потрібні певні ресурси (фінансові, матеріальні, інформаційні та інші), вкладення яких неодмінно супроводжується елементами ризику, зумовленими протидією з боку як зовнішніх, так і внутрішніх сил. Природа протидії об'єктивна і пов'язана з тим, що будь-який варіант вирішення системної проблеми відповідає інтересам одних суб'єктів і зачіпає інтереси інших. Взаємозв'язок інтересів виникає в результаті кореляції даної проблеми з іншими проблемами через спільні ресурси, потрібні для їх вирішення. Ніякі додаткові ресурси не можуть гарантувати безконфліктне вирішення існуючої системної проблеми (додаткові ресурси породжують нові проблеми), а будь-який варіант її вирішення не є найкращим, тому що невідомо, яким чином вирішуються інші пов'язані з нею проблеми.

Багатоаспектність. Системні проблеми зумовлені багатьма сторонами субстанції, в якій вони виникають і розвиваються, а між цими сторонами існують зв'язки взаємного впливу. Так, наприклад, якщо мова йде про соціальні проблеми розвитку суспільства, то в сферу аналізу втягуються гуманітарні, економічні, політичні, етнічні та інші взаємозалежні питання. Вирішення технічних проблем завжди пов'язано з питаннями економічного, фінансового, виробничого, технологічного, естетичного, екологічного та іншого характеру. Спроби спростити проблему шляхом виключення так званих "неістотних" аспектів приводять до помилок з важкими наслідками. У той самий час прагнення до повного врахування всіх сторін призводить до того, що проблема стає неозорою і практично нерозв'язною. У просторі параметрів будь-якої системної проблеми існує деяка "золота середина", пошук якої складає одну з найважливіших прагматичних задач системного аналізу.

Комплексність. Системні проблеми породжені інтересами багатьох наукових дисциплін (математики, фізики, хімії, біології, кібернетики, соціології та інших), але жодна з них окремо не здатна запропонувати ефективні способи їхнього цілісного розв'язання. Це зумовлено вузькою цільовою орієнтацією традиційних наукових дисциплін. Системний аналіз будується на іншій концептуальній основі, коло науково-практичних інтересів не повинне замикатися рамками однієї теорії. Ефективно розв'язати системну проблему можна тільки в тому випадку, якщо залучити, адекватний за складністю комплекс наукових методів і знань, що охоплює своїми пізнавальними можливостями все різноманіття сторін і проявів досліджуваного об'єкта. Але знання і методи різних наук не можуть стати комплексом самі по собі. Потрібен певний системоутворюючий механізм, здатний керувати його окремими складовими, погоджувати результати досліджень різних наук і концентрувати зусилля на найбільш важливих напрямках. Таким механізмом є методологія системного аналізу.

Саморозв'язність. Ця властивість системних проблем полягає в їх здатності вирішуватися природним чином, тобто без використання наукових методів і знань. Питання полягає в тому, якими можуть бути наслідки саморозв'язності, негативними чи позитивними, конструктивними чи деструктивними. Головна прагматична спрямованість аналізу систем полягає у пошуку конструктивних способів і технологій вирішення виникаючих проблем, що виключають негативні варіанти розвитку подій у проблемній області.

Еволюційність. Будь-яка системна проблема є продовженням деякої проблеми минулого і сама є джерелом нової проблеми. Цикл, у якому одна проблема переходить в іншу, не тільки ніколи не переривається, але має тенденцію до розгалуження (одна проблема породжує багато інших). Центральна задача аналізу систем полягає в пошуку таких варіантів вирішення проблеми, що виключають виникнення нових, ще більш складних проблем, не містять у собі потенціалу руйнування того позитивного, що було вже раніше створено природою або суспільством, не порушують, а підтримують розвиток наукових напрямків.

9.2. Проблема як система

Як було зазначено у п. 9.1 проблема - це ситуація, що характеризується розходженням між *необхідним* (бажаним) результатом діяльності організації (системи) та існуючим результатом її діяльності. Результат діяльності вважають *необхідним*, якщо його якісні показники створюють погрозу існуванню або розвиткові організації. Існуючий результат діяльності забезпечується існуючим станом організації. Бажаний результат діяльності забезпечується бажаним станом організації. Проблема - це різниця між існуючим і бажаним результатами діяльності організації. Проблема може полягати в запобіганні зменшення результату діяльності або ж у його збільшенні. Рішенням проблеми є те, що заповнює проміжок між існуючим і бажаним результатами діяльності організації. Система, що заповнює проміжок, є об'єктом конструювання і називається *рішенням проблеми*.

