

**Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет**

О. Медведєва, В. Кропівний, Т. Мірзак, Я. Немировський

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЯКОСТІ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

**Навчальний посібник для студентів
спеціальності 101 Екологія**

2021

УДК 303.732.4

Рекомендовано Вченою радою Центральноукраїнського національного технічного університету (протокол № 6 від 26.01.2021 р.)

Рецензенти:

- доктор біологічних наук, професор Гулай О.В. (Центральноукраїнський державний педагогічний університет ім. В. Винниченка);
- доктор біологічних наук, професор Топольний Ф.П. (Центральноукраїнський національний технічний університет)

О. Медведєва, В. Кропівний, Т. Мірзак, Я. Немировський. Системний аналіз якості навколишнього середовища. Навчальний посібник для студентів спеціальності 101 Екологія. – Кропивницький: 2021. – 80 с.

Для студентів спеціальності 101 – екологія

У навчальному посібнику викладено основні теоретичні положення дисципліни «Системний аналіз якості навколишнього середовища», розглянуто особливості здійснення системного аналізу та основи моделювання і прогнозування екологічних процесів.

Посібник буде корисним здобувачам вищої освіти другого (магістерського) рівня, а також іншим науковцям, що здійснюють екологічні дослідження.

© Центральноукраїнський національний технічний університет, 2021

© Медведєва О., Кропівний В., Мірзак Т., Немировський Я.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
Розділ 1. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ	8
1.1. СИСТЕМНИЙ ПІДХІД І МОДЕЛЮВАННЯ В ЕКОЛОГІЇ	8
1.1.1. Поняття про системний підхід і системи	8
1.1.2. Поняття про моделі й моделювання	9
1.1.3. Математичні моделі екосистем	13
1.2. ПОНЯТТЯ ЗАГАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ СИСТЕМ І СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ	14
1.2.1. Проблеми прийняття рішень	14
1.2.2. Причини, що визначають системні дослідження	15
1.2.3. Принципи системного підходу	16
1.3. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ	19
1.3.1. Визначення системного аналізу	19
1.3.2. Об'єкт системного аналізу	20
1.3.3. Особливості проведення системного аналізу	21
1.4. ПРОЦЕС СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ	26
1.4.1. Етапи процесу системного аналізу	26
1.4.2. Змістовна сторона системного аналізу	27
1.5. ЕКСПЕРТНІ ОЦІНКИ В СИСТЕМНОМУ АНАЛІЗІ	28
Розділ 2. ПОНЯТТЯ ПРО СИСТЕМУ	34
2.1. Основні системні поняття	34
2.1.1. Поняття про систему	34
2.1.2. Основні частини системи	35
2.1.3. Компоненти системи	36
2.1.4. Характеристика відносин і поведінки систем	38
2.2. БІОЛОГІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ	40
2.2.1. Біологічні системи	40
2.2.2. Особливості біологічної системи	43
2.2.3. Регуляція біосистем.....	46
2.2.4. Екологічні системи. Місце екології серед інших біологічних наук. Сучасний стан екології	49
2.2.5. Стан біологічних і екологічних систем. Зміна стану системи: криза, катастрофи, катаклізми	53
Розділ 3. МОДЕЛІ ТА МОДЕЛЮВАННЯ	55
3.1. Загальні відомості про моделі і моделювання	55
3.1.1. Модель. Суть, розвиток та основні функції моделювання	55
3.1.2. Вимоги, що пред'являються до моделей	56
3.1.3. Класифікація та типи моделей	58
Розділ 4. ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ В ОХОРОНІ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	62
4.1. Моделювання та прогнозування глобальних процесів.	62
4.1.1. Римський клуб, його історія, проекти. Моделі світової системи. Розвиток	

моделей світової системи і їх застосування.....	62
4.1.2. Системний підхід до моделювання світових екологічних проблем	64
4.1.3. Елементи моделювання в доповіді Римського клубу «Межі росту».	73
4.1.4. Глобальне моделювання	79
Список використаної літератури	85

ВСТУП

Вивчення дисципліни «Системний аналіз якості навколишнього середовища» є необхідним елементом у процесі підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня (ОКР) «магістр» зі спеціальності 101- Екологія.

Ця навчальна нормативна дисципліна належить до циклу професійної підготовки.

Вивчення дисципліни «Системний аналіз якості навколишнього середовища» базується на знаннях, отриманих з таких навчальних дисциплін: «Загальна екологія та неоекологія», «Моніторинг довкілля», «Техноекологія», «Заповідна справа», «Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище», «Екологічна експертиза, стандартизація та сертифікація», «Екологічна статистика», а отримані знання будуть використовуватись у подальшому при вивченні інших дисциплін ОП «Екологія», а також у процесі підготовки кваліфікаційної роботи.

Метою вивчення дисципліни «Системний аналіз якості навколишнього середовища» є формування знань про: системний аналіз якості довкілля; планування методики досліджень на основі екосистемного підходу; дослідження систем різного рівня складності, які є об'єктом вивчення при вирішенні практичних завдань щодо охорони навколишнього середовища.

Після освоєння дисципліни «Системний аналіз якості навколишнього середовища» студенти повинні:

- *знати*: принципи застосування системного аналізу у наукових екологічних і природоохоронних дослідженнях.

- *вміти*: застосувати принципи системного аналізу при оцінці якості навколишнього середовища, оцінювати стан і якість компонентів навколишнього середовища, застосувати сучасні методи захисту довкілля, впроваджувати методи екологізації у всіх сферах діяльності людини.

Проблеми взаємодії людини з біосферою завжди носять системний, міждисциплінарний характер. У дослідженнях цих проблем не обійтися без професійного використання методів обробки інформації, методів визначення ризиків в дослідженні стійкості біоценозів по відношенню до антропогенних впливів.

З одного боку, проблеми екології - це проблеми природничо-наукові та соціальні, які не можна розділити, з іншого - проблеми екології вимагають від дослідника прийняття рішень, які адаптують людську діяльність до природних циклів колообігу речовин у природі.

Наука вступила в ту фазу свого розвитку, коли доводиться мати справу з явищами не просто складними, а комплексними, що лежать в різних областях знання. Розвиток фізики, математики, хімії та інших наук підготував ґрунт до комплексного дослідження проблем. Це знайшло своє відображення в створенні нової технології досліджень - системному підходу, системного аналізу процесів і явищ.

Всупереч уявленню багатьох екологів системний аналіз - це не якийсь математичний метод і навіть не група математичних методів. Системний аналіз - це стратегія наукового пошуку, яка використовує математичні методи і моделі, але в рамках систематизованого наукового підходу до вирішення складних проблем. По суті, системний аналіз таким чином організовує наші знання про об'єкт, що полегшує вибір потрібної стратегії або передбачення результатів тієї чи іншої стратегії для прийняття певного рішення.

Основне завдання системного аналізу можна визначити як вибір оптимальної стратегії управління об'єктами матеріального світу.

У найзагальнішому вигляді задачу управління можна трактувати як вибір одного рішення з безлічі альтернатив. Однак зустрічаються настільки складні проблеми, коли людина, що приймає рішення, має сумніви в правильності свого вибору. Такі сумніви і є підставою для спроб наукового обґрунтування прийняття рішення, тобто застосування методів системного аналізу.

Пристаючи до вивчення курсу «Системний аналіз якості навколишнього середовища», слід мати на увазі деякі відмінності цього курсу від більшості навчальних дисциплін. Зазвичай навчальна дисципліна пов'язана з тим чи іншим розділом науки (хімією, фізикою, ґрунтознавством), і її зміст визначається необхідністю викладу закономірностей, які характерні для досліджуваної групи об'єктів або явищ. Самі ж об'єкти і явища, що вивчаються в рамках окремих дисциплін, групуються за тим або іншим принципом, що об'єднує ці об'єкти або явища.

Завдання виявлення і опису властивостей досліджуваного об'єкта є одним із завдань системного аналізу, однак, сукупність досліджуваних властивостей в цьому випадку визначається властивостями самого об'єкта і завданнями дослідження. Ця обставина визначає міждисциплінарний характер системних досліджень. Крім того, власне опис об'єкта дослідження є не стільки метою, скільки засобом системного аналізу, оскільки опис зазвичай використовується для вибору тих чи інших управлінських рішень щодо об'єкта дослідження, тобто рішень, що переслідують певні цілі.

З цієї точки зору виконання системного аналізу можна уявити як послідовність, першим кроком якої є створення математичної моделі досліджуваного об'єкта, другим - визначення мети (бажаних характеристик об'єкта), а третім - рішення математичної задачі пошуку умов, при яких досягається поставлена мета. Іншими словами, в ході системного аналізу вирішуються три питання:

З чим маємо справу?

Чого хочемо?

Як отримати бажане?

Попередником системного аналізу прийнято вважати теорію прийняття рішень, розвиток якої визначався, з одного боку, розвитком математичного апарату, появою

прийомів формалізації, а з іншого - новими завданнями, що виникали в промисловості, військовій справі і економіці. Особливо бурхливий розвиток теорії прийняття рішень почався після п'ятдесятих років, коли на основі теорії ефективності, теорії ігор, теорії масового обслуговування з'явилася синтетична дисципліна - «дослідження операцій».

Іншим науковим напрямком, результати якого широко використовуються в системному аналізі, є теорія управління. Розвитку цього наукового напрямку сприяло створення на початку XX століття складних технічних систем і прагнення до автоматизації роботи цих систем.

Системний аналіз в його сучасному вигляді виявився синтезом теорії дослідження операцій і теорії управління.

Сьогодні системний аналіз - це велика синтетична дисципліна, що включає в себе цілий ряд розділів, що носять характер самостійних наукових дисциплін.

Однією зі сфер застосування системного аналізу є управління екологічними системами.

У навчальному посібнику викладено теоретичну частину дисципліни «Системний аналіз якості навколишнього середовища».

Розділ 1. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ

1.1. СИСТЕМНИЙ ПІДХІД І МОДЕЛЮВАННЯ В ЕКОЛОГІЇ

1.1.1. Поняття про системний підхід і системи

1.1.2. Поняття про моделі й моделювання

1.1.3. Математичні моделі екосистем

1.1.1. Поняття про системний підхід і системи

Системний підхід в екології зумовив формування цілого напрямку, який став її самостійною галуззю - системної екологією.

Системний підхід - це напрям в методології пізнання об'єктів як систем.

Система - це безліч взаємодіючих і взаємопов'язаних елементів (компонентів), що утворюють єдине ціле (певну цілісність).

Основними елементами системи є компоненти, зв'язки, межі. Її склад, структуру і властивості вивчають за допомогою системного аналізу, що є основою системного підходу і являє собою сукупність методологічних засобів, що використовуються для вирішення складних наукових проблем. У цю сукупність засобів входить комплекс методів від простих описових і логічних до досить складних, математичних.

Технічною основою системного аналізу є сучасні ЕОМ і інформаційні системи з широким використанням методів математичного програмування, теорії ігор тощо. Основними *системними принципами* є: цілісність, структурність, взаємозалежність системи і середовища, ієрархічність, множинність опису кожної системи.

Цілісність - узагальнена характеристика, властивості якої не зводяться до суми властивостей її елементів і не виходять з цих властивостей (цілісність організмів буде повніше в популяції, популяції - в біоценозі тощо і властивості кожної системи не зводяться до властивостей нижче розташованих).

Структурність - встановлення структури і взаємозалежності структурних елементів, обумовленості поведінки системи її структурою (структура біоценозу, трофічна структура екосистеми і встановлення зв'язків між трофічними рівнями тощо).

Взаємозалежність системи і середовища виражається в формуванні і прояві її властивостей в результаті цієї взаємодії (взаємодія біоценозу і біотопу, популяцій в біоценозі).

Ієрархічність - це коли кожен компонент системи розглядається як самостійна система, а сама досліджувана система є складовою частиною більш широкої системи (рівні біологічної організації, аж до глобальної системи - біосфери).

В цілому, екосистеми - це складні самоорганізовані і цілеспрямовані, зі

складною ієрархічною структурою системи, що вимагають великої кількості описів кожної підсистеми, що вимагає побудови безлічі моделей, тобто широкого використання методів моделювання при дослідженні.

1.1.2. Поняття про моделі й моделювання

Побудова узагальнених моделей, що відображають всі фактори і взаємозв'язки в системі, є центральною процедурою системного аналізу.

Поняття «модель» широко використовується, наприклад, на побутовому рівні: модель літаків, кораблів, автомобілів тощо. Якщо ці моделі не діють, то вони відображають тільки морфологічні особливості об'єкта, а вже знання цих особливостей дозволяє людині, якщо він раніше не бачив оригінал, дізнатися цей оригінал по моделі. Отже, лише частина властивості об'єкта дозволяє судити про об'єкт в цілому, в даному випадку - про форму об'єкта. Щось схоже відбувається і при наукових дослідженнях.

Традиційна схема наукового дослідження: дослідник - об'єкт.

Дослідник отримує інформацію шляхом безпосереднього вивчення об'єкта. Наприклад, біолог вивчає видовий склад фітопланктону під мікроскопом. Таке можливо лише на досить простих об'єктах, але не при дослідженні цілісної (загальною) структури екосистеми, взаємодії її компонентів. В цьому випадку необхідно моделювання, при якому працює схема: дослідник - модель - об'єкт вивчення.

Таким чином, щоб отримати уявлення про енергетичні потоки в екосистемі, необхідно уявити собі модель в вигляді піраміди енергій або хоча б піраміди Елтона. Тут з'являється проміжний (допоміжний) об'єкт вивчення - модель.

Модель - це допоміжний об'єкт, що знаходиться в певній об'єктивній відповідності до оригіналу і здатний заміщати його на окремих етапах пізнання.

Моделювання - це розробка, дослідження моделі і поширення модельної інформації на оригінал. Переваги моделювання виявляються в тих випадках, коли можливості традиційного підходу виявляються обмеженими. Саме такою областю пізнання є екологія.

Модель повинна відповідати двом вимогам:

- 1) повинна відображати лише ті особливості оригіналу, які виступають в якості предмета пізнання;
- 2) повинна бути адекватна оригіналу (інакше уявлення про нього будуть спотворені).

Сам процес моделювання можна розділити на 4 етапи: якісний аналіз, математична реалізація, верифікація та вивчення моделей (рис. 1).



Рис.1. Процес моделювання екосистем

Перший етап моделювання - якісний аналіз - є основою будь-якого моделювання. На його основі формуються завдання і вибирається вид моделі. Цей етап забезпечує відповідність моделі двом вищезазначеним вимогам. Вид моделі вибирається виходячи зі способу побудови, характеру самого об'єкта та ін.

Перший етап побудови моделі припускає наявність деяких знань про об'єкт-

оригінал. Пізнавальні можливості моделі обумовлюються тим, що модель відображає (відтворює, імітує) будь-які суттєві риси об'єкта-оригіналу.

За способом побудови всі моделі ділять на два класи: матеріальні і абстрактні.

Матеріальні моделі по своїй фізичній природі схожі з оригіналом. Вони можуть зберігати геометричну подібність оригіналу (макети, тренажери, штучні замінники органів тощо), подібність фізичних процесів з оригіналом - фізичне моделювання (гідрологічна модель - течія води тощо) і можуть бути природними об'єктами прообразами оригіналу, тобто натурними моделями (метод пробних ділянок).

Матеріальні моделі використовуються зазвичай в технічних цілях і мало підходять для екологічних проблем.

Більш придатними для екологічного моделювання є абстрактні моделі, що представляють собою опис оригіналу в словесній формі або за допомогою символів і операцій над ними, що відбивають досліджувані особливості оригіналу.

Абстрактні моделі поділяються на три типи: вербальні, схематичні і математичні.

Вербальні моделі - це формалізований варіант традиційного природничо-наукового опису у вигляді тексту, таблиць та ілюстрацій.

Схематичні моделі розробляються у вигляді різних схем, малюнків, графіків і фотографій. Основні їхні переваги - наочність, інформативність і простота побудови (трофічні ланцюги, піраміда Елтона, схеми структури, динаміки і енергетики екосистем, впливу екологічних факторів, біохімічних кругообігів і ін.).

Вербальні та схематичні моделі - невід'ємна частина якісного аналізу математичного моделювання, що є найбільш досконалим видом кількісного дослідження оригіналу, що дозволяє побудувати його математичну модель.

Математична модель - це математичний опис оригіналу, що відбиває його цілісність, структуру, динаміку, функціонування та взаємозв'язку оригіналу, зовнішніх і внутрішніх факторів впливу. Це означає, що практично така модель є формулою або системою рівнянь і нерівностей.

За своїм характером виділяють моделі статичні і динамічні.

Статична модель відображає об'єкт (систему), що не змінює свій стан у часі, а *динамічна модель* відображає об'єкт (систему), що змінює свій стан у часі.

Переважає більшість живих об'єктів і систем - це динамічні системи і можуть бути відображені тільки динамічними моделями.

На другому етапі модель виступає як самостійний об'єкт дослідження. Однією з форм такого дослідження є проведення "модельних" експериментів, при яких свідомо змінюються умови функціонування моделі і систематизуються дані про її "поведінку". Кінцевим результатом цього етапу є безліч (сукупність) знань про моделі.

Другий етап моделювання - це математична реалізація логічної структури моделі. З точки зору технології застосування математичних методів можна виділити моделі аналітичні та чисельні (комп'ютерні).

Аналітична модель - це побудова теоретичних концепцій з застосуванням математичного апарату, що зазвичай дозволяє вивести загальну формальну залежність.

Чисельні (комп'ютерні) моделі П.М. Брусилівський і Г.С. Розенберг (1981) ділять на імітаційні та самоорганізовані.

Імітаційні моделі відображають уявлення дослідника про взаємозв'язки в екосистемі, і як вони реалізуються. Вони не просто відображають реальність з тим або іншим ступенем точності, а імітують її. Ці моделі дозволяють скласти прогноз змін в екосистемі.

Самоорганізовані моделі відносяться до класу регресійних рівнянь, в них широко використовуються ймовірностно-статистичні методи розрахунків.

Третій етап моделювання передбачає верифікацію моделі - перевірку відповідності моделі оригіналу. На даному етапі необхідно упевнитися, що обрана модель відповідає вищезгаданій другій вимозі: адекватно відображає особливості оригіналу. Для цього може бути проведена емпірична перевірка - порівняння отриманих даних з результатами спостережень за оригіналом. Модель може бути визнана високоякісною, якщо прогнози справджуються. При відсутності емпіричних даних проводиться теоретична верифікація - з теоретичних уявлень визначається область застосування і прогностичні можливості моделі.

Четвертий етап моделювання - це вивчення моделі, експериментування з моделлю і екологічна інтерпретація модельної інформації. Це практична перевірка отриманих за допомогою моделей знань та їх використання для побудови узагальнюючої теорії об'єкта, його перетворення і управління ім.

Основна мета етапу - виявлення нових закономірностей і дослідження можливостей оптимізації структури та управління поведінкою, що моделюється, а також придатність моделі для моделювання.