Проблеми виявляються в симптомах. Коли симптоми проявляються систематично, вони утворюють тенденцію. Виявлення проблеми є результатом процесу ідентифікації симптомів. Ідентифікація можлива за умови знання бажаного результату діяльності організації (системи). Після виявлення проблеми впливає необхідність прогнозування її розвитку й оцінки актуальності її рішення, тобто стану організації при невирішеній проблемі. Оцінка актуальності рішення проблеми дозволяє визначити необхідність її розв'язання.

Процес рішення концентрується навколо ітеративно виконуваних операцій ідентифікації умов, цілей і можливостей для розв'язання проблеми. Результатом ідентифікації є опис *умов, цілей і можливостей* у термінах системних об'єктів (входу, процесу, виходу, зворотного зв'язку та обмежень), властивостей і зв'язків, тобто в термінах структур і їх вхідних елементів. Якщо структури та елементи умов, цілей і можливостей даної проблеми відомі, ідентифікація має характер визначення кількісних відносин, а *проблему називають кількісною*. Якщо структура та елементи умови, мети і можливостей відомі частково, ідентифікація має якісний характер, *проблему називають якісною або слабоструктурованою*.

Як методологія вирішення проблем системний аналіз указує принципово необхідну послідовність взаємозалежних операцій, що складається з *виявлення проблеми, конструювання рішення проблеми і реалізації цього рішення*. *Процес вирішення (розв'язання)* являє собою конструювання, оцінку і добір альтернатив систем за критеріями вартості, часу, ефективності і ризику з урахуванням відносин між граничними значеннями збільшень цих величин. Вибір границь цього процесу визначається умовою, метою і можливостями його реалізації. Найбільш адекватна побудова цього процесу припускає всебічне використання евристичних висновків у рамках постульованої структури системної методології.

Редукування числа змінних здійснюється на основі аналізу чутливості проблеми до зміни окремих змінних або груп змінних, агрегування змінних у зведені фактори, вибором відповідної форми критеріїв, а також застосуванням

там, де це можливо, математичних способів скорочення перебору (методів математичного програмування тощо). Логічна цілісність процесу забезпечується явними або схованими припущеннями, кожне з яких може бути джерелом ризику. Постулюють, що структура функцій системи і рішення проблеми є стандартними для будь-яких систем і будь-яких проблем. Змінюватися можуть тільки методи виконання функцій. У результаті вирішення проблеми встановлюються нові зв'язки і відносини, частина яких зумовлює бажаний результат діяльності організації, а інша частина визначає непередбачені можливості та обмеження, що можуть стати джерелом майбутніх проблем.

Методологія СА спрямована на кількісне порівняння альтернатив, що виконується з метою вибору альтернативи, яка підлягає реалізації. Якщо вимогу рівної якості альтернатив виконано, то можуть бути отримані кількісні оцінки. Але для того, щоб кількісні оцінки дозволяли вести порівняння альтернатив, вони мають відбивати властивості альтернатив, що беруть участь у порівнянні (вихідний результат, ефективність, вартість та інші). Досягти цього можна, якщо враховані всі елементи альтернативи і надані правильні оцінки кожному елементу. Так виникає ідея виділення "всіх елементів, пов'язаних з даною альтернативою". Цю виділену цілісність альтернатив і оцінок їх елементів в СА називають повною системою, або просто системою. Система, у цьому випадку, це те, що вирішує проблему.

9.3. Системний аналіз і вирішення проблеми

Задача аналізу і вирішення проблеми належить до тієї частини методології системних досліджень, яка не піддається формалізації, і її розв'язання залежить як від характеру самої проблеми, так і від досвіду і преференцій дослідника. Ось чому відсутній однозначний підхід до вибору основних етапів аналізу і вирішення проблеми. В загальному випадку при розв'язанні цієї задачі дотримуються принципів (див. п. 4.4) і технології (див. п. 4.5) СА і проводять системне дослідження (декомпозицію, аналіз, синтез), яке усуває проблему.

Враховуючи наведені в темі 4 загальні питання методології СА, як приклад розглянемо один з варіантів послідовності дій в процесі аналізу і рішення проблеми організації. Причому зазначимо, що саму проблему організації ми розглядатимемо як систему, а процеси розробки рішення і його реалізації - як процеси функціонування системи. Основними з цих процесів є наступні:

- дослідження об'єкта, його структури і цілей;
- виявлення шляхів досягнення цілей (підпроблем);
- виявлення варіантів вирішення підпроблем;
- вибір рішень підпроблем і проблеми в цілому.

Послідовність дій процесу аналізу і вирішення проблеми організації:

етап 1 - виявлення проблемної ситуації;

етап 2 - побудова інформаційної моделі проблемної ситуації;

етап 3 - постановка проблеми;

етап 4 - ухвалення плану (технології) вирішення проблеми.

У свою чергу можна провести декомпозицію задачі першого етапу (виявлення проблемної ситуації) на наступну послідовність дій:

крок 1.1 - усвідомлення господарської ситуації як проблемної;

крок 1.2 - виявлення проблем і вибір проблеми для вирішення;

крок 1.3 - виявлення джерела проблемної ситуації;

крок 1.4 - опис властивостей і встановлення класу проблемної ситуації;

крок 1.5 - формулювання проблеми.

Розглянемо ці дії детальніше.

Крок 1.1. Усвідомлення господарської ситуації як проблемної. Проблемна ситуація - це розбіжність між бажаним і реальним станом організації, яка може бути ліквідована різними шляхами. Виявлення проблемної ситуації ґрунтується як на почуттєвому сприйнятті, так і на логічному мисленні. На цьому етапі формується уявлення про те, який стан організації в розглянутій ситуації буде ефективнішим (кращим, бажаним) порівняно з її реальним станом. У зв'язку з цим необхідно виконати певні дії для переходу організації в більш вигідний стан.

Істотну роль у сприйнятті проблемної ситуації відіграє інформаційне забезпечення ОПР. Недостатність інформації може призвести до того, що існуюча проблемна ситуація не буде сприйнята ОПР.

Може скластися ситуація, при якій порушуються інтереси одних систем (підсистем, елементів), а ресурси для ліквідації цього порушення знаходяться в розпорядженні інших систем (підсистем, елементів), які не сприймають дану ситуацію як проблемну, і тому не вирішують її. Таких "нелокалізованих" проблем у діяльності організацій буває досить багато. Рішення цих проблем затягується іноді на невизначений термін. Головна умова сприйняття, а отже і швидкого вирішення проблемної ситуації - наявність необхідних ресурсів та інформації в потрібний час у потрібному місці.

Крок 1.2. Виявлення проблем і вибір проблеми для вирішення. Проблеми зазвичай не виникають по одній, вони взаємозалежні, у зв'язку з чим постає задача вибору проблеми для вирішення. Починати треба з визначення ділянок діяльності, на яких створилися труднощі.

При виборі проблеми для вирішення задають наступні питання:

- чи достатньо фактів для розуміння проблеми?
- які межі розгляду проблеми?
- що потрібно для усунення даної конкретної ненормальності у функціонуванні системи?
- чи є усунення даного недоліку вирішенням і перспективною проблеми?
- чи узгоджується вирішення невідкладних проблем з інтересами на більш тривалий період?
- яка проблема є найбільш важливою з точки зору ОПР, групи, організації в цілому?
- які конфлікти цілей можуть мати місце?

Крок 1.3. Виявлення джерела проблемної ситуації. Проблемна ситуація може виникнути як в результаті змін, що відбулися в оточуючому середовищі, так і в результаті змін, що відбулися в самій організації.

Оточуюче середовище організації (зовнішнє середовище системи) завжди накладає обмеження на вибір дії ОПР. Під оточуючим середовищем організації, в даному випадку, ми розуміємо *актуальне середовище системи* (будь-які об'єкти за межами організації, непідконтрольні ОПР, але здатні до активного впливу на організацію). Зміни, що відбуваються в середовищі, порушують інтереси ОПР, і, тим самим, змінюють ситуацію для організації, перетворюючи її в проблемну. До виникнення проблемної ситуації можуть привести і зміни станів інших структурних одиниць організації. Велика пов'язаність структурних складових організації (ССО) приводить до того, що будь-які зміни в інших ССО торкаються інтересів розглянутої ССО, що приводить до зміни оцінки пріоритету стану ССО. Виникнення проблемної ситуації може бути пов'язане із зміною стану самої ССО. Стан ССО характеризується, насамперед, комбінацією її ресурсів. Зміна в ресурсному забезпеченні ССО може наступити за об'єктивних причин, що не залежить від волі і свідомості ОПР. Окрім того, зміна стану ССО і виникнення проблемної ситуації може бути наслідком помилки ОПР, що може привести до переходу з однієї не розв'язаної проблемної ситуації в іншу. Причинами прийняття ОПР невірної рішення можуть бути: недостатність або несвоєчасність інформації; недостатня компетентність ОПР; невірне формулювання проблеми. Додатковими причинами можуть бути гострота постановки задачі, висока невизначеність діяльності і результату. Проблемна ситуація може виникнути й у тому випадку, коли ні стан ССО, ні господарська ситуація, в якій вона знаходиться, не змінюються, але змінюється упорядкування господарських ситуацій у результаті зміни ціннісних орієнтирів ОПР.