Моделювання - циклічний процес. Це означає, що за першим чотирьохетапним циклом може відбутися другий, третій тощо. При цьому знання про досліджуваний об'єкт розширюються і уточнюються, а вихідна модель поступово вдосконалюється. Недоліки, виявлені після першого циклу моделювання, зумовлені малим знанням об'єкта або помилками в побудові моделі, можна виправити в наступних циклах.

Зараз важко вказати область людської діяльності, де не застосовувалося б моделювання. Розроблено, наприклад, моделі виробництва автомобілів, функціонування окремих органів людини, життєдіяльності Азовського моря, наслідків атомної війни. У перспекви для кожної системи можуть бути створені свої моделі; перед реалізацією кожного технічного або організаційного проекту має проводитися моделювання.

1.1.3. Математичні моделі екосистем

В екології математичні моделі поділяються на моделі популяційного, біоценотичного і екосистемного рівнів (рис. 2).

Популяційні моделі описують особливості окремих популяцій і відображають їх властивості та внутрішні закономірності: моделі, що дозволяють оцінити динаміку чисельності та вікового складу популяцій залежно від народжуваності і смертності, заданих як функції лише від загальної щільності та вікового складу популяцій.

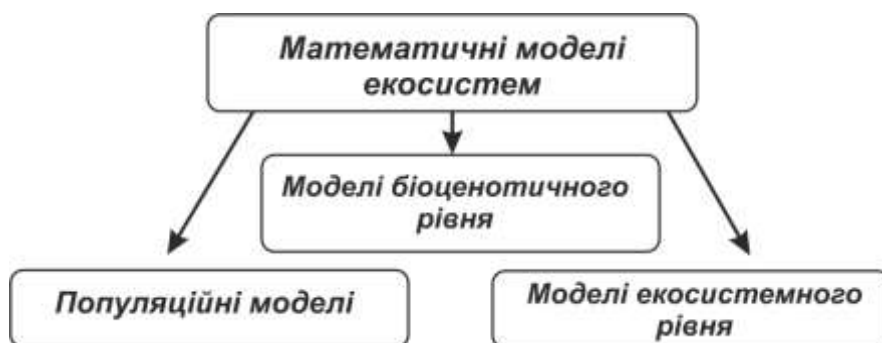


Рис.2. Напрямок математичних моделей

Моделі *біоценотичного* рівня задаються як системи рівнянь, що відображають динаміку біоценозу як функцію щільності складових його популяцій.

Моделі *екосистемного* рівня представляють собою системи рівнянь, в число аргументів яких включені як внутрішні змінні стану, так і зовнішні чинники впливу і цілісні властивості екосистем. Моделі даного рівня враховують і роль зворотних зв'язків у функціонуванні систем.

При побудові будь-якої моделі головне завдання - створити модель достатньої повноти. Для цього необхідно прагнути врахувати всі суттєві чинники, що впливають на розглянуті явища; приділити увагу наявності в ній суперечливих елементів, як однієї з ознак повноти моделі; врахувати можливість появи невідомих чинників, щоб в разі необхідності доповнити модель новим елементом.

Біологія - одна з перших наук, в якій пріоритетне значення набув системний підхід у вивченні природи, вперше в науковій формі використаний Ч. Дарвіном. Особливо широко використовуються системні ідеї в екології. На нову, більш високу ступінь ідеї системного підходу поставлені в ученні В.І. Вернадського про біосферу і ноосферу, де науковому пізнанню запропоновано новий тип об'єктів - глобальні системи.

Такою глобальною системою і є біосфера, що об'єднує на основі ієрархічного принципу все екосистеми Землі більш низьких рівнів.

Контрольні питання

Поясніть і дайте відповідь на наступні питання:

1. Що розуміється під екосистемою?
 2. Дайте визначення поняттям «система», «системний підхід», «системний аналіз», «предмет системного аналізу».
 3. Що є технічною основою системного аналізу?
 4. Назвіть основні системні принципи.
 5. Поясніть поняття «модель», «моделювання».
 6. Яким вимогам повинна відповідати модель?
 7. Назвіть етапи процесу моделювання.
 8. Як підрозділяються моделі за способом побудови?
 9. Як підрозділяються моделі за своїм характером?
 10. Які моделі за способом побудови використовуються при екологічному моделюванні?
 11. На які типи поділяються абстрактні моделі?
 12. Що розуміється під терміном «Системна екологія»?
- Побудуйте схеми:
- процесу моделювання за етапами;
 - процесу математичного моделювання екосистем.

1.2. ПОНЯТТЯ ЗАГАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ СИСТЕМ І СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ

- 1.2.1. Проблеми прийняття рішень
- 1.2.2. Причини, що визначають системні дослідження
- 1.2.3. Принципи системного підходу

1.2.1. Проблеми прийняття рішень

Звертаючись до історії розвитку людського суспільства, можна з повною підставою стверджувати, що вона нерозривно пов'язана з пошуком найбільш раціональних форм діяльності, з вибором правильних рішень, прийнятих в різних конкретних ситуаціях, які на різних історичних етапах були принципово різними.

В той же час, незважаючи на істотну різницю між кількістю поставлених завдань, пов'язаних з прийняттям правильних рішень, простежується одна загальна риса, яку всі ці завдання мають: так чи інакше вони пов'язані з цілеспрямованою діяльністю людини. Проблема прийняття рішень завжди відігравала особливу роль в житті як окремої людини, так і суспільства в цілому. Без перебільшення можна стверджувати, що наше життя проходить в процесі прийняття рішень, в постійному виборі однієї з безлічі можливих дій в безперервно змінних ситуаціях.

При цьому, навіть в звичних, здавалося б простих ситуаціях, людина не завжди

впевнена у тому, що вибір вона зробила правильно, що прийняте рішення найбільш раціональне.

Положення суб'єкта, що приймає рішення, значно ускладнюється, коли ситуація визначається великою кількістю чинників і умов (нерідко суперечливого характеру), так що доводиться здійснювати нелегкий вибір однієї з практично необмеженої безлічі дій, можливих в даній ситуації. В цьому випадку у суб'єкта, що приймає рішення, не завжди є впевненість в тому, що його інтуїтивно зроблений вибір правильний, що обрана їм дія найбільш раціональна.

Проблема прийняття рішень хвилювала людину постійно.

З незапам'ятних часів, для спрощення проблеми прийняття рішень, використовувався набір правил, що передається з покоління в покоління і який відбиває людський досвід в різних областях діяльності, який полегшував вибір дій в тій чи іншій ситуації. Однак, незважаючи на те, що правила і їх набори постійно вдосконалювалися, такий підхід не знижував гостроти проблеми вибору.

Особливу значущість проблема прийняття рішень придбала в XX і початку XXI ст. Стрімкий розвиток і вдосконалення техніки і технології виробництва, створення складних технічних систем і великих виробничих комплексів, зміни соціально-економічного характеру, розширення масштабів взаємодії суспільства з навколишнім природним середовищем радикально ускладнюючи існуючі ситуації і породжуючи інші, все більш складні, об'єктивно зумовили формування нового підходу до проблеми прийняття рішень.

Такий підхід народжувався протягом багатьох десятиліть, синтезуючи результати праці фахівців в різних областях наукового пізнання.

Численні спроби побудови нових підходів до вивчення складних об'єктів, характерні для науки XX і XXI ст. призвели до створення загальної теорії систем. Ця теорія вперше була сформульована у вигляді спеціальної концепції Людвігом фон Берталанфі. Відомий біолог спробував знайти щось спільне, що характерно для будь-яких складних форм організації матерії як біологічної, так і суспільної природи.

Подальші дослідження показали, що загальна теорія систем має величезне значення для загального уявлення про розвиток матеріального світу. Разом з тим, поняття «загальна теорія систем» не має чітко визначеного сенсу. З цієї причини в науковий обіг увійшли поняття «системний підхід», «системні дослідження», «системний аналіз», що відображають різноманіття конкретних форм і напрямків системних досліджень, орієнтованих на вироблення нового підходу до об'єктів дослідження. Це і зрозуміло, оскільки сутність системних досліджень полягає в необхідності «багатошаровості», «багатоповерховості» рівнів аналізу.

1.2.2. Причини, що визначають системні дослідження

Значення системних досліджень і проблематики загальної теорії систем визначається трьома основними причинами.

1. Більшість традиційних наукових дисциплін (природничих, технічних,

гуманітарних) значно змінили предмети свого вивчення, в якості яких тепер виступає безліч взаємопов'язаних елементів, що представляють собою єдині цілісні утворення, тобто системи і структури.

2. Технічний прогрес і автоматизація виробничих процесів призвели до того, що головними об'єктами сучасного технічного проектування і конструювання виявилися системи управління (великі системи), які за своєю структурою і процесом створення виступають у вигляді типових зразків системних об'єктів.

Це зумовило виникнення цілого комплексу нових дисциплін (біоніка, кібернетика, розпізнавання образів, теорія графів, теорія ділових ігор, теорія інформації, теорія масового обслуговування, евристичне програмування тощо), завдання яких - дослідження систем різного типу.

с . Широке впровадження в науку і техніку завдань системного аналізу та пов'язані з цим методологічні проблеми привели до появи ряду узагальнених концепцій, які прагнуть побудувати «загальну теорію систем», «системну науку», створити «методологію системного аналізу» тощо .

Особливо наочно проблеми відносин частин і цілого ставить життя у всьому різноманітті його взаємопов'язаних проявів. Наприклад, це закономірності біохімічних процесів в клітинах органу відповідно до його функцій; спільна діяльність тих чи інших органів у зв'язку з пристосувальною поведінкою організму; поведінка особи в залежності від умов існування виду; екологія виду в зв'язку з умовами існування окремого біоценозу або їх сукупності з процесами біосферного рівня тощо.

Саме системний підхід дозволяє розуміти будь-які явища життя у взаємозв'язку з різними рівнями її організації і з навколишнім середовищем.

В наш час антропогенне навантаження на природу постійно підвищується. Виникає об'єктивна потреба всебічного осмислення змін біосфери, що відбуваються при цьому. Це необхідно для вирішення практичних завдань раціонального використання ресурсного потенціалу біосфери і надійного прогнозування його наслідків.

Щоб зрозуміти закономірності безлічі взаємозв'язків різного рівня, що виникають в процесі взаємодії суспільства і природи, необхідний системний підхід, що дозволяє на основі знання загальних принципів організації та еволюції складних систем знаходити більш оптимальні рішення проблем біосфери.

1.2.3. Принципи системного підходу

В даний час спостерігається помітне розмаїття як в розумінні принципів системного підходу і статусу загальної теорії систем, так і в тлумаченні вихідних

понять. В.А. Черніков та ін. (2004) відзначають, що тільки визначень терміна «система» існує не менше сорока.

У змінній людиною частини біосфери - біотехносфері - важливе місце займають екосистеми, що вимагають науково обґрунтованого управління, сформованого на принципах системного підходу: системні дослідження, системний підхід і загальна теорія систем (рис. 3).



Рис.3. Принципи системного підходу

а. *Системні дослідження* - це сукупність наукових і технічних проблем, які при всій своїй специфіці і різноманітності подібні в розумінні і аналізі досліджуваних об'єктів з точки зору систем, які виступають як єдине ціле.

б. *Системний підхід* - це уявлення систем і способів дослідження об'єктів (опису, пояснення, передбачення, конструювання тощо). Наприклад, перш ніж приступити до розрахунків по визначенню ефективності проведення лісовідновлювальних робіт, необхідно провести опис площі лісокультурного фонду і пояснити необхідність проведення тих чи інших заходів з відновлення лісу.

с. *Загальна теорія систем* - це міждисциплінарна галузь наукових досліджень, в завдання якої входять: розробка узагальнених моделей систем, побудова логіко-методологічного апарату, опису функціонування і поведінки системних об'єктів; створення узагальнених теорій систем різного типу, включаючи теорії динаміки систем, їх цілеспрямованої поведінки, історичного розвитку, ієрархічної будови, процесів управління в системах тощо.

Таким чином, *системний підхід можна охарактеризувати* як один із загальнонаукових підходів, спрямований на пізнання механізму інтеграції систем як цілісних утворень - єдностей, що складаються з взаємопов'язаних і взаємодіючих, нерідко різнорідних елементів. При цьому вважається, що кожна система виступає як елемент системи вищого порядку.

Беручи до уваги вищенаведені визначення, можна стверджувати, що системний підхід - це загальнометодологічний принцип використання, з одного боку, ідей загальної теорії систем і, з іншого - результатів досліджень в області системного аналізу в спробі вивчення явищ і зв'язків між ними у всій повноті.

Системний підхід як загальнометодологічний принцип використовували в усі

часи. І раніше багато вчених прагнули по можливості «системно» підходити до наукових фактів, встановлювати взаємозв'язок між ними, намагалися вивчити об'єкти дослідження у всій повноті.

Однак такий підхід вимагає обробки і аналізу великої кількості інформації, що ще кілька десятиліть тому нерідко було не під силу досліднику.

З початком використання ЕОМ можливості обробки та аналізу інформації значно зросли. З їх появою підвищився інтерес до системного підходу, поясненню різних фактів, синтезу узагальнюючих теорій. Однак зростаючий інтерес до системного підходу не завжди може бути задоволений по ряду причин, що перешкоджають пізнанню досліджуваних об'єктів у всій повноті. Одна з них - надто низький рівень наших уявлень про істотні властивості об'єктів дослідження і взаємних зв'язків між ними, які визначають основні риси розвитку досліджуваних явищ і процесів, а це ускладнює виявлення шляхів пошуку.

Загальне уявлення про системний підхід представлено на рис .4.

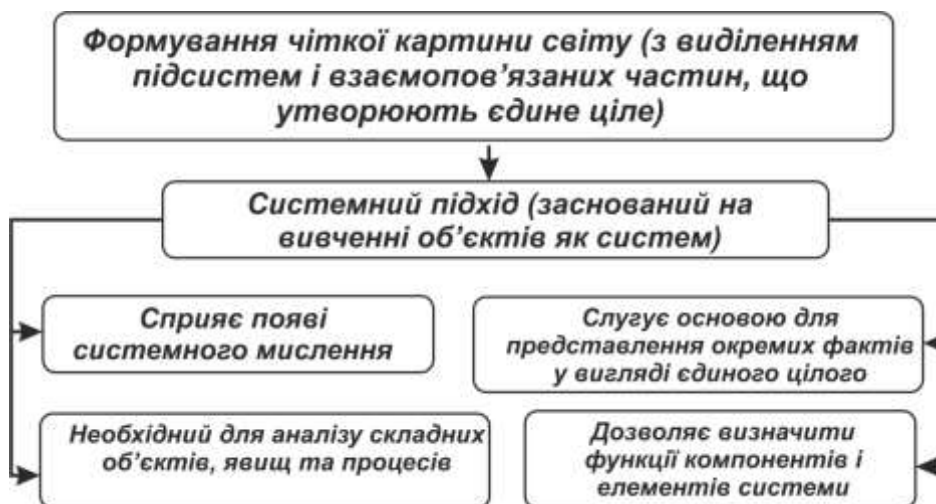


Рис.4. Загальна характеристика системного підходу

На системних ідеях, закладених в загальній теорії систем і системному підході, базується системний аналіз, який є методичним засобом реалізації системного підходу.

У системному аналізі матеріалізуються методи і способи здійснення системного підходу. Природно, що для різних систем застосовуються специфічні методи аналізу.

Контрольні питання

Поясніть, будь ласка і дайте відповідь на наступні питання:

1. Як Ви вважаєте, в чому полягає проблема прийняття рішень для людини і суспільства в цілому?

2. Чому проблема прийняття рішень придбала високу значимість в XX і початку XXI ст.?

3. Дайте пояснення поняттю «Загальна теорія систем». У чому полягає причина створення загальної теорії систем?

4. Ким вперше була сформульована загальна теорія систем?

5. Як охарактеризувати поняття «Системний підхід», «Системні дослідження», «Системний аналіз»? Які причини зумовили виникнення цих понять?

6. Дайте визначення поняттю «Системний підхід». Назвіть і охарактеризуйте причини і функції системного підходу.

7. Наведіть приклади систем лісогосподарських або агротехнічних заходів.

Побудуйте схеми:

- принципів системного підходу;
- загальної характеристики системного підходу.

1.3. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ

1.3.1. Визначення системного аналізу

1.3.2. Об'єкт системного аналізу

1.3.3. Особливості проведення системного аналізу

1.3.1. Визначення системного аналізу

Системний аналіз - новий науковий напрям. Тому існують різні точки зору на зміст поняття «системний аналіз» і область його застосування [Черніков, Грінгоф, Ємцев]. Основні трактування поняття «системний аналіз»:

Відповідно до першого трактування, системний аналіз характеризується як один з конкретних методів вибору найкращого вирішення проблеми, що виникла. Акцент тут робиться на об'єкті вивчення (системі), а не на системності розгляду (облік ключових факторів і взаємозв'язків, використання певної логіки пошуку найкращого рішення).

За другим трактуванням, системний аналіз - це конкретний метод пізнання системи (протилежність синтезу).

Третє трактування розглядає системний аналіз як будь-який аналіз будь-яких систем без будь-яких додаткових обмежень на область його застосування і використовуваних методів.

Найбільш повно відображає спрямованість системного аналізу і сукупність використовуваних їм методів четверте трактування, відповідно до якого системний

аналіз - це цілком конкретний теоретико-прикладний напрямок досліджень, заснований на системній методології і характеризується певними принципами, методами і областю застосування. Отже:

Системний аналіз - це сукупність певних наукових методів і практичних прийомів розв'язання різноманітних проблем, що виникають у всіх сферах цілеспрямованої діяльності суспільства, на основі системного підходу та подання об'єкта досліджень у вигляді системи. Це - методологія дослідження важкоспостерігаємих і важкозрозумілих властивостей складних об'єктів.

При системному аналізі пошук найкращого вирішення проблеми починається з визначення та впорядкування цілей діяльності системи, при функціонуванні якої виникла ця проблема. При цьому встановлюється відповідність між цими цілями, можливими шляхами вирішення проблеми, що виникла і необхідними для цього ресурсами.

Системний аналіз - не просто методологія. Це ще й специфічний комплекс методів і прийомів проектування, прогнозування, прийняття рішень, аналізу проблемних ситуацій, інформаційного забезпечення практичної спрямованості.

Системний аналіз характеризується в першу чергу впорядкованим, логічним підходом до дослідження проблем та використання існуючих методів їх вирішення, які можуть бути розроблені в рамках інших наук.

Одне із завдань системного аналізу полягає в тому, щоб розкрити проблеми, що стоять перед відповідальними особами, які приймають рішення, настільки, щоб їм стали очевидні всі основні наслідки рішень і їх можна було враховувати в своїх діях. Системний аналіз допомагає підійти до оцінки можливих варіантів дій і вибрати найкращий з них з урахуванням додаткових, формалізації факторів і моментів.

Філософ Стародавнього Риму Квінтіліан стверджував, що будь-яку як завгодно складну ситуацію можна повністю описати, керуючись такими сім'ю питаннями: *Що? Де? Коли? Хто? Чому? З якою метою? За яких умов?*

Системний аналіз дозволяє не тільки отримати докладну відповідь на ці питання, а й вичерпно відповісти на інше питання - як діяти оптимально?