Крок 1.4. Опис проблемної ситуації: встановлення її властивостей і класу. Виділяють три властивості проблемної ситуації: *визначеність, інформативність, потенційна ефективність.*

Визначеність проблемної ситуації - це можливість для ОПР вичерпати список припустимих дій, розглянути всі можливі альтернативи.

Інформативність проблемної ситуації - це можливість зіставлення припустимих дій. Ступінь інформативності проблемної ситуації може бути різною залежно від формулювання проблемної ситуації, від обраних для її опису параметрів і характеристик.

Потенційна ефективність проблемної ситуації - це об'єктивно зумовлена міра скорочення рівня незадоволеності інтересів ОПР при вирішенні проблемної ситуації.

Проблемні ситуації можуть бути класифіковані за ознаками зміни стану ССО. Виділяють три таких ознаки: а) зміна швидкості процесів, що протікають у ССО; б) зміна напрямку процесів; в) зміна змісту процесів.

Швидкість є джерелом проблемної ситуації, коли бажаний і реалізований стан ССО мають однакову структуру, але характеризуються різними швидкостями процесів, що протікають у ССО.

Напрямок є джерелом проблемної ситуації, коли для досягнення бажаного результату необхідно змінити пропорцію ресурсів ССО. Зміна напрямку завжди пов'язана із зміною швидкості.

Зміст процесів, що протікають у ССО, є джерелом проблемної ситуації, коли реальний стан ССО і бажаний не співпадають за складом елементів. Вирішення проблемних ситуацій такого типу означає якісне перетворення ССО. Воно містить у собі зміну і швидкості розвитку ССО, і напрямку.

Кожна проблемна ситуація вирішується у певній ССО. Рішення, що на поверхні виступають як спільні рішення кількох ССО організації, у дійсності завжди є комбінацією рішень окремих ССО, тому що кожна ССО має можливість розпоряджатися тільки своїми ресурсами.

Крок 1.5. Формулювання проблемної ситуації. Формулювання проблеми є найбільш важливим кроком у вирішенні самої проблеми. Правильна постановка питання не менш важлива, ніж отримання правильної відповіді. Правильно сформульована проблема може вважатися наполовину вирішеною. Попередній аналіз проблеми, що полягає у встановленні її джерел і класу, визначенні її властивостей, дозволяє уточнити формулювання проблеми, обраної для вирішення. При формулюванні проблеми треба спиратися на принципи прийняття рішень і намагатися, за можливістю, не припускати характерних помилок. Опис проблемної ситуації має вестися в термінах кількісних характеристик бажаного і реалізованого стану ССО. Слід пам'ятати, що проблемна ситуація повинна мати конкретну "адресу", тобто повинна бути зазначена ССО, чиї інтереси порушуються в наслідок появи проблемної ситуації.

Окрім того, треба з'ясувати, чи випадково виникла дана ситуація. Випадковість ситуації потребує ліквідації тільки її наслідків. Закономірність вимагає так само ліквідації причин, що її породили. Інакше кажучи, вирішення проблемної ситуації може проходити у двох напрямках:

- перший – тактичний напрям забезпечує ліквідацію проблеми, тобто пошук, розробку і вибір дій з метою виходу із сформованої проблемної ситуації;
- другий - стратегічний напрям забезпечує "попереднє" (превентивне) вирішення проблеми, тобто реконструкцію організації в цілому або будь-якої її частини з метою ліквідації можливості повторної появи аналогічної ситуації. Розглянута вище процедура прийняття рішень реалізує перший напрямок.

Другий напрям реалізується на основі процедури системного проектування. Реальна ефективність вирішення проблемної ситуації (ПС) залежить від ступеня її інформативності та визначеності. Очевидно, що можливість вичерпати список доступних дій і порівняти ці дії одну з одною безпосередньо залежить від повноти і достовірності інформації про дану ПС. Тому, перш ніж вибирати дію, тобто приймати рішення, необхідно зібрати інформацію з метою підвищення інформативності і визначеності ПС.

На другому етапі процесу прийняття рішень (побудова інформаційної моделі проблемної ситуації) здійснюється збір даних з метою поглибити уявлення ОПР про проблемну ситуацію, у яку потрапила організація. Обсяг необхідної інформації залежить у першу чергу від складності проблеми, а також від кваліфікації і досвіду осіб, що приймають рішення. Зібрана інформація в деякому сенсі є моделлю проблемної ситуації.

Інформаційна модель проблемної ситуації - це адекватне відображення ПС у виді сукупності даних, що змінюють її визначеність, інформативність і (або) потенційну ефективність. Щоб служити моделлю, інформація повинна бути систематизованою.