1.3.2. Об'єкт системного аналізу

Об'єкт системного аналізу в теоретичному аспекті - це процес підготовки і прийняття рішень, а в прикладному - різні конкретні проблеми, що виникають при створенні та функціонуванні систем.

Теоретичний аспект системного аналізу це:

- загальні закономірності проведення досліджень, спрямовані на пошук найкращих рішень різних проблем на основі системного підходу;
- конкретні наукові методи дослідження - визначення цілей і їх поділ на складові елементи; визначення взаємозв'язків, що існують як між елементами

системи, так і між системою і зовнішнім середовищем тощо;

- принципи інтегрування різних методів і прийомів дослідження, розроблених в рамках як системного аналізу, так і інших дисциплін, але які можна застосувати для конкретної ситуації.

В прикладному аспекті системний аналіз виробляє рекомендації по створенню принципово нових або вдосконалених систем.

Це може бути, наприклад, усунення будь-яких небажаних ситуацій, викликаних зміною як зовнішніх по відношенню до досліджуваної системи факторів, так і внутрішніх.

Об'єкт системного аналізу є одночасно об'єктом ряду загальнотеоретичних і прикладних дисциплін.

1.3.3. Особливості проведення системного аналізу

В аналізі будь-якої проблеми практично завжди присутні певні стандартні елементи. Поєднання цих елементів у відповідній послідовності, що диктується структурою проблеми і причинно-наслідковими зв'язками, призводить до її системного вирішення.

Прийнято виділяти п'ять основних структурно-логічних елементів: мета, шляхи досягнення поставленої мети, визначення необхідних ресурсів і їх розподіл, модель і критерій (схема 1).

Схема 1. Структурні елементи системного аналізу

- Мета;
- Шляхи досягнення поставленої мети;
- Визначення необхідних ресурсів та їх розподіл;
- Модель;
- Критерій.

При вирішенні завдань наведеного логічного ланцюжка використовують різні моделі і критерії. Уміння правильно використовувати логічні елементи системного аналізу забезпечує досягнення запланованого результату.

Розглянемо складові частини наведених структурних елементів системного аналізу.

Мета (ціль) - це бажаний стан системи або результати її діяльності, що досягаються в межах деякого інтервалу часу. Перш за все - поставлена мета. Поки немає мети, немає і проблеми, яку треба вирішувати.

Мета діяльності впливає з об'єктивних потреб і має ієрархічний характер. Цілі верхнього рівня не можуть бути досягнуті, поки не реалізовані цілі найближчого нижнього рівня. У міру переміщення вниз по рівнях ієрархії системи цілі конкретизуються.

Цілі повинні бути сформульовані конкретно і чітко, забезпечуючи можливість кількісної або порядкової (більше-менше, краще-гірше) оцінки ступеня їх досягнення. Необхідний також суворий розподіл цілей за часом і виконавцям (рис. 5).

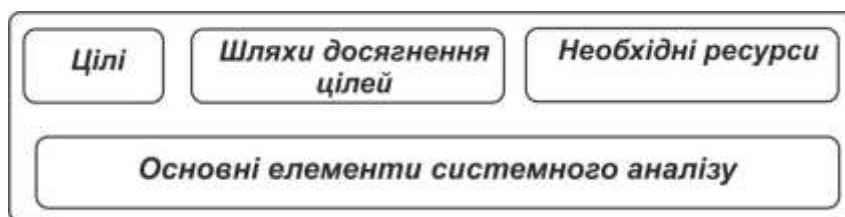


Рис. 5. Складові частини структурних елементів системного аналізу

Згідно ранжирування цілей за рівнем і значущістю їх можна представити у вигляді так званого «дерева цілей» (дерева взаємозв'язків).

Такого роду «дерева» дозволяють розподілити досліджувану проблему на складові елементи, забезпечуючи таким чином певну логіку її рішення. Метод структуризації грає важливу роль в системному аналізі.

Як приклад, наведено у словесній формі (схема 2) фрагмент дерева цілей, розробленого М.Я. Лемешевим, Н.В. Чепурних, Н.П. Юріної [Черніков та ін., 2004, с. 264].

На практиці широко поширене графічне зображення дерева цілей у вигляді розгалуженого малюнка.

Схема 2. Дерево цілей комплексної програми «Збереження і поліпшення стану навколишнього середовища в певному районі»

Рівень 1

1. Збереження і поліпшення стану повітряного басейну.
2. Збереження і поліпшення водного басейну.
3. Збереження і поліпшення стану лісового фонду.
4. Збереження і поліпшення стану земельного фонду.
5. Збереження і поліпшення мисливського господарства.
6. Збереження і поліпшення рибного господарства.

Рівень 2

7. Зниження концентрацій шкідливих домішок в атмосфері при фіксованому обсязі викидів.
8. Скорочення сумарних шкідливих викидів в атмосферу.
9. Скорочення частки не покритих лісом площ лісового фонду.
10. Збереження та раціональне використання лісового фонду.
11. Поліпшення санітарного стану, якості та продуктивності лісів.
12. Збереження та раціональне використання земельного фонду.
13. Поліпшення якісного стану земельного фонду.

14. Охорона водних ресурсів від виснаження.
15. Забезпечення необхідної якості водного басейну.

Рівень 3

16. Перерозподіл (зміна режиму) поверхневого стоку.
17. Раціональний розподіл і економне використання водних ресурсів споживачами.
18. Скорочення надходження в водний басейн забруднюючих речовин від промисловості, житлово-комунального господарства і транспорту.
19. Зниження забруднення водного басейну сільськогосподарськими стічними водами і зворотними водами з полів зрошення.
20. Відновлення насаджень на площах лісового фонду, не вкритих лісом.
21. Заліснення невикористовуваних площ лісового фонду.
22. Раціональне ведення лісового господарства.
23. Раціональне ведення мисливського господарства.
24. Раціональне ведення рибного господарства.
25. Меліорація земель лісового фонду.
26. Меліорація земель земельного фонду.
27. Меліорація земель сільськогосподарського призначення.
28. Раціональне використання надр. Своєчасна рекультивація використаних земель.
29. Всебічна економія земельного фонду при будівництві.
30. Виявлення і використання резервів земель, придатних для нового господарського освоєння.
31. Охорона сільськогосподарських угідь від ерозії і дефляції.
32. Попередження забруднення твердими побутовими та промисловими відходами.

Кожна проблема дерева цілей позначена індексом, в якому перші цифри першого рівня (1-6) відповідають номеру мети першого рангу, що є коренем гілки, що містить дану проблему; індекси другого рівня (7-15) - відповідають меті другого рангу гілки дерева цілей, що містить дану проблему, індекси третього рівня (16-32) – відповідають номеру мети третього рангу гілки тощо. Залежно від деталізації розглянутої мети, кількість рівнів і індексів може збільшуватися. При такій нумерації ранг будь-якої мети відповідає кількості цифр і її індексів.

Побудова багаторівневого дерева цілей може бути здійснена за умови додержання таких ознак, як напрям діяльності, етапи планування, рівень структури діяльності, сукупність процесів життєвого циклу продукції, а також їх комбінацій.

Побудова дерева цілей може проводитися за допомогою декомпозиції головної цілі на основі підпорядкованості або композиції цілей вищих рівнів із цілями нижчого рівня.



Рис. 6. Схема постановки цілі

Шляхи досягнення поставленої мети. Визначення найкращого шляху досягнення поставленої мети поділяється на дві частини:

- вибір з безлічі можливих варіантів найбільш раціональних і домінуючих;
- вибір найкращого варіанта з раціональних.

Слід мати на увазі, що одні і ті ж цілі можуть бути досягнуті в результаті використання декількох засобів і методів. Дуже важливо встановити найбільш повний набір можливих шляхів досягнення заданих цілей.

Визначення необхідних ресурсів та їх розподіл. Основна властивість ресурсів - обмеженість. Це вимагає їх пріоритетного виділення і економного витрачання. Виникає проблема взаємозамінності ресурсів.

Ресурси є фільтром, через який пропускають прийняте рішення.

Цілі і стратегія повинні відповідати наявним ресурсам. Якщо ресурсів недостатньо, то і цілі, і стратегії повинні бути скоректовані відповідно до наявних ресурсів. Процес коригування триває до тих пір, поки забезпеченість цілей і стратегій ресурсами не буде досягнута.

Однак перегляд цілей і стратегій можливий і в тому випадку, якщо один або декілька ресурсів недовикористовуються.

Зрозуміло, що вибір мети і стратегії, визначення ресурсів завжди взаємопов'язані.

Модель. Цей структурно-логічний елемент буде розглянуто нижче.

Критерій. У системному аналізі це ознака, умова, за яким шляхом зіставлення можливих варіантів, способів досягнення поставленої мети вибирається найкращий.

Можна запропонувати досить вдалу типізацію критеріїв:

- критерії типу «вартість - ефективність». Засновані на порівнянні вартісної оцінки витрат ресурсів з результатами того чи іншого напрямку дій;
- «Еліміновані» критерії. Застосовуються для встановлення діапазонів бажаних значень найважливіших характеристик системи і виключення тих варіантів, за якими

хоча б одна характеристика не потрапляє в необхідний діапазон. Наприклад, при відсутності достовірності спостережень, досвід повторюється.

- «Зважуючі» критерії. Це - штучно побудовані «коефіцієнти відносної важливості». Вони присвоюються різним найважливішим характеристикам і дозволяють розраховувати «індекси» порівняльної значущості варіантів рішення.

Зазвичай в системному аналізі оптимальним вважається рішення, що забезпечує найбільший ефект при фіксованих витратах ресурсів. Критерій повинен відповідати ряду вимог. Основні з них: представництво (враховуються всі головні сторони діяльності системи); критичність (чутливість до зміни досліджуваних параметрів); єдиність; облік протидії, простота.

Вибираючи критерій, необхідно дотримуватися таких умов: критерії, що застосовуються для вирішення завдань нижчого рівня управління, повинні відповідати, логічно збігатися з критеріями, використовуваними на наступному, більш високому рівні.

Контрольні питання

Поясніть, будь-ласка і дайте відповідь на наступні питання:

1. Дайте визначення поняттям «системний аналіз», «об'єкт системного аналізу», «предмет системного аналізу».
2. Чим характерний системний аналіз?
3. Поясніть, в чому різниця між теоретичним і прикладним аспектами.
4. Назвіть принципи, властиві системному аналізу. У чому їх суть?
5. Назвіть основні структурно-логічні елементи при проведенні системного аналізу. У чому полягає значення кожного з них?
6. Дайте визначення поняттю «Мета».
7. При проведенні системного аналізу, яким вимогам повинен відповідати критерій?
8. Яких умов слід дотримуватися при виборі критерію?
9. Побудуйте схему структурних елементів системного аналізу (мета; шляхи досягнення поставленої мети; визначення необхідних ресурсів і їх розподіл; модель; критерій).

1.4. ПРОЦЕС СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

1.4.1. Етапи процесу системного аналізу

1.4.2. Змістовна сторона системного аналізу

1.4.1. Етапи процесу системного аналізу

Процес системного аналізу включає ряд етапів (процедур), спрямованих на послідовне наближення до необхідних результатів (рис. 7)



Рис. 7. Послідовність етапів процесу аналізу (Рейзберг і ін., 1975)

1. Постановка задачі. Визначаються кінцеві цілі і коло питань, які потребують вирішення; аналізуються умови функціонування системи; задаються обмеження, що накладаються на умови функціонування системи.

2. Дослідження. На цьому етапі відбуваються визначення, аналіз, і узагальнення даних, необхідних для вирішення проблеми; вивчається структура аналізованої системи (проблеми); встановлюються зв'язки і можливі програми досягнення цільової функції проведеного аналізу. При цьому слід мати на увазі, що зазвичай існує кілька різних варіантів досягнення мети. Важливо врахувати наявні точки зору на решаему проблему, щоб виключити завідомо нераціональні дії.

При визначенні мети діяльності та шляхів їх досягнення основну роль грають вміння фахівців творчо мислити, інтуїція тощо.

3. Аналіз. Дана процедура передбачає побудову моделей, вибір критеріїв ефективності і їх використання для передбачення наслідків можливих дій, порівняння різних варіантів рішень. На основі порівняльного аналізу різних варіантів вирішення виниклих проблем виробляються рекомендації для приймаючих рішення. По суті

вони є продуктом системного аналізу. Наступні етапи процесу системного аналізу спрямовані на доведення отриманих рекомендацій до практичної реалізації.

4. Попереднє судження (погодження). З урахуванням отриманих даних і додаткової інформації (при наявності такої) проводиться вибір найкращих шляхів досягнення цілей, розробка висновків і рекомендацій про доцільний напрямку дій.

5. Підтвердження (експериментальна перевірка) прийнятих рішень.

6. Кінцеве судження (остаточний вибір найкращого варіанту рішення).

7. Реалізація прийнятого рішення.

Будь-який процес системного аналізу в тій чи іншій мірі включає перераховані етапи. Представлена на рис. 6 послідовність етапів аналізу зазвичай не обмежується одноразовим їх відтворенням, можливе повернення з будь-якого етапу до попередніх (лінії зворотного зв'язку), тобто системний аналіз - ітеративний (лат. *iteratio* - повторення) процес.

1.4.2. Змістовна сторона системного аналізу

Системний аналіз не означає, що ми робимо щось зовсім нове. Передбачається, що робиться це краще, ніж раніше, тобто систематизовано застосовуючи нові методи, включаючи математичні та експертні оцінки, електронно-обчислювальну техніку, приділяючи більшу увагу невизначеності і перевірці отриманих результатів в залежності від зміни умов, що визначають функціонування систем.

Специфіка дослідження змістовної сторони системного аналізу визначається не ускладненням методів аналізу (в певному сенсі вони можуть бути навіть спрощені), а висуненням нових принципів підходу до досліджуваного об'єкта, нової орієнтації руху дослідника, спрямованої на побудову цілісної картини життя об'єкта. Це проявляється в ряді моментів.

1. При дослідженні об'єкта як системи, опис елементів розглядається з урахуванням його «місця» в цілому.

2. У системному дослідженні один і той же «матеріал», субстант, виступає одночасно володіючим різними характеристиками, параметрами, функціями і принципами будови. Це проявляється, наприклад, в ієрархічності будови систем.

3. Дослідження системи виявляється, як правило, невіддільним від дослідження умов її існування.

4. Для системного підходу специфічна проблема створення властивостей цілого з властивостей елементів, і навпаки.

5. У системному дослідженні чисто причинні (у вузькому сенсі цього слова) пояснення функціонування і розвитку об'єкта, як правило, недостатні. Так, для великого класу систем характерна доцільність, як невід'ємна риса їх поведінки, хоча доцільна поведінка не завжди вкладається в рамки причинно-наслідкової схеми.

6. Джерело перетворень системи або її функцій знаходиться зазвичай в самій

системі. З цього випливає, що у системи (або її елементів) утворюється безліч індивідуальних характеристик.

Отже, системний аналіз, будучи широким аспектом наукового пошуку, організовує наші знання про об'єкт таким чином, щоб вибрати потрібну стратегію або передбачити результати однієї або декількох стратегій, які будуть доцільними для тих, хто повинен приймати рішення.

Системний аналіз - упорядкована і логічна організація даних і інформації у вигляді моделей, що супроводжується суворою перевіркою й аналізом самих моделей. При цьому математичні концепції використовуються в рамках систематизованого наукового підходу до вирішення складних проблем.

Контрольні питання

Поясніть, будь ласка і дайте відповідь на питання:

1. Назвіть в послідовності етапи системного аналізу.
2. Дайте характеристику кожному етапу системного аналізу.
3. Охарактеризуйте змістовну сторону системного аналізу.
4. У чому полягає специфіка досліджень змістовної сторони системного аналізу?
5. Яким чином можливий в процесі досліджень поділ формальних та неформальних методів аналізу?
6. Побудуйте схему:
 - послідовності етапів системного аналізу процесу вступу абітурієнта до Центральноукраїнського національного технічного університету;
 - послідовності етапів системного аналізу процесу навчання студентів, що вступили на перший курс;
 - послідовності етапів системного аналізу при вирощуванні посадкового матеріалу в розпліднику;
 - послідовності етапів системного аналізу при посадці лісових культур.

1.5. ЕКСПЕРТНІ ОЦІНКИ В СИСТЕМНОМУ АНАЛІЗІ

Найважливіші принципи системного аналізу:

- 1) процес прийняття рішення повинен починатися з виявлення і чіткого формування кінцевих цілей, а також критеріїв, за якими може оцінюватися їх досягнення;
- 2) слід виявити всі взаємозв'язки кожного приватного рішення;
- 3) необхідні виявлення і аналіз можливих альтернативних шляхів досягнення мети;

4) цілі окремих підсистем не повинні вступати в конфлікт з цілями всієї системи;

5) необхідно виявлення ресурсів і їх ув'язка з цілями.

Центральною процедурою в системному аналізі є побудова моделі (моделей), що відбиває всі ті чинники і взаємозв'язки реальної ситуації, які можуть проявитися в процесі здійснення рішення.

Мета системного аналізу - підвищення ступеня обґрунтованості прийнятого рішення, розширення безлічі варіантів, серед яких проводиться вибір, з одночасною вказівкою оптимальних варіантів.

Системний аналіз спирається на ряд прикладних методів, що широко використовуються в сучасній практиці управління: експертні оцінки, метод Дельфі, дослідження операцій, теорія графів тощо [13].

Методи експертних оцінок можна розділити на дві групи: індивідуальні та колективні. Найбільшого поширення набули два типи методів індивідуальних експертних оцінок - «інтерв'ю» і «аналітична експертиза».

При **методі «інтерв'ю»** передбачається бесіда дослідника з експертом, в ході якої експерт без попередньої підготовки оцінює проект науково-дослідних робіт (НДР) і відповідає на заздалегідь підготовлені питання про доцільність планування.

«Аналітична експертиза» передбачає ретельну роботу експерта з аналізу планованих НДР в рамках поставлених перед ним питань. Результати аналізу експерт оформляє у вигляді довідки, доповідної записки, експертного висновку.

Методи колективної експертизи розроблені для отримання узагальненої колективної думки експертів з досліджуваних питань з тим, щоб компенсувати можливі помилки того чи іншого експерта. При такому підході практично виключається вплив випадкових факторів, пов'язаних з недостатньою компетентністю і необ'єктивністю окремих експертів.

Залежно від характеру взаємодії між експертами методи колективної експертної оцінки можна розбити на дві групи: відкритої дискусії і опитування за допомогою анкет. У першій групі найбільшого поширення набули такі методи: «комісій», «суду», «мозкової атаки».

На відміну від методів відкритої дискусії методи опитування за допомогою анкет не передбачають прямого обміну думками між членами експертної групи.

Методи опитування за допомогою анкет діляться на дві групи: метод простого анкетування експертів та метод Дельфі.

Метод простого анкетування включає одноразове опитування експертів за допомогою анкет. Результати опитування узагальнюються різними статистичними методами обробки даних. При такому підході, як правило, відзначається велика розкиданість відповідей.