Декомпозиція другого етапу процесу аналізу і вирішення проблеми організації може містити наступні дії:

крок 2.1 - виявлення функції шуканого рішення;

крок 2.2 - збір необхідних даних;

крок 2.3 - класифікація даних.

Розглянемо дії другого етапу.

Крок 2.1. Виявлення функції шуканого рішення. Функція шуканого рішення дає відповідь на питання: "Навіщо необхідно шукати рішення?". Відповідь на це питання не завжди очевидна. Наприклад, при підвищенні врожайності картоплі не вистачає овочесховищ. Може це функція шуканого рішення - побудувати? Ні. Функція повинна дати відповідь на питання: "Навіщо будувати?". Тут можливі різні відповіді, наприклад: перша – "Щоб зберегти картоплю"; друга - "Щоб забезпечити населення картоплею"; третя - "Щоб забезпечити населення харчуванням". Функція визначає безліч можливих альтернатив. Так, "будівництво цеху з переробки картоплі" буде одним з можливих рішень розглянутої проблеми, що відповідає третьому формулюванню функції, але не буде можливим для першої функції. *Формулювання функції шуканого рішення стосовно формулювання проблеми розширює простір пошуку рішень.*

Формулювання функції повинне містити основну ознаку бажаного стану системи, відбивати ті зміни, що очікуються в результаті рішення. Сформульована функція повинна відповідати функції організації (як системи), можливостям організації, обмеженням з боку середовища тощо.

Розширюючи простір пошуку альтернатив, функція шуканого рішення уточнює ("звужує") зміст необхідної інформації.

Крок 2.2. Збір даних. Частина фактичних даних отримується у процесі попереднього аналізу проблемної ситуації і формулювання проблеми. Проте для чіткої постановки задачі потрібні додаткові дані.

Джерелом необхідних фактів можуть служити результати наукових досліджень, дані експерименту, статистика, судження та уявний експеримент, натурні обстеження.

Для одержання інформації часто єдиним джерелом може служити опитування або співбесіда. При проведенні опитування необхідно дотримуватись певних правил:

- як результат бесіди потрібні самі факти, а не їхня оцінка або пропозиції;
- не давати співрозмовникові углиблятися в питання, що не належать до справи, але при цьому намагатися не переривати його;
- не давати збивати себе на рішення операційних питань типу: як це зробити ?;
- намагатися уникати широких узагальнень типу "усі так роблять" або голослівних стверджень.

При цьому треба мати на увазі, що співрозмовник може мимоволі, а може і навмисно спотворити дані. З іншого боку, усна інформація може дати такий матеріал, який ніяка письмова або друкована дані не в змозі.

Постановка проблеми і збір фактичного матеріалу мають взаємний вплив. Не можна сформулювати проблему для аналізу, не маючи необхідної інформації. З іншого боку, не можна вирішити, які факти збирати, поки не ясно, яку проблему треба вирішити.

Крок 2.3. Класифікація даних. Системний підхід висуває ряд принципів дослідження, одним з яких є розробка системних класифікаторів-інваріантів. Відповідно до цього принципу системна класифікація даних про проблемну ситуацію має бути інваріантною змістові і цілям вирішення проблемної ситуації: функція, початкові і кінцеві умови шуканого рішення, зв'язки, середовище, умови перетворення, а також суб'єктивний фактор. У таблиці 9.1 представлені визначення зазначених характеристик, а також сформульовані питання, для відповіді на які потрібно збирати фактичні дані. Кожна характеристика описується за станом на даний момент часу (фізичний вимір); за її виміром в часі (динамічний вимір); за її ставленням до аналогічної проблемної ситуації, обраної для порівняння (порівняльний вимір).

Отже, **інформаційна модель проблемної ситуації** є описом семи характеристик, поданих у трьох вимірах. Відповідно такому опису класифікаційну таблицю (7x3) називають **ґратами інформаційної моделі** (ГІМ) проблемної ситуації.

Таблиця 9.1 - Характеристика проблемної ситуації

Характеристика проблемної ситуації (ПС)	Дескриптивне визначення характеристики ПС	Питання, відповідь на яке визначає шукану характеристику
Функція шуканого рішення	Характеристика шуканого стану ССО, за допомогою основної ознаки його настання	Для чого необхідно шукати рішення?
Початкові умови шуканого рішення	Ресурси ССО, що стосуються інтересів системи у зв'язку з даною ПС	Що є в ССО для вирішення даної ПС?
Кінцеві умови шуканого рішення	Форма (вид) шуканого рішення	Що потрібно для вирішення ПС?
Зв'язки	Схема зв'язку елементів ССО за наявністю і спрямованістю взаємодії між ними	Як пов'язані між собою умови шуканого рішення?
Зовнішнє середовище	Елементи середовища, що виступають як активні фактори, що впливають на перехід до шуканого стану.	За яких умов склалася ПС?
Умови перетворення	Умови переходу ССО у шуканий стан, дотримання яких обов'язково при будь-якому рішенні.	Які обмеження наявні щодо шуканого рішення?
Суб'єктивний фактор	Характеристика ОПР і ОПР в інших ССО, що безпосередньо впливають на виникнення і ліквідацію ПС	Хто буде забезпечувати вирішення ПС?

Інформаційна модель проблемної ситуації - головний момент у процесі ухвалення рішення. Вона створює інформаційну основу для вирішення

проблеми, що стоїть перед організацією.

На етапі формування інформаційної моделі ОПР прагне до граничної об'єктивності своїх уявлень. Вичерпавши на цьому етапі можливості формування своїх знань про проблему, ОПР переходить до їх реконструкції з урахуванням інтересів організації. Так формується **постановка проблеми**, що представляє собою перебудову отриманої інформаційної моделі в модель, що враховує суб'єктивні уявлення ОПР. Процес постановки проблеми складається з наступних кроків:

крок 3.1 - формування цілей прийняття рішень;

крок 3.2 - розподіл цілей на критерії й обмеження;

крок 3.3 - формування проблеми.

Крок 3.1. Формування цілей прийняття рішень. Усяка кількісно виміряна умова, якій має відповідати шукане рішення, являє собою ціль шуканого рішення. Виявлення цілей відбувається на основі аналізу інформаційної моделі проблемної ситуації.

Цілями можуть бути функціональні характеристики проблеми, тобто ті, що потрібно одержати, а також ті, що зазвичай вважаються умовами функціонування. У будь-якій проблемі список цілей диктується об'єктивними умовами, при цьому дуже важливим є виділення повного списку цілей, що характеризують проблему.

За кожною умовою виявляється граничне значення, яке може отримати відповідний параметр. Ціль може мати жорсткий характер, встановлюючи відповідність між кількісно виміряною умовою і відповідним параметром рішення у виді рівності. Ціль може мати м'який характер, визначаючи лише верхню або нижню границі (або обидві) виміру відповідного параметра шуканого рішення. Математично це приймає форму нерівності.

Усі ці характеристики описують умови, в яких приймаються рішення, тобто визначають простір рішень або область припустимих дій.

Альтернативний варіант рішення, що забезпечує "поліпшення" усіх цілей у заданих інтервалах, називається припустимим рішенням. Таким чином, на цьому кроці формується область припустимих значень альтернативних варіантів або множина припустимих рішень.

Крок 3.2. Розподіл цілей на критерії та обмеження. Для порівняння доступних (припустимих) альтернативних варіантів рішень необхідний критерій. Вибір критерію здійснюють шляхом поділу цілей на дві частини: критерії та обмеження.

Обмеження - умова, що повинна бути виконана в ході прийняття і реалізації рішення. Вона може бути встановлена як параметр або змінна, як деякий принцип або пропозиція. Обмеження можуть бути організаційними, інформаційними, техніко-економічними, ресурсними тощо.

Обмеження можуть бути як внутрішніми, так і зовнішніми. Внутрішніми обмеженнями можуть бути продуктивність устаткування, наявність робочої сили, наявність необхідної інформації та ін. Зовнішніми обмеженнями можуть бути планові показники, умови постачання сировини, технічні умови тощо.

Будь-яка мета, сформована на попередньому кроці, одночасно є

обмеженням, тому що вихід будь-якої характеристики за встановлені границі інтервалу робить рішення неприпустимим. Частина цілей використовується ОПР як індикатор порівняння між собою доступних дій, тобто ці цілі виступають у ролі критеріїв.

Критерій - це деяка функція від прийнятого рішення, що дозволяє кількісно оцінити його доцільність. Відповідно до обраного критерію альтернативи розташовуються в порядку їхньої переваги. Як критерій вибираються головні цілі, тобто ті, досягнення яких найбільшою мірою сприяє задоволенню інтересів організації.

Якщо список цілей визначається об'єктивними умовами, то розподіл цілей на критерії й обмеження являє собою суб'єктивний момент постановки задачі. Цей суб'єктивний момент залежить від того, наскільки глибоко ОПР розуміє суть того процесу, з яким має справу.

Крок 3.3. Формування проблеми (задачі). Постановка проблеми припускає не тільки фіксацію критеріїв та обмежень, але і вибір форми їхнього подання. У загальному виді задача формулюється в такий спосіб: "Досягти заданих значень критеріїв за умови досягнення всіх поставлених цілей, тобто за умови виконання всіх обмежень". Якщо вдається обрати єдину характеристику шуканого рішення як критерій, значення якого потрібно максимізувати або мінімізувати, то інформаційна модель проблемної ситуації перетворюється на екстремальну задачу: "Максимізувати (мінімізувати) значення критерію за умови виконання всіх обмежень".