Метод Дельфі, розроблений в американській фірмі «РЕНД корпорейшн», є найпоширенішим для вирішення складних завдань за допомогою експертів. В його основу покладено такі принципи:

- а) експертиза проводиться анонімно;
- б) експертну інформацію збирають опитуванням експертів в кілька турів за допомогою спеціальних анкет;
- в) експерти забезпечуються всією необхідною для експертизи інформацією;
- г) відповідь на кожне питання анкети повинна аргументуватись експертом;
- д) пряма взаємодія експертів виключається;
- е) непряма взаємодія груп експертів здійснюється наданням кожному експерту узагальненого думки групи, отриманої в процесі попереднього туру.

Експертизу по методу Дельфі зазвичай проводять в 3-4 тури.

У I турі експертам формулюють мету і завдання вивчення. Експерти детально відповідають на поставлені в анкеті питання. Після опитування анкети узагальнюють, розраховують середні оцінки.

У II турі кожному експерту повідомляють результати I туру, проводять обґрунтування крайніх точок зору, не вказуючи імен експертів. Експертів просять повторно відповісти на питання першої або уточненої другої анкети. Під час II туру експерти можуть запросити різного роду інформацію. Відповіді на питання II туру обробляють, а отримані результати представляють експертам на наступному турі експертизи. Процедура триває до тих пір, поки не будуть отримані близькі оцінки.

Крім класичного варіанта методу Дельфі останнім часом розроблено кілька його модифікацій. Так, наприклад, в ряді варіантів передбачена самооцінка експертами своєї компетентності.

У **методиці SEER** («система оцінки і огляду подій») передбачається проведення тільки двох турів опитування груп експертів різного складу. На першому турі експерти складають перелік подій, оцінюють їх перевагу, техніко-економічні та імовірнісні оцінки. На другому - проводять переоцінку і поповнення банку даних, сформульованого в першому турі, визначають найбільш важливі події і уточнюють результати експертного висновку.

Один з методів експертизи проектів НДР називається **методом дескрипторів**. За відправну точку методу служить стислий опис експертами технічних цілей кожного проекту у вигляді дескрипторного опису. Зіставлення таких стислих (дескрипторних) описів безлічі заданих цілей дозволяє виявляти області науки і техніки, в яких можна очікувати найбільший прогрес (а можливо, і науковий прорив) протягом найближчих 2-5 років.

Інший метод представлення та аналізу результатів експертної оцінки - **картування**, або **системна концепція альтернатив**. Це вдосконалений різновид методу Дельфі. Включає побудову своєрідних «карт» в системі координат, одну з осей якої утворює час, іншу - сукупність науково-дослідних програм певного

профілю. Основу «карти» становить ієрархічна система, яка розглядає нововведення на різних рівнях системи: науково-технічному, комерційному, політичному, соціальному, моральному, культурному, природному та особистісному. Результати картування вводяться в банк даних, який містить переліки розподілених за часом прийнятих альтернативних варіантів вибору наукових проектів, послідовність передбачуваних наукових відкриттів і технічних розробок.

Кількісна оцінка об'єктів експертизи може здійснюватися як за бальною шкалою, що містить, як правило, від 3 до 100 градацій, так і методом переваги експертів, найбільш часто реалізованим у вигляді ранжирування. У цьому випадку завдання експерта зводиться до того, щоб впорядкувати набір об'єктів (ознак) $P_1, \dots, P_n$ зменшенням деякої якості. При зіставленні результатів експертиз використовуються різні математичні методи: кластерного аналізу, багатовимірного шкалювання, факторного аналізу, матриці подібності тощо. Однак слід мати на увазі, що оцінки в бальній системі не можна в повній мірі вважати кількісними і порівнювати, на скільки або у скільки разів один бал більше іншого.

Метод побудови «дерева цілей» використовується для аналізу систем або процесів, в яких можна виділити кілька структурних або ієрархічних рівнів. Вони будуються шляхом послідовного виділення все більш дрібних компонентів на нижчих рівнях.

Генеральна мета служить «коренем» дерева цілей. Кожна гілка на кожному рівні поділяється принаймні на два розгалуження наступного, більш низького рівня. Точка розгалуження називається вершиною.

Аналогічно дереву цілей, використовуючи принципи системного аналізу, можна побудувати дерево альтернативних рішень. Це дерево стає нормативним, коли для всіх гілок кожного рівня визначається важливість кожного завдання по відношенню до важливості вирішення інших завдань. Припустимо, перед нами стоїть мета, для досягнення якої потрібно виконати три завдання. Припустимо, що перше завдання в два рази важливіше другого, а друге - в три рази важливіше третього. У цьому випадку ми можемо приписати трьом завданням «коефіцієнт відносної важливості» - відповідно 0,6; 0,3; 0,1. При цьому сума коефіцієнтів має дорівнювати одиниці. Множення коефіцієнтів відносної важливості всіх рівнів кожної гілки від верхівки до основи дерева дозволяє виявити найбільш ефективний (той, що набрав більший бал) шлях вирішення певної проблеми або сформулювати головні завдання дослідження. Ця методика була названа методом ПАТЕРН аналізу (англійська аббревіатура виразу «допомога планування з використанням техніки присвоєння коефіцієнта відносної важливості»).

«Морфологічний» метод був розроблений Ф. Цвіккі. Сутність його полягає в «розбитті» проблеми на складові частини, причому кожна з них має кілька підходів до її вирішення. Загальне рішення отримують, взявши одне з можливих рішень по кожній частині. Число можливих рішень досліджуваної проблеми дорівнює числу

можливих комбінацій. Наприклад, якщо проблему можна розділити на чотири частини, так що перша має два рішення, друга - чотири, третя - чотири і четверта - три рішення, то сумарне число можливих спільних рішень дорівнюватиме $2 * 4 * 4 * 3 = 96$. комбінаторний процес в морфологічному блоці з восьми параметрів з чотирма можливими рішеннями по кожному з них буде включати 65 536 різних рішень.

На наступному етапі потрібно визначити, які з цих рішень були відомі раніше, а які можуть бути реалізовані в дійсності. Системне дослідження всіх можливих комбінацій рішень окремих частин проблеми призводить до «винаходу» нових рішень проблеми в цілому.

Блок-схеми послідовності виконання завдань. Метод полягає в схематичному зображенні всіх альтернативних шляхів і послідовності вирішення будь-якої задачі. Альтернативним шляхам в блок-схемі можна поставити відповідні коефіцієнти відносної важливості (по аналогії з методикою ПАТЕРН аналізу), що дозволяє здійснювати пошук найбільш оптимальних шляхів вирішення проблеми.

Методика екстраполяції тенденцій. Досвід свідчить, що на найближчі 10-15 років більшу частину науково-технічних даних можна екстраполювати з допустимою очікуваною помилкою $\pm 15\%$.

Складність методу екстраполяції полягає у встановленні типу кривої (логістична, експонента, пряма арифметична або геометрична прогресія тощо) в залежності від результатів тренда за попередній період і припущення про збереження або зміну тенденцій в перспективі.

Незважаючи на різноманітність рівнянь, що описують можливі функції зміни параметрів досліджуваного процесу, розвиток практично будь-якої системи, події, процесу можна описати певною ділянкою логістичної кривої. Все питання полягає лише в тому, щоб визначити, на якій ділянці розвитку знаходиться подія зараз, терміни збереження існуючих тенденцій і темпи наближення прогнозованої події до точки максимального розвитку (точці перегину кривої) і станом насичення (сатурації). На певних ділянках кривої можливі значні флуктуації реальних параметрів, а також певні ділянки, описувані прямою арифметичною або геометричною прогресією.

Метод «сценаріїв» являє собою процес підготовки иписьмового, узгодженого групою експертів документа, в якому наводиться аналітична довідка з досліджуваної проблеми. Сценарій, як правило, містить результати техніко-економічного та статистичного аналізів проблеми, аналітичний огляд всієї наявної наукової літератури, а також думку експертів про можливі шляхи вирішення проблеми (пропозиції для включення в сценарій спочатку пишуться експертами індивідуально, а потім формується узгоджений текст).



Рис.8. Сценарій, як метод вибору стратегії підприємства.

«Сценарій» представляє логічну послідовність подій, що показує, як, виходячи з існуючої (або заданої) ситуації, може крок за кроком розгортатися майбутній стан. Після підготовки «сценарію» проблеми можна приступати до інших, більш формалізованих методів системного аналізу: методу Дельфі тощо.

Метод ділових ігор використовується переважно в навчальних цілях, проте може застосовуватися в процесі управління науковими дослідженнями, а також для аналізу тих наукових проблем, в основі яких лежать соціальні взаємини між певними категоріями осіб (наприклад, в соціальній гігієні, організації охорони здоров'я, соціології тощо). Ділова гра в науково-дослідному процесі заснована на моделюванні дій керівників наукових підрозділів і окремих вчених або соціальних груп, діяльність і взаємодія яких підлягають дослідженню і оптимізації. Метод включає в себе моделювання навколишнього середовища, загальних завдань і цілей конкретних виконавців або груп осіб, системи обміну інформацією, взаємовплив інтересів і альтернативних рішень.

Контрольні питання:

1. Назвіть найважливіші принципи системного аналізу.
2. Охарактеризуйте метод інтерв'ю та метод аналітичної експертизи.
3. Дайте характеристику методу Дельфі.
4. Охарактеризуйте метод дескрипторів.
5. Охарактеризуйте метод картування.
6. Поясніть метод побудови «дерев цілей».
7. Поясніть застосування морфологічного методу.
8. Поясніть в чому полягає метод ділових ігор.

Розділ 2. ПОНЯТТЯ ПРО СИСТЕМУ

2.1. ОСНОВНІ СИСТЕМНІ ПОНЯТТЯ

2.1.1. Поняття про систему

2.1.2. Основні частини системи

2.1.3. Компоненти системи

2.1.4. Характеристика відносин і поведінки систем

2.1.1. Поняття про систему

Сучасний науковий підхід в практичній діяльності будь-якої галузі містить в собі управління складними технологічними процесами, які неможливо здійснювати лише на основі здорового глузду. Наприклад, в лісовому господарстві інтенсивні технології, які спираються на системи лісогосподарських машин, добрива, засоби захисту рослин, стимулятори і регулятори росту, умови зовнішнього фізичного середовища тощо, розширюють міжгалузеві зв'язки, обумовлюючи необхідність одночасного обліку взаємодії великого числа факторів, які будуть необхідні для прогнозування як близьких, так і віддалених наслідків прийнятих рішень. Тому фахівець будь-якого рівня, відповідальний за вироблення, прийняття і реалізацію прийнятих рішень, повинен володіти системним мисленням.

В загальному розумінні систему можна представити як сукупність правил і закономірностей, які використовуються при вирішенні завдань для різних типів об'єктів. Ці правила і закономірності будуть загальними для різних видів діяльності: науково-дослідницької, управлінської, конструкторської, виробничої тощо.

В цілому, під системою розуміють наявність безлічі об'єктів з набором зв'язків між ними і між їх властивостями, тобто системою називається все, що складається з пов'язаних одна з одною частин.

Отже, системами будуть машина, зібрана з деталей і вузлів; живий організм, утворений сукупністю клітин; підприємство, об'єднуюче в єдине ціле безліч виробничих процесів, колективів людей, різні види ресурсів, готову продукцію тощо. При цьому об'єкти (частини) функціонують в часі як єдине ціле, тобто кожен об'єкт, підсистема, осередок працюють заради єдиної мети, що стоїть перед системою.

Таким чином, система - це відносно відокремлена і впорядкована сукупність, що володіє особливою зв'язністю і цілеспрямованістю взаємодіючих елементів, здатних реалізувати певні функції; система - не механічний набір, а єдність взаємопов'язаних елементів, спільно діючих для досягнення спільної мети.

Особливість системного підходу полягає в тому, що в допустимих межах система управління об'єктом досліджується як єдиний організм з урахуванням внутрішніх зв'язків між окремими елементами і зовнішніх зв'язків з іншими

системами і об'єктами.

Залежно від їх природи розрізняють системи: природно-фізичні (клімат, ґрунт), штучно-фізичні, технічні (літак, трактор), логічні (проект, креслення), біологічні (рослини, тварини, людина як жива істота), соціально-економічні (галузь, господарський комплекс, підприємство) тощо. Розрізняють також системи: фізичні та абстрактні, природні та штучні.

2.1.2. Основні частини системи

Основними частинами будь-якої системи є *вхід, процес (структура) і вихід*.

Перша частина системи, *вхід* - комплексне поняття. По-перше, це субстанція (сировина, матеріали, енергія, інформація та ін.), що надходить в систему і піддається в ній різним перетворенням. По-друге, це зовнішня середовище (довкілля), представлена сукупністю факторів і явищ, які впливають на систему (природні умови, зовнішньо-політична обстановка тощо). Під входом мають на увазі і встановлені способи функціонування елементів системи: інструкції, положення, накази, що визначають порядок, правила, обмежувальні умови, цілі дії системи.

Друга частина системи являє собою внутрішню її *структуру*.

Це - *канали*, по яких проходить речовина, енергія та інформація, що надходять в систему через входи, а також процеси або операції їх перетворення.

Третя частина системи - *вихід*, який є продуктом або результатом її діяльності. Наприклад, для вирощування сіянців на лісовому розсаднику як системи, вхідними елементами будуть насіння, сонячна радіація, температура повітря, ґрунтова волога, мінеральні елементи, агротехнічний догляд тощо, на виході - стандартний посадковий матеріал.

Глибина дослідження системи залежить від ступеня деталізації змінних на вході і виході, яку називають вирішальним рівнем дослідження системи. Мінімальним є дозволяючий рівень, при якому дослідник розрізняє один вхід і один вихід (на вході - внесення загальної дози добрив, на виході - посадковий матеріал) тощо.

Якщо при вивченні стану системи розглядають тільки вхідні і вихідні величини, без урахування процесів, що протікають при цьому, кажуть, що систему вивчають «методом чорного ящика».

За ступенем зв'язку із зовнішнім середовищем системи підрозділяються на відкриті і закриті.

Відкриті системи інтенсивно обмінюються речовиною, енергією та (або) інформацією з навколишнім середовищем.

Закриті системи функціонують при відносно невеликому обміні або його відсутності (наприклад, замкнутий технологічний цикл). Елементи тут взаємодіють один з одним. Істотно, що система може бути відкритою або закритою тільки для

речовини, енергії або інформації.

За ступенем складності системи підрозділяються на прості, складні і дуже складні. Складність визначається числом елементів, що утворюють систему, ступенем розгалуженості її внутрішньої структури, характером функціонування (одноцільове або багатocільове).

Простими називають системи, що складаються з невеликої кількості елементів, з простими взаємозв'язками і нерозгалуженою структурою, призначені для виконання елементарних функцій, наприклад, чергування культур у сівозміні.

Складними називають системи з великим числом елементів, взаємозв'язків і взаємодій; характер їх розгалужений, їх функції різноманітні, наприклад: університет, курси, групи, підгрупи.

Дуже складними називають системи, сутність взаємозв'язків в яких не цілком зрозуміла, мало вивчена. До таких систем відносяться мозок, суспільство, всесвіт.

Межі наведених класифікацій умовні. Жорстких критеріїв диференціації систем за складністю немає.

Для будь-яких складних систем характерні багаторівневі (ієрархічні) структури; вони можуть бути вертикальними і горизонтальними в залежності від обраної точки відліку і критерію поділу. Ієрархічні структури поширені повсюдно і носять універсальний характер. Наявність таких структур забезпечує системі високу надійність функціонування завдяки можливості створення елементної надмірності. Ефективність функціонування ієрархічної структури залежить від її структури і форми зв'язків в ієрархії.

2.1.3. Компоненти системи

Поняття «система» об'єднує такі компоненти (терміни), як «об'єкти», «властивості» і «зв'язки».

Об'єкти представляють собою частини або компоненти системи. Таких частин може бути необмежена кількість. Більшість систем, якими доводиться оперувати, складається з фізичних елементів: атомів, зірок, перемикачів, маси, м'язів, газів, електронних і напівпровідникових приладів тощо. До об'єктів відносять і математичні змінні, рівняння, правила і закони, технологічні процеси, виробничі підрозділи, верстати тощо.

Властивості - являють собою якості параметрів об'єктів. Якості - це зовнішні прояви того способу, за допомогою якого формується знання про об'єкт, ведеться спостереження за ним або здійснюється його введення в процес. Властивості дозволяють описувати об'єкти системи кількісно, виражаючи їх у одиницях, що мають певну розмірність. В результаті дії системи якості об'єктів можуть змінюватися.

Однак, властивості, якими володіє система в цілому, відрізняються від

властивостей утворюючих її елементів (підсистем). Будь-якій системі притаманні власні, специфічні закони, що не впливають із способів дії її елементів, тобто проявляється властивість емерджентності, згідно з якою ціле завжди має якісно інші властивості, що не витікають з властивості окремих елементів. Емерджентність властива всім складним системам (наприклад: ліс має властивості, якими не володіють окремі дерева тощо.).

Система повинна володіти рядом відмітних властивостей (Черніков та ін., С.273), такими як:

1. Цілісність – тобто комплекс об'єктів, що розглядається в якості системи, повинен являти собою певну цілісність, що володіє загальними властивостями і поведінкою.

2. Подільність: для того, щоб являти собою систему, цілісний об'єкт повинен бути зображений розділенням на частини.

3. Ізольованість - тобто комплекс об'єктів, що утворюють систему, і зв'язки між ними можна відмежувати від їх оточення і розглядати ізольовано.

4. Відносність ізольованості: для систем вона є відносною, оскільки комплекс об'єктів, що утворюють систему, спілкується із середовищем через входи і виходи.

5. Визначеність - тобто кожна складова частина системи може бути відокремлена від інших складових.

6. Множинність - тобто кожен елемент системи має свою власну поведінку і стан, відмінний від інших елементів і системи в цілому.

Зв'язки - це те, що з'єднує об'єкти і властивості в системному процесі в ціле. Зв'язки існують між усіма елементами системи, системами і підсистемами. Зв'язки, функціонально необхідні один одному, відносяться до зв'язків першого порядку. Додаткові зв'язки називають зв'язками другого порядку. Наявність їх значно покращує дію системи, але вони не є функціонально необхідними. Зайві або суперечливі зв'язки характеризують як зв'язки третього порядку. Дослідник, зайнятий вирішенням проблеми, сам визначає, які зв'язки істотні, а які тривіальні.

До найважливіших понять системного аналізу відноситься фундаментальне кібернетичне поняття зворотного зв'язку. Це поняття сприяло встановленню подібності між організацією управління в таких якісно різних системах, як біологічні, технічні та соціально-економічні, до вироблення загальних підходів до побудови та функціонування систем, до методів їх вивчення і аналізу.

Зворотній зв'язок означає наявність каналу зв'язку між входом і виходом системи прямо або через інші елементи системи (наприклад, через орган управління). За допомогою зворотного зв'язку дані про функціонування керованої системи з її виходу передаються в систему управління. Тут ці дані порівнюються з даними, які задають зміст і обсяг роботи. У разі невідповідності між фактичним і заданим станом системи виробляються заходи по його усуненню.