За принципом розглядання і розв'язання всі задачі можна розділити на такі, що формалізуються, тобто базуються на використанні аналітичного типу мислення, на використанні існуючих точних методів, і такі, що не формалізуються, розв'язання яких базується на творчому підході і мисленні.

Четвертий, заключний етап містить у собі наступні кроки:

крок 4.1 - вибір методу розв'язання;

крок 4.2 - формування альтернативних варіантів рішення;

крок 4.3 - вибір альтернативного варіанту рішення для реалізації.

Крок 4.1. Вибір методу рішення. ОПР прагне прийняти рішення на основі минулого досвіду, використовуючи відомі їй методи. Якщо ці методи виявляються неадекватними поставленій задачі, розшукується новий метод (або переглядається сама задача).

Методи прийняття рішень були розглянуті у п. 7.3. Зазначимо, що вибір методу нерозривно пов'язаний з постановкою задачі. З одного боку, метод вирішення проблеми в істотній мірі визначається її постановкою. З іншого боку, постановка проблеми в тій або іншій формі визначає наявність того або іншого методу її вирішення. Велике значення при виборі методу мають умови, в яких приймаються рішення. Так, при рішенні задач в умовах визначеності найбільш успішно може застосовуватися математичне програмування. При вирішенні задач в умовах ризику використовуються методи, засновані на таких розділах математики, як теорія ймовірностей і математична статистика. У випадку вирішення проблеми в умовах невизначеності можна використовувати один з кількох відомих підходів, кожний з яких приводить до свого результату.

При цьому виникає проблема вибору підходу до вирішення проблеми в умовах невизначеності. Цю проблему кожен керівник вирішує сам.

Крок 4.2. Формування альтернативних варіантів рішення. Кількість варіантів для слабоструктурованих проблем або проблем з великим ступенем невизначеності може бути необмеженою. Якщо всі можливі альтернативи не можуть бути розглянуті, то кращого рішення проблеми можна і не знайти. Тому часто відшукується не найкраще рішення проблеми, а за можливістю краще. Проте і таке рішення виявляється важко знайти при вирішенні складних комплексних проблем.

Розглянемо можливі шляхи пошуку такого роду рішень. В усьому різноманітті альтернатив виділяються дві крайні. Завдання полягає в тому, щоб обрати для аналізу кілька альтернатив, серед яких має відшукатися за можливістю краще рішення.

Як крайні альтернативи можуть бути обрані наступні: а) нічого не починати і дати подіям розвиватися природним шляхом; б) кинути всі сили на усунення проблемної ситуації (вирішити її за будь-яку ціну). У більшості випадків ні те, ні інше рішення не є кращим. Оптимальне рішення знаходиться між ними. Питання про те, скільки альтернатив треба досліджувати і порівняти - це справа часу і засобів, відведених на вирішення проблеми. Вважається, що п'ять альтернатив дозволяють знайти задовільне рішення.

Крок 4.3. Вибір альтернативного варіанту рішення для реалізації. Якщо використовуваний метод не забезпечує вибору єдиного (оптимального) рішення, то виникає задача вибору альтернативного варіанту рішення серед певної їхньої кількості, сформованої на попередньому кроці. В основі вибору лежить виявлення та оцінка переваг і недоліків аналізованих альтернатив.

При виборі варіанта дуже важливо зіставити короткострокові результати рішення та його довгострокові наслідки. Вони можуть істотно розрізнятися як за своїм ефектом, так і за витратами. Часто негайні результати і довгострокові результати знаходяться в конфлікті один з одним, тому необхідний компроміс.

Необхідність компромісу пов'язана також з багатокритеріальністю і невизначеністю. Тому задача вибору альтернативного варіанта рішення часто стає задачею розробки компромісного варіанта з урахуванням переваг і недоліків проаналізованих варіантів рішення.

На цьому процес ухвалення рішення закінчується і починається процес його реалізації, який якісно відрізняється від першого тим, що в першому випадку основним предметом праці є інформація, у другому – матеріальні та енергетичні ресурси.

Переваги розглянутої процедури ухвалення рішення полягають у наступному. У її основі лежать два ведучі принципи системного підходу: принцип системності і принцип інваріантності. Перший виражається в тому, що насамперед визначається функція шуканого рішення, а також формується цілісна модель проблемної ситуації. Другий полягає у розробці класифікації даних, що не залежать від конкретного типу проблемної ситуації, будь то невиконання плану або необхідність перевезти вантаж. Окрім того, тут можливе використання концепції пошуку ідеалу. Використання цих принципів зумовлює корінну відмінність, що одночасно є перевагою описаної процедури

прийняття рішення. Відмінність стосується двох основних моментів:

- описана процедура прийняття господарських рішень починається з виявлення необхідності та призначення або змісту прийняття рішення, у той час як інші з видимої очевидності цих характеристик пропонують почати з виявлення цілей, критеріїв, з постановки задачі, з розробок альтернатив та ін., тобто з того, що в описаній тут процедурі робиться лише на третьому етапі;
- в описуваній процедурі інформація збирається до того, як сформульована задача, в інших же процедурах постановка задачі і збір інформації утворюють цикли. Це пов'язано з тим, що задача не може бути вирішена і поставлена без інформації, але з іншого боку – достаток інформації вимагає її цілеспрямованого відбору, що забезпечується постановкою задачі. В описаній вище процедурі цілеспрямованість відбору інформації забезпечується розробленою формою подання інформації - ґратами інформаційної моделі проблемної ситуації.

Отже, процедура ухвалення рішення, що описана вище, сприяє більш глибокому проникненню в сутність проблеми і підвищенню організованості системи за рахунок скорочення повторюваних (циклічних) зв'язків між співвиконавцями та ін.

Запитання для самоконтролю

1. Надайте визначення поняттю "проблема".
2. Наведіть приклади класифікацій проблем.
3. Які ознаки системної проблеми?
4. Дайте пояснення виразу "проблема – це система".
5. Які принципи СА застосовують при аналізі проблем?
6. Які основні етапи вирішення проблеми?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ І РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Основні джерела

- 1.1. *Абовский Н. П.* Творчество: системный подход, законы развития, принятие решений [Текст] / Н. П. Абовский. – М. : СИНТЕГ, 1998. – 312 с.
- 1.2. *Антонов А. В.* Системный анализ [Текст] : учебн. для вузов / А. В. Антонов. - М.: Высш. шк., 2004. - 454 с.
- 1.3. *Анфилатов В. С.* Системный анализ в управлении [Текст]: учеб. пособие / В. С. Анфилатов, А. А. Емельянов, А. А. Кукушкин; Под ред. А. А. Емельянова. - М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
- 1.4. *Бродский В. З.* Введение в факторное планирование эксперимента [Текст] / В.З. Бродский. – М.: Наука, 1976, 225 с.
- 1.5. *Гайдес М. А.* Общая теория систем (системы и системный анализ) [Текст] / М. А. Гайдес. – М.: Глобус-Пресс, 2005. – 202 с.
- 1.6. *Горелик О. М.* Системный анализ в сфере сервиса [Текст] : учеб. пособие / О. М. Горелик, С. Б. Волохин. - Тольятти: Изд. ПТИС, 2000. – 140 с.
- 1.7. *Налимов В. В., Голикова Т.И.* Логические основания планирования эксперимента [Текст] / В. В. Налимов. - М., "Металлургия", 1976, 128 с.
- 1.8. *Мирзоев Р. Г.* Основные процедуры системных исследований [Текст] : учеб. пособие. / Р. Г. Мирзоев, А. Ф. Харченко. - СПбГУАП, СПб., 2000. - 180 с.
- 1.9. *Рузинов Л. П.* Планирование эксперимента в химической технологии [Текст] / Л.П. Рузинов, Р.И. Слободчикова. - М., Химия, 1980, 279 с.
- 1.10. *Тарасенко Ф. П.* Прикладной системный анализ (Наука и искусство решения проблем) [Текст] : учебник / Тарасенко Ф. П. - Томск, Изд-во Том. ун-та, 2004. - 186 с.
- 1.11. *Черняк Ю. И.* Системный анализ в управлении экономикой [Текст] / Ю. И. Черняк. - М.: Экономика, 1975. – 191 с.

2. Интернет ресурси

- 2.1. Сайт "Теория систем и системный анализ" [Электрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://tsisa.ru/>.
- 2.2. Сайт Віктора Сафронова " [Электрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://victor-safronov.narod.ru/>.

Навчальне видання

**ОХРИМЕНКО Вячеслав Миколайович,
ВОРОНКОВА Тетяна Борисівна**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

**"ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
ТА СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ"**

*(для студентів ЦПО і ЗН освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр
напрямку підготовки 6.060101 Будівництво та слухачів другої вищої освіти
спеціальності 7.06010103 Міське будівництво та господарство)*

Відповідальний за випуск *А. І. Кузнецов*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2012, поз. 203Л

Підп. до друку 04.01.2013

Формат 60×84/16

Друк на ризографі.

Ум. друк. арк. 7,0

Зам. №

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4064 від 12.05.2011 р.