2.1.4. Характеристика відносин і поведінки систем

Елементи, які стосуються цієї системи, володіють особливим характером відносин – зв'язністю, яка проявляється в специфічних взаємозв'язках між системними елементами. Саме ця властивість дозволяє виділити систему з навколишнього середовища. Можливість підключення реалізується у формі певної впорядкованості відносин між елементами певної внутрішньої структури.

З властивістю зв'язності пов'язане поняття різноманітності.

Ступінь різноманітності залежить від числа елементів системи. Максимальна різноманітність визначається як:

$$H = \log 2N,$$

де N - число елементів системи.

Воно відповідає тому випадку, коли поведінка одного елемента не залежить від поведінки інших (елементи не пов'язані між собою).

Число незалежних характеристик називають **числом ступенів свободи**. У будь-якій системі воно обмежене. Цілеспрямоване функціонування системи можливо тільки завдяки обмеженню її різноманітності. Обмеження різноманітності лежить в основі управління системою.

Якщо число елементів в системі занадто велике, щоб продуктивно оперувати ними, слід застосувати спеціальний прийом упорядкування цих елементів - ввести структуру. Поняття «занадто велике» відносне.

Наприклад, коли завдання вирішує людина, не озброєна якимись спеціальними пристосуваннями обробки інформації, занадто великим буде число елементів, більше семи (до кінця ще не встановлено, чому саме сім. Вважають, що це пов'язано з механізмом роботи клітин головного мозку, які, імовірно, мають вісім різних станів).

Зрозуміло, що число сім настільки невелике, що втрачається сенс розглядати системи з меншим числом елементів. Такщо в кожній системі необхідно визначати її структуру (часткове впорядкування елементів системи).

Структура системи - сукупність зв'язків, за якими забезпечується масо, енерго- і інформаційний обмін між елементами системи, що визначає функціонування системи в цілому і способи її взаємодії із зовнішнім середовищем. Одну і ту ж систему можна структурувати за різними ознаками, наприклад по однорідності елементів. Ознаки структуризації задаються людиною згідно здоровому глузду і в залежності від розв'язуваної задачі. Якщо досліджується структура реально існуючого об'єкта, то структура системи як би «відновлює креслення», за яким даний об'єкт був створений людьми або природою. Якщо створюється новий об'єкт, то для нього формується структура, яка оптимально сприяє вирішенню поставленого завдання.

Важливою характеристикою поведінки систем (особливо динамічних) є їх стійкість.

Стійкість - це сталість стану системи або послідовності деяких її станів у часі і в процесі її перетворень. Поняття стійкості в живих організмах пов'язано з поняттям гомеостазу (здатність живих організмів забезпечувати оптимальний режим внутрішнього середовища шляхом підтримання сталості істотних змінних: температури, складу клітинної рідини тощо).

Сталість істотних параметрів системи в живих організмах досягається шляхом саморегулювання, завдяки чому усуваються наслідки впливу випадкових впливів середовища на окремі підсистеми організму. Поняття стійкості відноситься не до системи в цілому, а до будь-якої властивості її поведінки, причому поведінки системи в цілому, а не окремих її частин.

Стійкість динамічних систем обумовлена тим, що відхилення деяких параметрів системи від заданих не перевищують допустимих значень. Система, стійка за однією ознакою, може бути нестійкою за іншою.

Одне з істотних понять, які використовуються в системному аналізі, - фактор невизначеності, який присутній при вирішенні багатьох складних завдань, які стосуються різноманітних галузей діяльності. Невизначеність, яка може зустрічатися в процесі системного аналізу може бути результатом недостатнього знання досліджуваного явища або обумовлена тим, що наслідки прийнятих рішень позначаються через тривалий час і не можуть бути передбачені з достатньою точністю.

Невизначеність пов'язана також і з неможливістю кількісної оцінки багатьох явищ, нечіткою постановкою завдань тощо.

Контрольні питання

Поясніть, будь ласка і дайте відповідь на питання:

1. Яке поняття є центральним в різноманітті і багатоплановості системних досліджень?
2. Чим характерна логіка процесу використання поняття системи?
3. Дайте визначення поняттю «Система». Назвіть складові частини системи.
4. Як підрозділяються системи за ступенем зв'язку з зовнішнім середовищем?

2.2. БІОЛОГІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ

2.2.1. Біологічні системи

2.2.2. Особливості біологічної системи

2.2.3. Регуляція біосистем.

2.2.4. Екологічні системи. Місце екології серед інших біологічних наук.

Сучасний стан екології

2.2.5. Стан біологічних і екологічних систем. Зміна стану системи: криза, катастрофи, катаклізми

2.2.1. Біологічні системи

Все різноманіття світу можна представити у вигляді чотирьох послідовних ієрархій: фізико-хімічної, біологічної, соціальної і технічної (рис. 9). При їх взаємодії або об'єднанні з'являються нові системи: економічні та екологічні.

До перших наук, що почали розглядати об'єкти дослідження як системи, відноситься біологія. Основними одиницями аналізу в класичній біології були організм і біологічний вид. Успішно пояснюючи походження і розвиток видів, еволюційна теорія зробила основним і, по суті, єдиним в біологічних дослідженнях еволюційний підхід, який в цілому об'єктивно відповідав, на певному етапі, наявного емпіричного матеріалу.



Рис.9. Рівні організації матеріального світу.

В той же час, поставивши питання про механізми еволюції, ця теорія підвела до необхідності більш ґрунтовного розуміння процесів життя, які нерозривних з екологією. Матеріалізація такого розуміння проявилася, з одного боку, в розширенні

сфери досліджень за межі організму (формування і розвиток вчення про біогеоценози), з іншого - в переході від вивчення окремих процесів до вивчення їх взаємодії. Виявилося, що основні складні прояви життя тривалий час не отримували пояснення на основі колишніх методологічних позицій, пов'язані з внутрішньою взаємодією і організованістю (саморегуляція і регенерація, генетичний і фізіологічний гомеостаз тощо). Стало очевидним, що еволюцію можна зрозуміти тільки в рамках розгорнутих уявлень про організованість, тобто за умови істотного доповнення і збагачення еволюційного підходу.

Основна мета системних досліджень в біології - вивчення специфічних на кожному рівні біологічної організації різноманітних зв'язків в живій природі, в екосистемі. Поглиблення уявлень про систему зв'язків дозволяє вирішувати проблеми підпорядкування рівнів живої природи і пов'язані з ними проблеми управління. Отже можна дати наступне визначення.

Біологічна система - це структура, яка виконує функції: (біохімічну, фізіологічну, біоценотичну тощо), яка взаємодіє із середовищем та іншими системами як єдине ціле; складається з ієрархії підсистем нижчого рівня (клітина, організм, популяція) і, в свою чергу, є підсистемою для систем більш високого порядку. Вона безперервно здійснює адаптивну перебудову своєї діяльності за сигналами зворотного зв'язку і проявляє властивості самоорганізації, саморегулювання і саморозвитку.

Біологічні системи - це сукупність взаємопов'язаних структурних й функціональних компонентів, найзагальнішими особливостями яких є відкритість, упорядкованість та рівневість. Предметом сучасної біології є біологічні системи різної складності. Основними типами біологічних систем є клітина, організм, популяція, вид, екосистема та біосфера (рис. 10):



Рис. 10. Основні типи біологічних систем

Рівні організації біосистем - це певний тип взаємодії структурних та функціональних складників біологічних систем.

Більшість дослідників виокремлюють:

- молекулярний (складниками є хімічні елементи та сполуки, біохімічні реакції),
- клітинний (частинами є поверхневий апарат, цитоплазма та ядро, або нуклеоїд, життєві процеси клітин),
- організмівий (клітини, тканини, органи й системи органів організмів),
- популяційно-видовий (організми одного виду з їхніми взаємовідносинами),
- екосистемний (організми різних видів, які взаємодіють між собою та з навколишнім середовищем),
- біосферний (взаємопов'язані екосистеми) (Рис. 11)



Рис. 11. Рівні організації життя

Рівні організації біосистем взаємодіють за принципами єдності та ієрархії. Основою єдності всіх рівнів організації біосистем є проникаючі крізь них потоки речовин, енергії та інформації. А принцип ієрархії систем полягає у тому, що будь-яка система є компонентом системи вищого рангу і, в свою чергу, складається з підпорядкованих їй біосистем нижчого рангу.

Так, існування організмів забезпечується організацією будови й життєдіяльності на молекулярному і клітинному рівнях, а самі організми є компонентами популяційно-видового рівня.

Отже, усі рівні організації біосистем взаємопов'язані між собою завдяки триєдиному потоку речовин, енергії та інформації й організовані за принципом ієрархії (Рис.12).

Біосистеми та їх компоненти

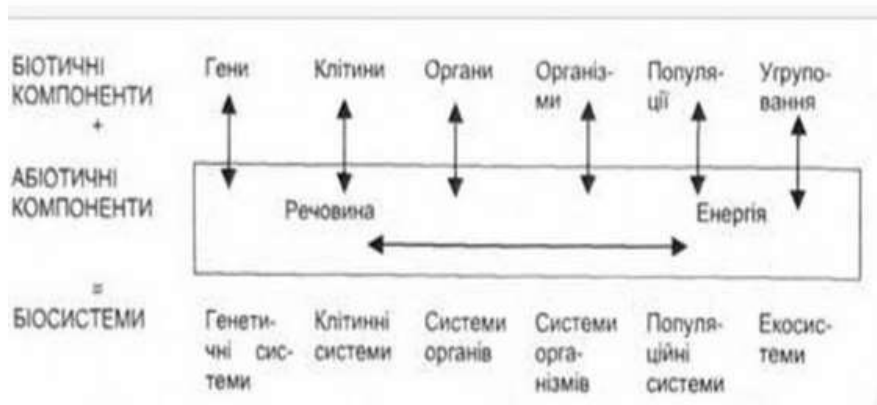


Рис.12. Біологічні системи та їх компоненти.



Рис. 13. Класифікація біологічних систем на прикладі організму людини.

2.2.2. Особливості біологічної системи

Фундаментальною особливістю біологічних систем є здатність до самоорганізації. Тільки живим системам властиві такі властивості, як подразливість, розмноження, обмін речовин.



Рис.14. Властивості біологічних систем

Основна форма управління в біологічних системах - доцільна саморегуляція, що забезпечує оптимальну їх поведінку в умовах навколишнього середовища, що змінюються. Доцільність поведінки полягає в прагненні біологічних систем до підвищення організованості, вдосконалення внутрішньої структури, надійності функціонування.

Біологічна система має властивість **стабілізації**, тобто вона може підтримувати свої параметри при змінах зовнішнього середовища. При тривалій зміні зовнішнього середовища біологічна система може перебудовувати свою структуру, тобто вона має властивість **адаптивності**.

При систематичних змінах навколишнього середовища біологічна система пристосовується до них, тобто вона здатна еволюціонувати. Біологічні системи здатні до самовідновлення і самовідтворення.

Для біологічних систем характерний механізм зворотного зв'язку. В ході еволюції відбуваються певні зміни в спадковості. Придбані властивості закріплюються в процесі розмноження.

Якщо нові покоління виявляються більш пристосованими, то реалізується **позитивний** зворотний зв'язок. В іншому випадку нові особини гинуть. Спрацьовує механізм **негативного** зворотного зв'язку. Система ж стабілізується в початковому стані. Для них характерно безперервне самовідновлення, що відповідає одному з основних принципів організації живого - підтримання стану стійкої нерівноваги.

Чим вище рівень живої організації в системі біосфери, тим більше вона віддаляється від рівноваги з навколишнім середовищем.

Як зазначалося раніше, за ступенем складності структури прийнято розрізняти системи: прості, складні і дуже складні. Розуміння специфіки поведінки і функціонування систем тієї чи іншої складності, особливо складних, відноситься до істотних умов постановки і рішення задач на системній основі.

Збереження єдності (цілісності) системи при постійно мінливих зовнішніх (екологічних) умовах можна вважати як досягнення рухомої рівноваги із середовищем проживання.

Стійкість такої рівноваги відбивається в узагальненому принципі Ле-Шательє, який відомий з хімії. Він відображає зміни в рівновазі хімічних реакцій, що відбуваються під впливом змін температури, тиску, видалення або накопичення

реагентів.

Якщо відповідна реакція проходить з поглинанням тепла, то нагрівання суміші збільшує її швидкість, а охолодження знижує. У сумішах різних речовин при одночасному проходженні реакції утворення (розпаду) будь-якої сполуки, зовнішні впливи призводять до зміни швидкості цих реакцій і концентрації даної сполуки в суміші.

В узагальненому вигляді принцип Ле Шательє слід розглядати як закон адаптації, який можна застосовувати до аналізу й оцінки будь-яких складних систем.

Згідно з цим законом кожна система прагне змінитися таким чином, щоб звести до мінімуму ефект зовнішнього впливу. При цьому, якщо інтегральні показники стану системи при відсутності змін зовнішнього середовища залишаються постійними, має місце стан **гомеостазу**, що відображає властивості біологічних систем утримувати свої суттєві для виживання параметри в заданих еволюційних межах. Якщо ж вони коливаються близько деякого середнього положення, залишаючись в певних межах, спостерігається стан **гомеокінеза**.

Гомеостаз складних систем досягається за допомогою цілого комплексу механізмів.

Прикладом вираженого стану гомеостазу можуть бути сформовані природні зони, які містять біотичні і абіотичні компоненти, що знаходяться в стійкому, квазістаціонарному стані, мають певний ґрунт, специфічні рослинні угруповання і типи режимів функціонування.

Зрозуміло, що абсолютний гомеостаз недосяжний. У природі частіше спостерігається гомеокінез, оскільки навіть при відсутності різких змін інтегральні показники систем коливаються в часі випадковим чином. Такі коливання в цілому незначні, тому при описі систем слід застосовувати середні характеристики інтегральних показників, що відносяться до деякого часового інтервалу.

Гомеостаз і гомеокінез можливі тільки при збереженні системи як єдиного структурного цілого.

Складним біологічним системам притаманна властивість самозбереження, яка відповідно до закону адаптації направлена на те, щоб зменшити несприятливі впливи на систему факторів навколишнього середовища.

Збереження цілісності біологічної системи здійснюється за допомогою зворотного зв'язку. Реакції живого організму, що сприяють зменшенню впливу довкілля, відносяться до негативних зворотних зв'язків. Позитивні зворотні зв'язки викликають зміни в системах на кшталт ланцюгової реакції. Якби вони повторювалися часто, тобто система змінювала б свої параметри при кожному невеликому впливі, то біологічні системи не могли б фізично існувати в природі.

Дублювання систем зворотного зв'язку підвищує стійкість роботи систем, їх ефективність і надійність. Ефективність зворотного зв'язку сприяє цілісності системи. Разом з тим можливості зворотних зв'язків не безмежні. Наприклад, температура

повітря може значно змінюватися, температура ж тіла теплокровної тварини буде залишатися незмінною лише до певної межі. Досягнення такого стану називають в біології **зривом адаптації**. Система або гине, або змушена істотно (стрибоподібно) перебудовуватися, щоб відповідати новим умовам.

2.2.3. Регуляція біосистем

Життя — це постійні зміни, незважаючи на які, більшість важливих параметрів живої системи лишається відносно сталими. Так, всього за рік в тілі кожної людини змінюється більшість атомів, а сама людина залишається практично такою, як була. Протягом століть в лісі змінюються всі організми, що його населяють, але важливі властивості лісу можуть лишатися незмінними. Які властивості біосистем забезпечують таку стійкість під час змін?

Для відповіді на це питання важливими є кібернетичні (пов'язані з наукою про управління) поняття прямого і зворотного зв'язку. **Прямий зв'язок** — це вплив якогось чинника на досліджувану систему (приклад: повертаючи кермо, водій змінює напрямок руху автомобіля). **Зворотний зв'язок** — залежність керуючого впливу від стану самої системи (приклад: зміна руху автомобіля впливає на повороти керма водієм). Таким чином, **зворотний зв'язок — це управління системою з урахуванням її стану**, залежність керуючого впливу від його результатів (рис. 15).



Рис. 15. Пояснення поняття зворотного зв'язку. А. Прямий і зворотний зв'язок. Б. Приклад зворотного зв'язку

Виділяють два типи зворотних зв'язків. **Позитивні зворотні зв'язки** посилюють відхилення керованої величини від вихідного стану, а **негативні зворотні зв'язки** повертають систему до попереднього стану. Інакше можна сказати, що позитивні зворотні зв'язки — це взаємна стимуляція двох процесів, а зворотні — пригнічення відхилень керованого процесу.

Розглянемо простий приклад (рис. 15, Б): над палким вогнищем кипить казанок з водою. Якщо вогонь горить дуже сильно, частина води вихлюпується, частково заливає багаття і зменшує інтенсивність горіння. Коли вогонь загасає, вихлюпування припиняється, і вогонь поступово розгорається знову. У даному прикладі відхилення керованої величини (інтенсивності горіння) викликає таку зміну дії керуючого фактора (вихлюпування), яке справляє на керовану величину вплив, протилежний

(негативний за знаком) початковому відхиленню. Таким чином, в даному випадку ми маємо справу з негативним зворотним зв'язком.

А в якому випадку в подібному прикладі зворотній зв'язок виявиться позитивним? Якщо в казанку замість води буде гас! При цьому чим яскравіше буде горіти багаття, тим сильніше буде вихлюпуватися гас, що буде ще більше посилювати горіння вогнища.

Суттєво, що в прикладі з казанком позитивні зворотні зв'язки швидко виведуть систему з її вихідного стану (казанок з гасом спорожніє), а негативні (якщо в казанку — вода) призведуть до збереження її властивостей відносно постійними.

Негативні зворотні зв'язки стабілізують систему, **а позитивні** — переводять її в інший стан (тобто руйнують колишню структуру взаємозв'язків). Наявність альтернативних режимів функціонування біосистем визначається комбінаціями двох типів зворотних зв'язків: негативні стабілізують кожен режим, а позитивні забезпечують перемикання між такими режимами.

Наприклад, зміни в ході онтогенезу управляються позитивними зворотними зв'язками. Так відбувається, наприклад, розвиток закоханості (перемикання з одної поведінкової програми на іншу): стимул викликає інтерес, інтерес підсилює дію стимулу. Інтерес викликає певні дії, які також призводять до зростання стимулу і зростанню інтересу тощо. Процес залицяння і зближення досягає кульмінації, після чого система переходить в інший стан...

Зазвичай негативні зворотні зв'язки можуть діяти в певному діапазоні регуляції. При виході за межі цього діапазону вступають в дію позитивні зворотні зв'язки, що руйнують систему. Повертаючись до прикладу з казанком на багатті, можна переконатися, що і різке зростання сили полум'я, і затухання багаття виведе систему за межі «коридору», в якому її стан регулюється негативними зворотними зв'язками.

Наведемо більш актуальний приклад: збільшення концентрації вуглекислого газу в атмосфері активізує реакції, що його знижують (посилює фотосинтез, збільшує зв'язування у вигляді вапна у Світовому океані). При виході концентрації вуглекислого газу за певні межі (наприклад, при його надмірному підвищенні) включаються механізми, що переводять систему в інший стан. Зростання температури через парниковий ефект викликає зменшення фотосинтезуючої зеленої маси, прискорення вивільнення вуглекислоти з ґрунту, що може призвести до подальшого підвищення концентрації CO_2 (і переходу системи в інший стан з іншими негативними зворотними зв'язками, що його стабілізують).

Біологічні системи можна розглядати як кібернетичні, які характеризуються впорядкованими внутрішніми взаємодіями. В організмах керуюча система внутрішня і спеціалізована, в технічних пристроях з негативним зворотним зв'язком (сервомеханізмах) — зовнішня і спеціалізована, в екосистемах — внутрішня і неспеціалізована (рис. 16). Типовою особливістю всіх кібернетичних систем є те, що

низькоенергетичні процеси в них керують високоенергетичними (рух руки на рубильнику зупиняє завод).

На організменому рівні суттєві перебудови обміну речовин можуть викликати лише кілька молекул гормонів. В екосистемах найбільший регулюючий вплив на угруповання можуть справляти вершинні хижаки, які відповідають лише за невелику частку обміну речовин, що проходить в екосистемі. Перетинчастокрилі паразитоїди трансформують невелику частку потоку енергії, що протікає через біоценоз, але ефективно регулюють його чисту продукцію через рослиноїдних комах.



Рис. 16. Особливості негативних зворотних зв'язків у технічному пристрої (А.) і екосистемі (Б.)

Таблиця 1. Приклади регуляції за принципом негативного зворотного зв'язку для різних рівнів організації біосистем

Рівень	Приклад регуляції за принципом негативного зворотного зв'язку		
	Процес	Прямий зв'язок	Негативний зворотний зв'язок
Молекулярний	Регуляція активності ферменту	Фермент синтезує певний продукт	Недолік продукту призводить до активізації ферменту і посилення його синтезу клітиною, а надлишок — до його інгібування і гальмування синтезу
Клітинний	Взаємозв'язок між асиміляцією та дисиміляцією	Розщеплюючи органічні речовини, тваринна клітина одержує енергію	Збільшення витрат енергії клітиною призводить до посилення процесів, в ході яких вона цю енергію отримує; зменшення витрат призводить до гальмування дисиміляції
Органно-тканинний	Регуляція поділу клітин в тканині	Нові клітини утворюються в результаті поділу наявних	Контакти між сусідніми клітинами в тканинах гальмують їх проліферацію; відсутність сусідніх клітин і контактів з ними стимулює клітку до розмноження
Організменний	Підтримання температури поверхні тіла у гомойотермних організмів	Посилення поверхневого кровообігу призводить до розігрівання поверхні тіла	Охолодження поверхні тіла призводить до посилення кровообігу і відновленню необхідної температури, а помірне нагрівання — до зменшення кровопостачання поверхні

Продовження таблиці 1

Рівень	Приклад регуляції за принципом негативного зворотного зв'язку		
	Процес	Прямий зв'язок	Негативний зворотний зв'язок
Популяційний	Регуляція розмноження завдяки територіальності	У багатьох видів в розмноженні беруть участь тільки особини, які мають індивідуальну ділянку	При надмірній чисельності популяції значна частина енергії особин витрачається на територіальні конфлікти, а кількість принесеного потомства не збільшується або навіть зменшується; при зниженні чисельності спостерігається зворотна реакція
Біогеоценотичний	Біоценотична регуляція чисельності популяції	Хижаки, паразити і брак ресурсів впливають на чисельність популяції	При скороченні чисельності популяції хижаки переключаються на інших жертв, погіршуються умови для поширення паразитів, стають доступнішими ресурси; зростання чисельності викликає протилежні процеси
Біосферний	Регуляція вмісту вуглекислоти в атмосфері	Фотосинтез і зв'язування зменшують концентрацію CO ₂	З ростом концентрації CO ₂ посилюється фотосинтез і зв'язування вуглекислоти у вигляді вапна у воді океану

2.2.4. Екологічні системи

Системний підхід в екології зумовив формування цілого напрямку, який став її самостійною галуззю - системною екологією.

Поняття «екосистема» введено англійським ботаніком А. Тенслі (1935 р), який позначив цим терміном будь-яку сукупність спільно мешкаючих організмів і їх навколишнє середовище. За сучасними уявленнями - екологічна система являє собою сукупність спільно мешкаючих різних видів організмів і умов їх існування, що знаходяться в закономірному взаємозв'язку один з одним і динамічній рівновазі.



Рис. 17. Будова екосистеми.

СКЛАД ЕКОСИСТЕМИ

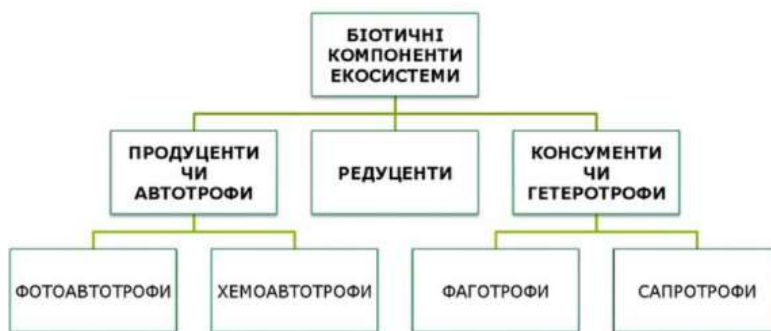


Рис. 18. Склад екосистеми

СТРУКТУРА ЕКОСИСТЕМИ



Рис.19. Структура екосистеми

Поняттю «екосистема» близьке інше поняття - «біогеоценоз».

Поняття «біогеоценоз» (біос - життя, гео - земля, ценоз - спільність) - введено академіком В.М. Сукачова в 1940 році. Це щодо просторово обмежена, внутрішньо однорідна природна система взаємно пов'язаних живих організмів (рослин, тварин, мікроорганізмів) і навколишнє їх небіологічних середу.

Біогеоценоз - спільнота рослин (фітоценоз), тварин (зооценоз), мікроорганізмів (мікробіоценоз) з певною ділянкою земної поверхні з його мікрокліматом, геологічною будовою, ландшафтом, ґрунтом, водним режимом, що знаходяться в закономірному взаємозв'язку один з одним. Біоценози характеризуються певним енергетичним станом, типом і швидкістю обміну речовин і інформації.

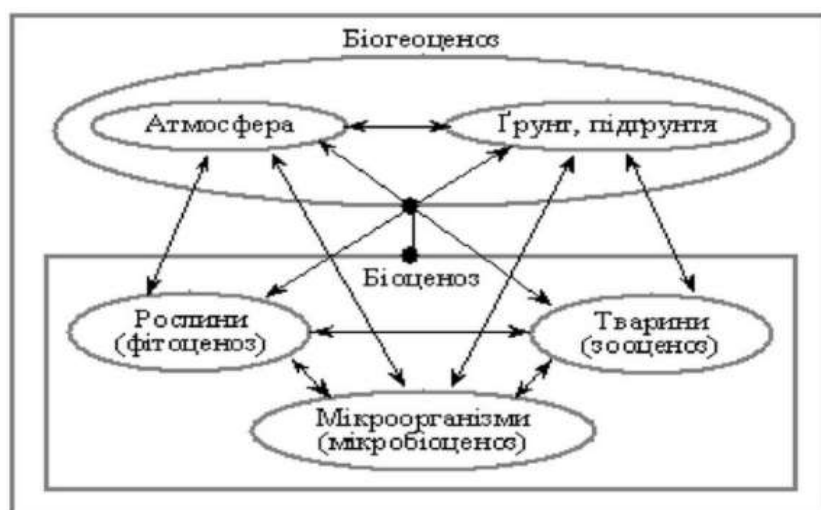


Рис. 20. Структура біогеоценозу.

Поняття «екосистема» і «біогеоценоз» близькі один до одного, але не синоніми. За визначенням А. Тенслі, екосистеми - це безрозмірні стійкі системи живих і неживих компонентів, в яких відбувається зовнішній і внутрішній кругообіг речовин і енергії. Це луг, ліс, озеро, крапля води з мікробами, горщик з квіткою, космічний корабель, але під визначення біогеоценозу вони не потрапляють, тому що їм не властиві багато ознак цього визначення. Екосистема може включати кілька біогеоценозів. Будь-який біогеоценоз є екосистемою, але не всяка екосистема може вважатися біогеоценозом, причому біогеоценози - це суто наземні утворення, які мають свої чіткі межі.

Біогеоценоз включає сукупність на певній території абіотичних факторів (екотопів) і сукупність живих організмів (біоценоз), причому в екотоп входять кліматичні чинники (кліматоп) і ґрунтово-ґрунтові (едафотоп), а в біоценоз - зооценоз, фітоценоз і мікробіоценоз [Гуков, 1990].

Стрілки на рисунку позначають взаємозв'язок компонентів біогеоценозу і означають канали передачі інформації між різними компонентами круговороту речовин і потоку енергії.

Антропогенна діяльність (зокрема будівельники) може перекривати канали

передачі інформації, потоки енергії, кругообіг речовин (наприклад, забудовуючи землю, асфальтуючи ґрунт, вирубуючи ліс, зводячи греблі, викидаючи відходи тощо).

Екологія виникла і розвивалася як одна з біологічних наук.

Існує чимало класифікацій біологічних наук, кожна з яких, хоча і не охоплює все науки, але дозволяє визначити місце екології серед інших дисциплін. Згідно зі схемою, запропонованою Б.Г. Йоганzenом (1959), коло біологічних дисциплін може бути розділене на три групи - загальні, приватні і комплексні науки.

Загальні науки включають систематику, морфологію, фізіологію, екологію, генетику, біогеографію, еволюційне вчення;

Приватні науки об'єднують мікробіологію, ботаніку, зоологію;

У комплексні науки входять гідробіологія, ґрунтознавство, паразитологія.

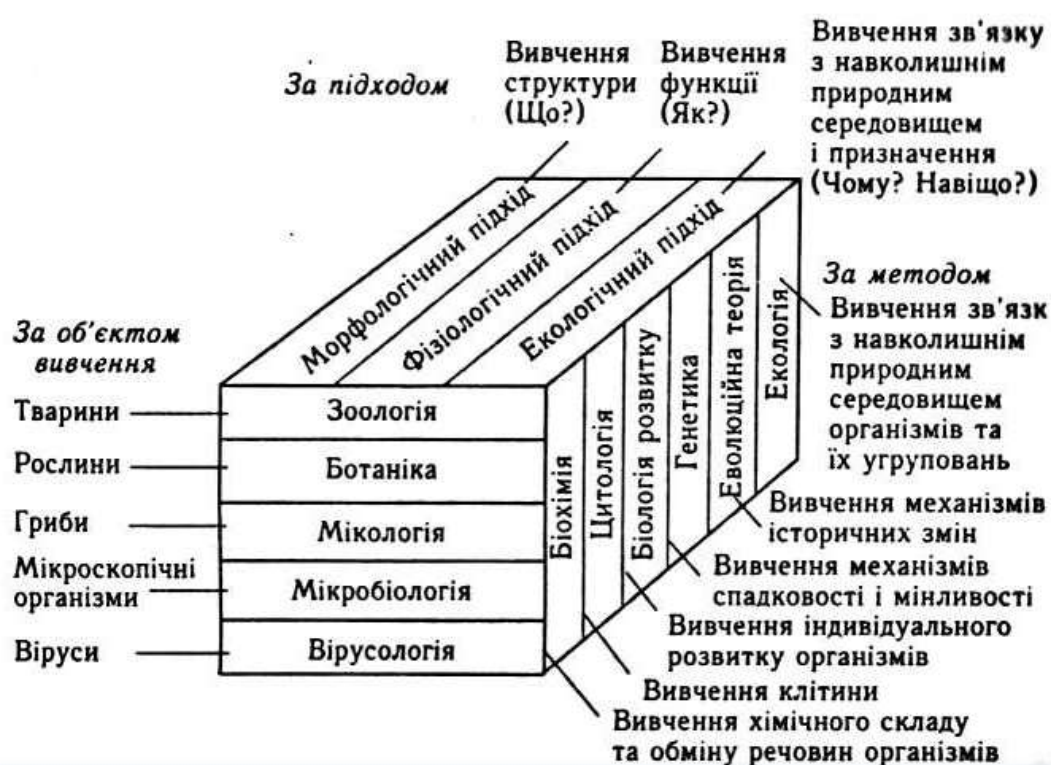


Рис.21. «Структура» біології.

Загальні біологічні науки вивчають весь органічний світ в певному напрямку, якусь одну сторону його життєвих явищ - «трохи про все». Так, систематика вивчає закономірності класифікації організмів; генетика - закономірності спадковості; екологія - закономірності взаємини організму і середовища.

Приватні науки вивчають конкретні об'єкти органічного світу всебічно, тобто «Все про одне». Так, мікробіологія вивчає систематику, морфологію, фізіологію, екологію мікроорганізмів.

Кожна із загальних і приватних наук підрозділяється на частини.

Приватні науки представляють собою складні комплекси дисциплін меншого рангу, тому екологія є важливою складовою частиною всіх дисциплін цієї групи

(екологія вірусів, екологія рослин, екологія тварин, екологія ссавців, екологія птахів, екологія людини).

Комплексні біологічні дисципліни пов'язані з кожним з середовищ життя на Землі - водою, повітрям, ґрунтом і організмом. Отже, вони цілком перебувають на екологічній основі, і в них домінує екологічний підхід при вивченні конкретних явищ.

Специфіка сучасної екології полягає в тому, що вона з суворо біологічної науки перетворилася в значний цикл знань, включивши в себе розділи географії, геології, хімії, фізики, соціології, теорії культури, економіки і інших наукових дисциплін. Отже, сучасна екологія - комплексна біоцентрична наука, яка обумовлює різноманіття екологічних систем.

Будь-яка екологічна система є системою відкритою, оскільки вона завжди взаємодіє з зовнішнім середовищем: сонячною радіацією, вологооборотом на поверхні і в ґрунтах, вітровим перенесенням і виносом матеріалу. Тобто будь-які просторові обмеження екосистеми завжди умовні.

Поняття екологічної системи ієрархічне. Це означає, що будь-яка екологічна система певного рівня включає в себе ряд екосистем попереднього рівня, менших за площею і сама вона, в свою чергу, є складовою частиною більш великої екосистеми.

2.2.5. Стан системи. Зміна стану системи: криза, катастрофи, катаклізми

Стан системи визначається режимом її функціонування, коли інтегральні показники знаходяться в гомеостазі (або гомеокінезі) з навколишнім середовищем, а узагальнена структура системи залишається незмінною в часі і в просторі. Математично доведено, що число станів системи обмежене. Ця обмеженість не дозволяє системі приймати невласиві їй (довільні) стани. Обмежений характер стану системи, жорстко прив'язаний до певних тимчасових проміжків рівень інтегральних базових показників і зовнішніх впливів, визначається її внутрішньою структурою.

Зміна стану системи супроводжується змінами її інтегральних показників і структурними перебудовами різного масштабу. При цьому система може зберегти ряд своїх найбільш важливих характеристик. Вона залишається цілісною і продовжує, як і раніше, входити в якості компонента в іншу систему більш високого рівня. Фізичні та інші втрати можуть спостерігатися на рівні елементів гетерогенної (неоднорідної за складом) системи.

Такого роду зміна станів називається **кризою**. Вона не веде до руйнування системи, але обумовлює її істотну перебудову.

Фактично криза для більшості систем служить механізмом оновлення, екстраординарним механізмом адаптації до нових умов. Наприклад, світова економічна криза призвела до спаду економіки в багатьох державах, її перебудови і подальшого оновлення.

Більш радикальні зміни в системі, як правило екзогенної природи, називають

катастрофою. Вона характеризується корінною структурною перебудовою системи. Окремі її компоненти зникають, а на їх місці можуть виникнути нові.

Змінюється морфологія системи. Інтегральні показники стану системи значно оновлюються. Приклади екологічної катастрофи - загибель екосистеми Аральського моря.

Більш кардинальні зміни системи називаються **катаклізмами**.

По суті це - руйнування системи, переважної більшості її структурних ланок. Зникає основна частина компонентів.

Відтворення системи після катаклізму - це побудова нової системи з використанням елементів старої. Інтегральні показники системи після катаклізму умовно приймаються рівними нулю, означаючи тим самим відсутність даної системи в колишній якості.

Наведена класифікація можливих змін систем характеризує ймовірну глибину змін, що мають як негативні, так і позитивні наслідки.

Наприклад, в разі значного глобального потепління тундра може бути замінена тропіками. Відбудеться катастрофа для екосистеми тундри, але не для всієї біосфери. У нових умовах буде реалізована здатність живих систем до саморозвитку при зміні шляхів його досягнення. Реалізується загальносистемний принцип «виживання через кризу».

Мінімальний відрізок часу, протягом якого відбувається зміна станів системи, називається характерним часом розвитку системи. Вимірювати інтегральні показники системи через інтервали часу, менші характерних, некоректно.

Наприклад, при оцінці змін родючості ґрунту, мінімальний відрізок часу не може бути коротше вегетаційного періоду.

Контрольні питання

1. Дайте визначення поняттям «біологічні системи» і «екологічні системи».
2. Назвіть особливості біологічної системи.
3. Як підрозділяються біологічні та екологічні системи за ступенем складності структури?
4. Поясніть поняття «гомеостаз» і «гомеокінез». У чому їхня відмінність?
5. У чому полягає зворотний зв'язок системи?
6. Поясніть, що в біології називають зривом адаптації.
7. Поясніть зміни станів: кризи, катастрофи, катаклізми.
8. У чому відмінність екологічної проблеми і екологічної кризи?
9. Дайте характеристику основних підходів до моделювання та прогнозування в екології.

Побудуйте схему:

- підрозділи біологічних дисциплін по групах;
- екологічної системи широколистяних лісів.

Розділ 3. МОДЕЛІ ТА МОДЕЛЮВАННЯ

3.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МОДЕЛІ І МОДЕЛЮВАННЯ

3.1.1. Модель. Суть, розвиток та основні функції моделювання

3.1.2. Вимоги, що пред'являються до моделей

3.1.3. Класифікація та типи моделей

3.1.1. Модель. Суть, розвиток та основні функції моделювання

Слово «модель» як наукове поняття, вперше було застосовано у зв'язку зі створенням неевклідових геометрій і набуло наукового статусу після розробки теорії подібності.



Рис.22. Процес створення моделі.

Модель - штучно створений об'єкт у вигляді схеми, креслення, логіко-математичних знакових формул, фізичної конструкції тощо, який будучи аналогічним (подібним, схожим) досліджуваному об'єкту (греблі, кораблю, літаку, ракеті, космічній станції тощо) відображає і відтворює в більш простому, зменшеному вигляді структуру, властивості, взаємозв'язки і відносини між елементами досліджуваного об'єкта, безпосереднє вивчення якого пов'язане з будь-якими труднощами, великими витратами коштів і енергії або просто недоступно, і тим самим полегшує процес отримання інформації про предмет, що нас цікавить.

Досліджуваний об'єкт, по відношенню до якого виготовляється (розробляється) модель, називається **оригіналом, зразком, прототипом**. Найпростішою формою фізичної моделі є **макет** (наприклад, греблі, будинки, літаку).

Отже, модель - це певна подоба, аналог дійсності, який може бути побудований і досліджений за допомогою різних засобів (від словесного опису до імітації на ЕОМ).

Моделі відображають найбільш важливі сторони розглянутого об'єкта і створюються для вивчення істотних властивостей реальних систем або управління ними.

Використання моделей дає можливість передбачати поведінку реальних об'єктів без проведення відповідних експериментів (рис. 23).



Рис.23. Структура моделювання.

Метод моделювання традиційно властивий науковому пізнанню, і зачатки його простежуються на всіх стадіях розвитку науки.

Оформився ж він як метод наукового дослідження тільки на досить високому ступені розвитку науки.

Передумовою до розвитку моделювання послужила тенденція переходу від вивчення речей до вивчення процесів, характерна для другої половини XIX ст. і як наслідок - ускладнення предмета досліджень.

Необхідна умова моделювання - вимога, згідно з якою будь-яка модель повинна бути спрощеною копією свого оригіналу.

3.1.2. Вимоги, що пред'являються до моделей

До моделей пред'являють ряд специфічних вимог, що сприяють їх використанню, як інструменту дослідження і прийняття рішень.

1. Модель повинна описувати досліджувану систему з достатньою повнотою і мати властивість еволюційності.
2. Ступінь абстрактності моделі не повинна викликати сумнів в її практичній користі.
3. Модель повинна передбачати можливість отримання хоча б наближеного

рішення до необхідного моменту часу (запізніле рішення може виявитися помилковим або непотрібним).

4. При отриманні рішення за допомогою моделі має бути можливість використання обчислювальної техніки.

5. У процесі побудови моделі повинна бути можливість перевірки її правильності.

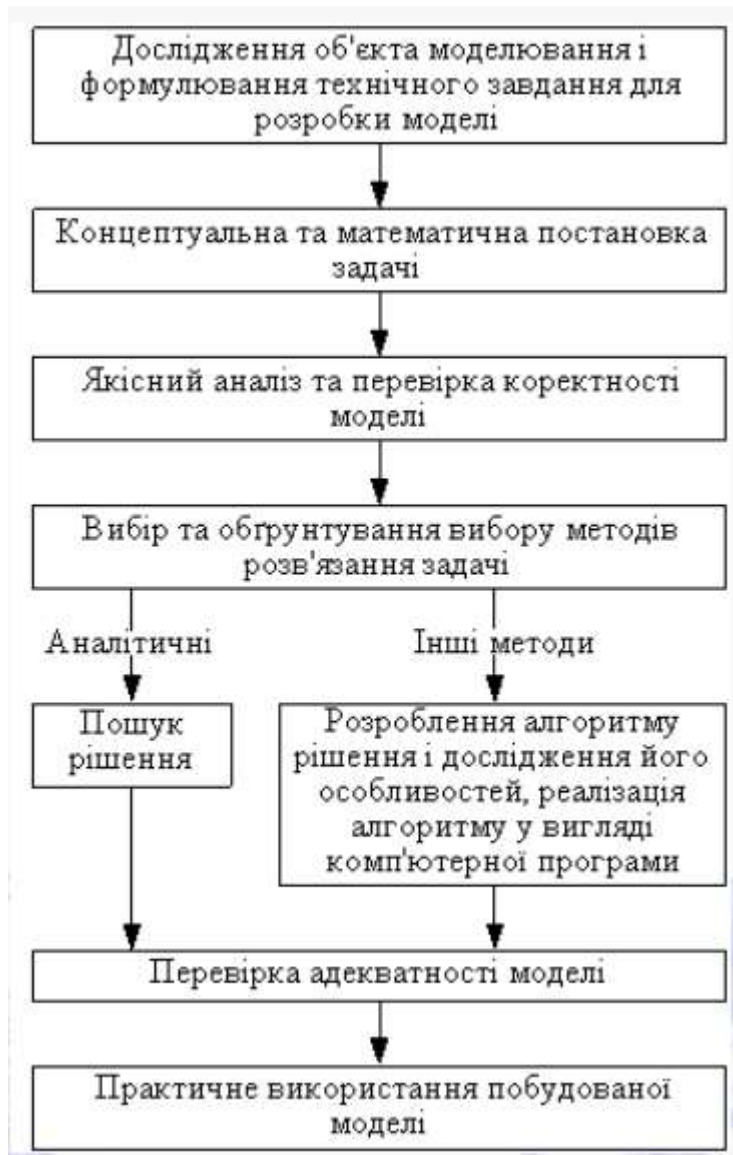


Рис. 24. Послідовність етапів побудови математичної моделі

Важливо також, щоб модель відповідала цілі конкретного завдання дослідження, була критичною до варійованих параметрів (помітно реагувала на їх зміну) і простою (не містила в собі другорядних зв'язків).

3.1.3. Класифікація і типи моделей

Основні ознаки класифікації моделей:

1. Область використання;
2. Врахування в моделі тимчасового чинника (динаміки);
3. Галузь знань;
4. Спосіб представлення моделей.

Класифікація моделей за типами:

За областю використання моделі поділяють на п'ять типів:

- навчальні - тренажери, наочні посібники, яких навчають програми;
- дослідні - моделі корабля, машини; це зменшені або збільшені копії проєктованого об'єкта. Їх називають також натурними і використовують для дослідження об'єкта і прогнозування його майбутніх характеристик;
- науково-технічні - синхрофазотрон, прилад імітує розряд блискавки. Такі моделі створюють для дослідження процесів і явищ;
- ігрові - ділові, військові, економічні, спортивні ігри;
- імітаційні - не просто відображають реальність з тим або іншим ступенем точності, а імітують її. Експеримент або багаторазово повторюється, щоб вивчити і оцінити наслідки будь-яких дій на реальну обстановку, або проводиться одночасно з багатьма іншими схожими об'єктами, але поставленими в різні умови. Подібний метод вибору правильного рішення називають методом проб і помилок.



Рис. 25. Типи моделей.

За характером зв'язку з реальним об'єктом, який імітує наявні моделі, їх також поділяють на п'ять типів:

- описові - словесні;
- образотворчі - моделі геометричної подоби;
- моделі-аналоги - в яких певні (фізичні, геометричні та ін.) параметри використовуються для виявлення закономірностей зміни зовсім інших (наприклад, економічних) параметрів;
- функціонуючі моделі-системи, в яких зберігаються істотні властивості модельованої системи (за винятком її розмірів);
- символічні моделі, які за допомогою математичних і логічних символів (літер, чисел та інших знаків) відображають властивості досліджуваної системи, використовуючи для цього математичний апарат (рівняння, нерівності).

Є і інші типізації, пов'язані з поняттями аналогії і моделювання. Так, часто виділяють типи моделей:

- фізичні (модель греблі);
- графічні (мережевий графік або дерево цілей),
- соціометричні (соціологічне дослідження громадської думки з будь-якої проблеми);
- економічні (економіко-математичес кая модель оптимального плану);
- математичні (модель атома або живої клітини);
- логіко-лінгвістичні (семантичні мережі).

Особливу значущість останнім часом набули математичні і логіко-лінгвістичні моделі. Під математичною моделлю розуміють виражені в математичній формі основні закономірності і зв'язки, властиві досліджуваного явища. Як правило, математичні моделі реальних явищ, покладені в основу обчислювального експерименту, є досить складними. Однак, реалізація та аналіз моделі в ході обчислювального експерименту сприяють отриманню більш повного знання і конкретних відомостей про досліджуваному явищі (об'єкт, процес). Обчислювальний експеримент служить також знаряддям пошуку невідомих якісних закономірностей, властивих досліджуваним об'єктам.

Слід зазначити, що ряд Нобелівських премій по хімії, медицині, економіці, фізиці елементарних частинок присуджений роботам, методологічну основу яких складає обчислювальний експеримент.

За допомогою математичної моделі можна висловити точно встановлені фундаментальні закономірності (математична модель в строгому розумінні) або обмежитися описом деяких зовнішніх характеристик об'єкта. Математичним моделям притаманна така властивість, як універсальність. Так, диференціальне рівняння нелінійної теплопровідності придатне для опису не тільки теплових процесів, але і дифузії речовини, руху ґрунтових вод, фільтрації газу в пористому середовищі тощо. Змінюється лише сенс величин, що входять в рівняння.

Накопичений потенціал математичного моделювання при дослідженні одного кола завдань, можна застосувати до вирішення зовсім інших завдань.

Однак, будь-яка модель не може бути всеосяжною. Вона повинна бути спрямована на вирішення певної задачі.

У певному сенсі будь-яке застосування математичних методів є математичним моделюванням.

За способом представлення моделі поділяються на матеріальні та інформаційні.

Матеріальні моделі називають предметними або фізичними. Вони відтворюють геометричні та фізичні властивості оригіналу і завжди мають реальне втілення. Найпростіші приклади матеріальних моделей - дитячі іграшки. За ним дитина отримує перше уявлення про навколишній світ. Дворічний малюк грає з плюшевим ведмежем. Коли, через роки дитина побачить в зоопарку справжнього ведмедя, вона легко впізнає його. Матеріальні моделі - це, наприклад, опудала птахів в кабінеті біології, карти - при вивченні історії та географії, схеми сонячної системи і зоряного неба на уроках астрономії, багатоступінчастої ракети і ще багато іншого.

Інформаційні моделі - це сукупність інформації, що характеризує властивості і стан об'єкта, процесу, явища, а також взаємозв'язок із зовнішнім світом. Їх не можна взяти в руки або побачити, вони не мають матеріального втілення, тому що вони будуються тільки на інформації. В основі цього методу моделювання лежить інформаційний підхід до вивчення навколишньої дійсності.

За характером обліку часу моделі поділяються на:

- статичні, де стан процесу вивчається в фіксований момент часу,
- динамічні, де процес розглядається в часі.

Статична модель - це одномоментний зріз інформації з об'єкту. Наприклад, обстеження студента в стоматологічній поліклініці дає картину стану його ротової порожнини на даний момент часу: число молочних і постійних зубів, пломб, дефектів тощо.

Динамічна модель дозволяє побачити зміни об'єкта в часі. У прикладі з поліклінікою, картку студента, що відбиває зміни, що відбуваються з його зубами за багато років, можна вважати динамічною моделлю.

Як видно з наведених прикладів, один і той же об'єкт, можливо вивчати застосовуючи і статичну, і динамічну моделі. Найбільшу складність представляє побудова і вивчення динамічних процесів.

За кількістю етапів прийнято розглядати багатоетапні і одноетапні моделі. Багатоетапні моделі - динамічні, в них безперервний процес розділений на ряд етапів. Статичні моделі відносяться до одноетапних.

За формою математичного опису моделі поділяються на дві великі групи: стохастичні, що враховують випадкові процеси, і детерміновані, в яких елементи випадковості не враховуються.

Стохастичні моделі складніше детермінованих. За формою їх описів розрізняють моделі динаміки середніх, імовірнісні (дискретні і безперервні) і статичні.

При вирішенні різноманітних питань управління, в різних сферах діяльності, набули поширення **імітаційні** моделі. Вони пов'язані з багаторазовим відтворенням характерних особливостей системи і навколишнього її середовища, з вибором випадкового, але реально можливого співвідношення аналізованих параметрів без фактичного відтворення реальної системи. Реалізуються вони в різних формах (фізичній, ігровій, машинної імітації).

Машинна імітація (моделювання з використанням ЕОМ) заснована на багаторазовому моделюванні системи в надзвичайно прискореному масштабі часу з використанням випадкових елементів і з подальшою обробкою отриманих статистичних результатів. Здійснюються «програвання» різних рішень і оцінка їх наслідків. З'являється можливість впливати на систему і управляти процесами, що відбуваються в ній. Один з видів імітації - ділові ігри. В ході гри формуються відомості, необхідні для передбачення розвитку подій в рамках гри, а отже, і в реальній обстановці.

Контрольні питання

Поясніть, будь ласка і дайте відповідь на наступні питання:

1. Дайте визначення поняттям «модель» і «моделювання».
2. Назвіть основні функції моделювання в науковому пізнанні.
3. Які вимоги пред'являються до моделей?
4. Як розподіляються типи моделей в залежності від характеру зв'язків з реальним об'єктом, за характером обліку часу, за кількістю етапів, за формою математичного опису?
5. Як здійснюється моделювання в екологічній діяльності?
2. Побудуйте схеми:
 - типи моделей. - вимоги, що пред'являються до моделей.
 - класифікація моделей по області використання, характером зв'язку з реальним об'єктом, способом подання, характером обліку часу.

Розділ 4. Застосування системного аналізу в охороні навколишнього середовища

4.1. Моделювання та прогнозування глобальних процесів.

4.1.1. Римський клуб, його історія, проекти. Моделі світової системи. Розвиток моделей світової системи і їх застосування.

4.1.2. Системний підхід до моделювання світових екологічних проблем

4.1.3. Елементи моделювання в доповіді Римського клубу «Межі росту»

4.1.4. Глобальне моделювання

4.1.1. Римський клуб, його історія, проекти. Моделі світової системи. Розвиток моделей світової системи і їх застосування.

В кінці 60-х рр. Римський клуб поставив за мету дослідити найближчі і віддалені наслідки великомасштабних рішень, пов'язаних з вибраними людством шляхами розвитку. Було запропоновано використовувати системний підхід для вивчення глобальної проблематики, взявши на озброєння метод математичного комп'ютерного моделювання. Результати дослідження були опубліковані в 1972 р в першій доповіді Римському клубу під назвою "Межі зростання".

Автори доповіді дійшли висновку, що якщо сучасні тенденції зростання чисельності населення, індустріалізації, забруднення природного середовища, виробництва продовольства та виснаження ресурсів триватимуть, то протягом наступного століття світ підійде до меж зростання, відбудеться несподіваний і неконтрольований спад чисельності населення і різко знизиться обсяг виробництва.

Однак вони вважали, що можна змінити тенденції зростання і прийти до стійкої в довгостроковій перспективі економічної та екологічної стабільності. І цей стан глобальної рівноваги потрібно встановити на рівні, який дозволить задовольнити основні матеріальні потреби кожної людини і дасть кожному рівні можливості для реалізації особистого потенціалу.

В кінці 60-х рр. все голосніше звучали голоси, що попереджали про загрозові явища і тенденції, які отримують планетарний масштаб і можуть мати незворотні наслідки для долі всього людства. Однак голоси ці звучали в пустелі.

Здавалося б, глобальні проблеми, від вирішення яких, врешті-решт, залежить майбутнє світу, негайно повинні були стати головною турботою народів Землі, громадських і політичних діячів, урядів. Але і до цього дня політики в боротьбі за владу зайняті лише тим, що може вплинути на їх долю під час чергової виборчої кампанії; суспільна свідомість неминуче відстає від реальності, визнає нове тільки з плином часу, а новизна швидко втрачає гостроту.

Коли пройшов шок від ядерного бомбардування Хіросіми, люди заспокоїли себе міркуваннями про те, що ніхто ніколи більше не застосує ядерну зброю, або що саме конкретна людина уникне загибелі. Новий шок - Чорнобиль - показав, як мало ми знаємо про наслідки і масштабах радіоактивного зараження, і нікого не змусив серйозно замислитися про проблеми зберігання ядерної зброї і ядерних відходів. Така вже властивість людей - в нещастя тішити себе надіями.

Здатність людини сприймати нову інформацію взагалі обмежена, а якщо вона існує в жебрацьких умовах, не має ні їжі, ні житла, її навряд чи схвилює перспектива знищення всього живого в ядерній пожежі або екологічне лихо. Ми ясно бачимо, як склалася сьогодні в ситуація, що відсуває прийдешні глобальні небезпеки на другий план - увага напруженого суспільства направлена на боротьбу за виживання.

У масовій і в індивідуальній свідомості завжди присутні якісь психологічні "обмежувачі", що ускладнюють розуміння справжньої складності об'єктів і процесів реальності. Однак їх можна подолати, наполегливо доводячи до людини інформацію в більш доступною або в незвичній формі.

Приблизно в цьому руслі міркували члени Римського клубу, маючи на меті, за словами Ауреліо Печчеї, "звернутися до людей планети ". У 1969 році Печчеї випустив у світ книгу-попередження "Перед безоднею", разом з однодумцями виступав з лекціями в різних країнах світу, але пізніше зізнавався: "... наші наполегливі поневіряння по світу не привели, по суті справи, ні до яких відчутних результатів - як нібито глобальні проблеми, до яких ми прагнули привернути загальну увагу, стосувалися зовсім не нашої, а якоїсь іншої, далекої планети.

Складалося враження, що більшість людей, яких ми зустрічали в наших мандрах, готові були всіляко вітати створення Римського клубу - за умови, однак, що він жодним чином не втручатиметься в їх повсякденні справи і не зазіхне на їх інтереси. Загалом, нам залишалося констатувати, що ніхто не тільки не висловив готовності приділити благу майбутнього всього людства хоч якусь частку свого часу, грошей або громадського престижу і впливу, але навіть, мабуть, і не вірив, що подібні жертви з їх боку можуть привести хоч до якихось позитивних результатів.

Наші слова знайшли не більше відгуку, ніж проповіді Папи Римського, вмовляння Генерального секретаря ООН У. Тана або, скажімо, застереження стурбованих учених і мислителів. Складалося враження, що їх забували ще до того, як чули ... ".

Поставивши за мету дослідити найближчі і віддалені наслідки великомасштабних рішень, пов'язаних з вибраними людством шляхами розвитку, Римський клуб повинен був втілити результати робіт в таку форму, яка зробила б їх надбанням широкої публіки і одночасно вагомим аргументом для людей, які приймають рішення. Пошуки такої форми були справою нелегкою. З ще більшими - принциповими - труднощами зіткнулися спроби організувати систематичне наукове дослідження глобальних проблем в їх взаємозв'язку.

На той час уже сформувалося поняття "глобальної проблематики". "У межах цієї проблематики важко виділити якісь приватні проблеми і запропонувати для них окремі, незалежні рішення - кожна проблема співвідноситься з усіма іншими, і всяке очевидне на перший погляд рішення однієї з них може ускладнити або якось впливати на рішення інших. І жодна з цих проблем або їх поєднань не може бути вирішена за рахунок послідовного застосування заснованих на лінійному підході методів минулого.

Нарешті, над усіма проблемами нависла ще одна складність, яка недавно з'явилася і перекидає всі інші. Як показав досвід, на певному рівні розвитку проблеми починають перетинати кордони і поширюватися по всій планеті, незважаючи на конкретні соціально-політичні умови, що існують в різних країнах, - вони утворюють глобальну проблему ...".

4.1.2. Системний підхід до моделювання світових екологічних проблем

Проблематику глобального розвитку можна подати як систему - сукупність взаємопов'язаних компонентів цивілізації і природи, що виникла і розвивається в результаті діяльності індивідів, соціальних і культурних спільнот і всього людства. Одна з найважливіших особливостей глобальної системи - безліч суб'єктів діяльності з різними потребами, інтересами і цілями. Між різними цілями, між цілями і результатами діяльності закономірно виникають протиріччя, які й породжують проблеми, характерні для кожного великого етапу розвитку системи.

Але складні системи не зводяться до простої суми їх складових. Щоб зрозуміти цілісність, її аналіз неодмінно повинен бути доповнений глибоким системним синтезом. Тут потрібен міждисциплінарний підхід і міждисциплінарні дослідження, необхідний зовсім новий науковий інструментарій.

У коло близьких щойно народженому Римському клубу людей увійшли представники нового наукового напрямку, який почав розвиватися з початку 60-х рр. і отримав назву системного аналізу або системного підходу. Мета його - отримати метод об'єктивної розстановки пріоритетів і оптимізації прийнятих рішень при постійно обмежених ресурсах і доступній інформації.

Зауважимо, що мова йде не про відсутність необхідної інформації і не про недостатню опрацьованість пропозицій. Тут криється фундаментальна проблема, яка зачіпає чи не самі основи організації будь-якої людської діяльності. Виявлялося, що одні і ті ж завдання в різному контексті, на різних рівнях прийняття рішень вимагають абсолютно різних способів організації та різних знань.

При переході по мірі конкретизації плану дій з одного рівня на інший, радикально трансформуються формулювання як основних цілей, так і головних принципів, на яких базується їх досягнення.

І, нарешті, на стадії розподілу між окремими програмами обмежених загальних ресурсів доводиться порівнювати принципово незрівняне, оскільки ефективність кожної з програм можна оцінювати тільки по якомусь одному властивому їй критерію.

Для досягнення законів, керуючих людською діяльністю, важливо було навчитися розуміти, як в кожному конкретному випадку складається загальний контекст сприйняття чергових завдань, як призвести до системи (звідки і назва - "системний аналіз") спочатку розрізнені і надлишкові відомості про проблемну ситуацію, як узгодити між собою і вивести одне з іншого уявлення та цілі різних рівнів, які стосуються єдиної діяльності.

Залучені ідеями Ауреліо Печчеї, президент Інституту системного аналізу і прогностики Ганноверського університету Едуард Пестель, австрійський вчений, консультант ОЕСР і автор фундаментальної праці про технологічне прогнозування Еріх Янч, професор Хасан Озбекхан, який очолював один з каліфорнійських "мозкових трестів", запропонували використовувати системний підхід для вивчення проблем суспільного життя і глобальної проблематики, взявши на озброєння метод математичного комп'ютерного моделювання.

"Модель", "моделювання" - загальнонаукові поняття, прийняті математиками, фізиками, економістами, представниками багатьох інших наук. Кожен натураліст знає, що, формулюючи закони природи, він представляє їх в термінах поведінки певних моделей, що відображають явища природи, а не в термінах реальності, що спостерігається.

Для багатьох процесів - соціально-економічних, в тому числі - величезне значення має залежність спостережуваних явищ від "контексту" структури взаємозв'язків, які пронизують світ. Певна якість розвитку складних процесів може так змінити цей "контекст", що одні фактори, до того що визначали динаміку ситуації, втрачають своє значення, а інші, які називались несуттєвими і не приймалися до уваги, виходять на перший план. Для завдань так званого системного рівня складності дуже характерно виникнення і зникнення істотних факторів у міру розгляду проблеми.

Ситуація ще більш ускладнюється, коли в логіці аналізу відповідних процесів виникають зворотні зв'язки, тобто наслідки подій починають впливати на умови виникнення самих цих подій. Це породжує в об'єктах дослідження таку плутанину, що цілі наукові школи взагалі заперечують можливість суворого об'єктивного аналізу причинно-наслідкових зв'язків і довіряють лише суб'єктивними оцінками експертів (хоча протиставлення результатів роботи моделі думці експертів - свого роду непорозуміння: експерт бере оцінки не зі стелі, а виводить з логіки міркування, значить, в його свідомості створюється уявна логічна модель аналізованого процесу).

Модель - це зовсім не обов'язково математичні формули або комп'ютерні програми, це спрощене уявлення про реальність, в якому присутня певна кількість факторів і відкинуто (принаймні, на якийсь час) несуттєве.

Для перших прогнозів про перспективи розвитку науки і техніки застосовувався як раз "метод Дельфі", суть якого полягає в опитуванні експертів, які виявлятимуть і інтерпретують проблему, даючи відповідні рекомендації. Хасан Озбекхан представив свою модифікацію методу Дельфі. Однак, за деякими міркуваннями, фахівці не вважали цей метод придатним. Щоб працювати, модель повинна була враховувати крім економічних, також екологічні, соціальні та політичні аспекти, і, крім того, відповідати масштабам глобальної проблематики.

Тоді своє сприяння запропонував професор Массачусетського технологічного інституту Джей Форрестер. У 1970 р Форрестер розробив моделі "Світ-1" і "Світ-2", включивши в них населення, виробництво сільськогосподарської та промислової продукції, природні ресурси і забруднення навколишнього середовища, і продемонстрував членам Римського клубу перші машинні прогони цих моделей (Рис. 26- 31).

Найважливішою концепцією у встановленні структури системи є ідея, що всі зміни обумовлюються «петлями зворотних зв'язків». В системі з петлями зворотних зв'язків (як це впливає з принципів системної структури) необхідно ввести два типи змінних - рівні і темпи. Рівні - це накопичувачі системи. Темпи – це потоки, що викликають зміну рівнів.

В якості основних рівнів, на яких будується структура системи, було обрано п'ять:

- населення;
- капіталовкладення (фонди);
- природні ресурси;
- частина фондів, вкладених в сільське господарство;
- рівень забруднення.

Наприклад, населення, як створене в результаті акумуляції «чистої» різниці між темпом народжуваності і темпом смертності, має розглядатися як рівень світової системи (рис. 26). Верхня петля визначає темп народжуваності, який збільшує населення. Нижня петля визначає темп смертності, що зменшує населення. Тут темп народжуваності і темп смертності визначаються кількістю людей, народжених і померлих за рік. Вони визначають загальний темп зміни чисельності населення.

Коефіцієнти BRN і DRN еквівалентні звичайно використовуваним термінам «коефіцієнт народжуваності» і «коефіцієнт смертності» і являють собою відносини числа народжених та померлих за рік до загальної чисельності населення.

Наприклад, щоб визначити темп народжуваності BR, величина BRN, рівна 0,04, множиться на кількість населення. Тобто при нормальних умовах за рахунок народжуваності населення щороку збільшується на 4%. Але в той же самий час

коефіцієнт DRN дорівнює 0.028, що означає зменшення чисельності населення в рік на 2,8% внаслідок смертності. Різниця цих величин і є чистий приріст населення (на 1,2% в рік).

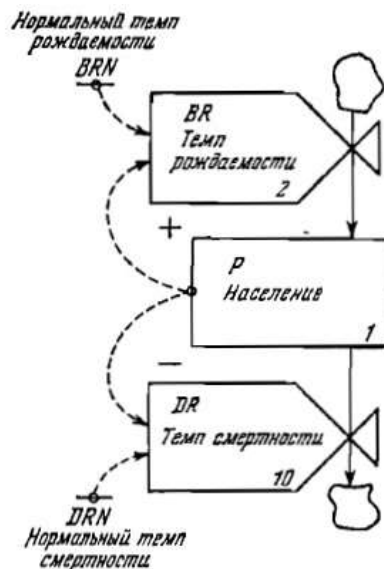


Рис.26. Основні петлі зворотного зв'язку в секторі населення

Ці темпи називаються «нормальними» тому, що вони відповідають стандартній системі світових умов, коли величини рівня харчування, матеріального рівня життя, щільності і забруднення відповідають своїм «стандартним» значенням. Однак ця ж система змінних при інших численних значеннях може викликати зростання або падіння темпів народжуваності і смертності в порівнянні з їх нормальними значеннями.

Вплив життєвих умов у світовій системі описується за допомогою «множників», які збільшують або зменшують нормальні темпи системи в залежності від того, наскільки сприятливий або несприятливий їх вплив в даний конкретний момент часу. Зміна цих множників, що відображають поточний стан світової системи (рівень харчування, матеріальний рівень життя, щільність населення і рівень забруднень), може викликати зростання населення, його стабілізацію або зменшення.

У нульовому наближенні демографічне рівняння має вигляд:

$$dN / dt = (b - d) N, \text{ де:}$$

N - поточна чисельність населення,

b - народжуваність (в моделі - BRN),

d - смертність (в моделі - DRN).

Рішення цього рівняння експоненційне:

$$N = N(0) e^{(b-d)t}.$$

У секторі населення можливі три версії рівноваги.

По-перше, теоретично припустима ситуація, коли $b = d = \text{const}$ (наприклад, народжуваність завжди підтримується трохи вище природної смертності, але при

цьому надлишки населення знищуються - версія, описана в ряді фантастичних творів).

По-друге, можливі коливальні рішення: в нульовому наближенні:

$$N = N(O) \sin(wt), \text{ де}$$

w - кругова частота коливань, зазвичай близько середнього терміну життя покоління. Така динаміка є характерною для відносин «хижак-жертва» в природних біоценозах.

Нарешті, існує логістичне рішення:

$$N = N(0)/(1-e^{ct}), \text{ де:}$$

$c = \text{const}$, що відображає повільне прагнення знизу до «рівня насичення».

На рис. 27 зображені дві петлі зворотного зв'язку, які описують регулюючі дії на капіталовкладення (фонди). Генерація капіталовкладень (фондів) CIG залежить від чисельності населення P і нормальної генерації капіталовкладень $CIGN$.

Досліджуючи позитивну петлю на рис. 2, ми бачимо, що збільшення капіталовкладень (фондів) CI підвищує послідовно CIR , $ECIR$, MSL , CIM , CIG , і знову CI . Однак, множник капіталовкладень CIM перестає рости при високих значеннях рівня фондів. Такий стан може досягатися, коли зростання позитивного зворотного зв'язку знижується настільки, що не здатне більше компенсувати темп зносу, що генерується петлею негативного зворотного зв'язку, що включає фонди CI і темп зносу фондів CID . У негативній петлі нормальний знос фондів $CIDN$ має значення 0,025 і задає ту частину фондів, яка зношується і усувається з «активних» фондів за рік. Це становить 2,5% зносу фондів за рік і еквівалентне середній тривалості «життя» фондів в 40 років.

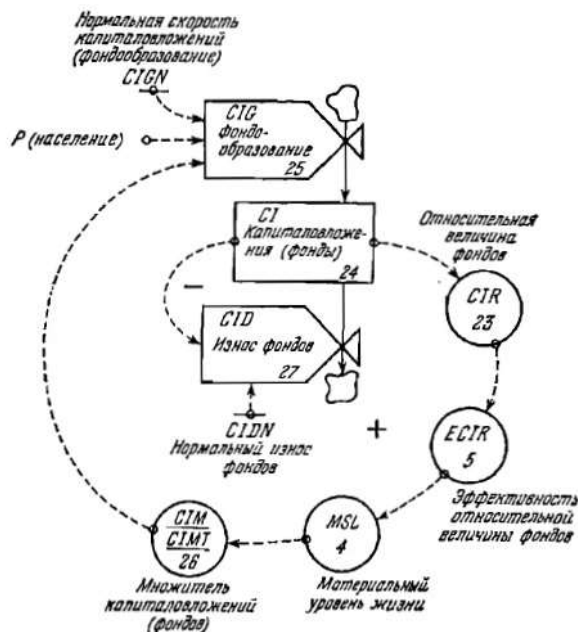


Рис. 27. Сектор капіталу. Петля позитивного зворотного зв'язку, в якій капітал виробляє капітал, і петля негативного зворотного зв'язку, в якій капітал (фонди) зношується і віддаляється.

Дві петлі зворотного зв'язку (негативна і позитивна) існують і в секторі забруднення (рис. 28).

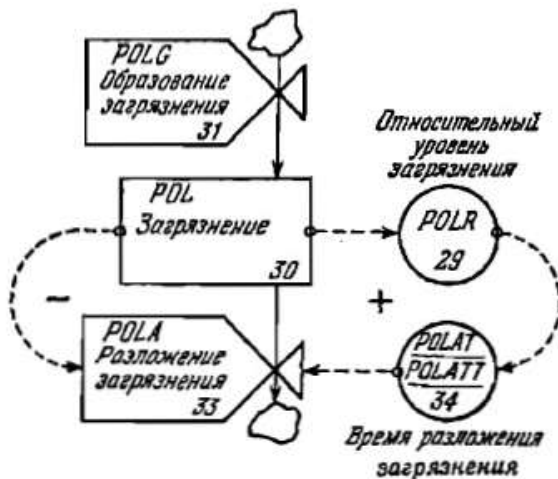


Рис.28 Сектор забруднення. Петля негативного зворотного зв'язку, що регулює поглинання забруднення, і петля позитивного зворотного зв'язку, що викликає накопичення забруднення.

У секторах щільності населення і забезпеченістю їжею існують тільки негативні зворотні зв'язки, що стабілізують населення (рис.29):

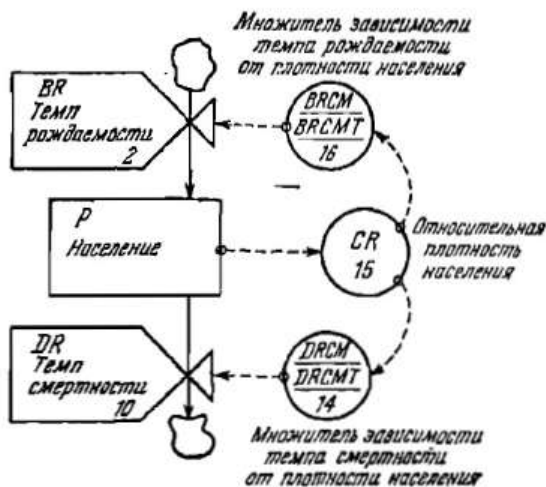


Рис. 29. Сектор щільності населення. Петлі негативного зворотного зв'язку, що забезпечують стабілізацію населенні на рівні максимальної психологічно допустимої щільності.

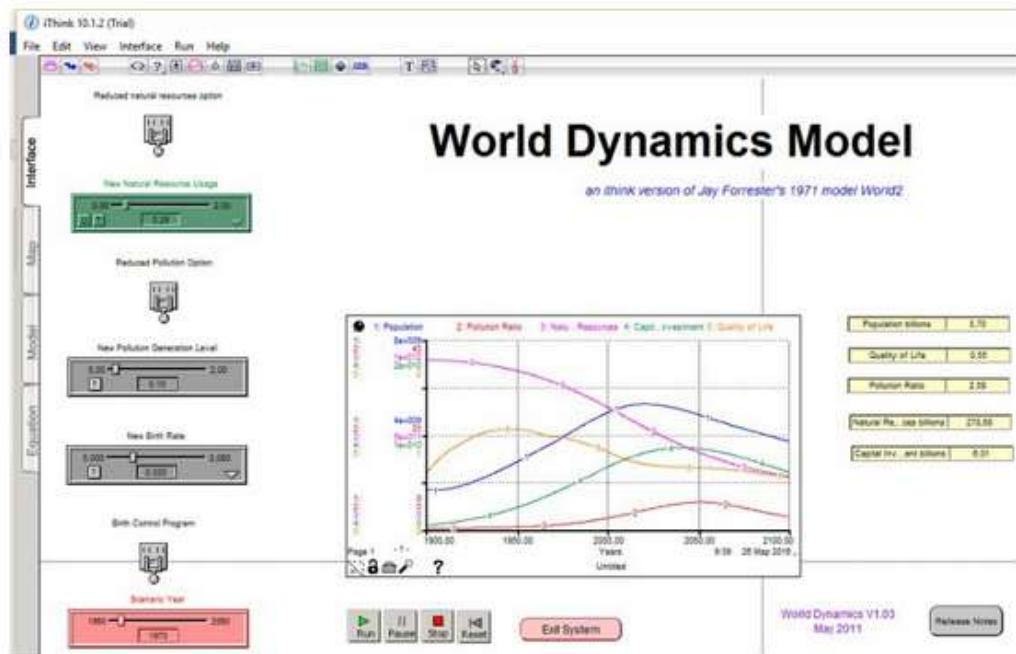


Рис. 32. Модель World2 у вікні програми IThink.

Джей Форестер припустив, що експоненціальне зростання народонаселення не може тривати нескінченно. Зростання населення і розвиток індустріалізації не безмежні. Питання полягає тільки в тому, коли і як воно припиниться, а не в тому, чи припиниться воно взагалі.

Світова модель, розглянута в книзі Форестера, містить чотири параметри, здатних обмежити зростання населення, - це виснаження природних ресурсів, збільшення рівня забруднення, перенаселеність, брак продуктів харчування.

Запропонована модель є системою, в якій процес зростання змінюється занепадом внаслідок виснаження природних ресурсів (рис. 33). Населення досягає свого максимуму в 2020 р, а потім починає зменшуватись, що викликається виснаженням природних ресурсів. Виснаження природних ресурсів різко знижує ефективність капіталовкладень і матеріальний рівень життя і, як наслідок, призводить до скорочення народонаселення. Запаси ресурсів починають катастрофічно зменшуватися вже до 2000 р (передбачення моделі не збулися).

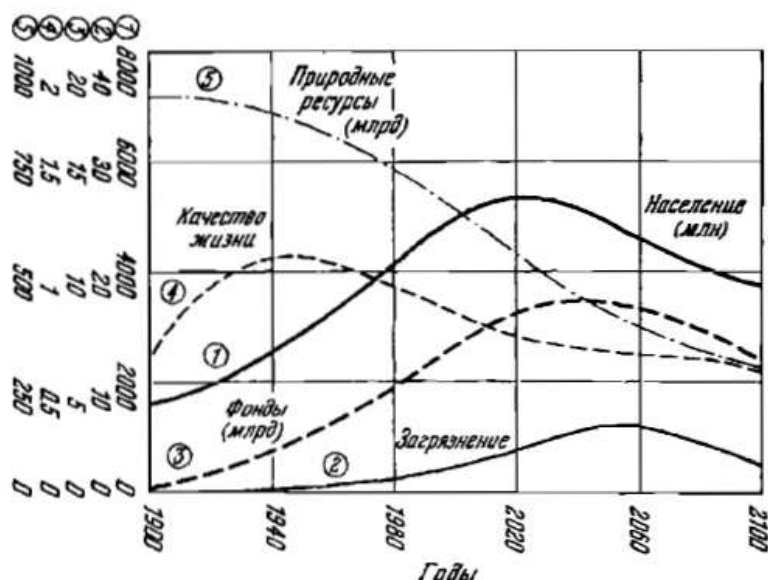


Рис.33. Криза виснаження природних ресурсів.

Але природні ресурси, можливо, не є вирішальним чинником світового навколишнього середовища. Легко змінити початкові умови в моделі системи так, щоб знизити залежність від природних ресурсів.

На рис. 34 темп використання природних ресурсів був знижений до 25% його початкової величини в 1970 р. Зменшення потреби в природних ресурсах усуває один з факторів обмеження розвитку системи. З'ясовується, що якщо природні ресурси більше не обмежують зростання, то в системі виникає інша сила, що пригнічує зростання. Такою силою є криза забруднення.

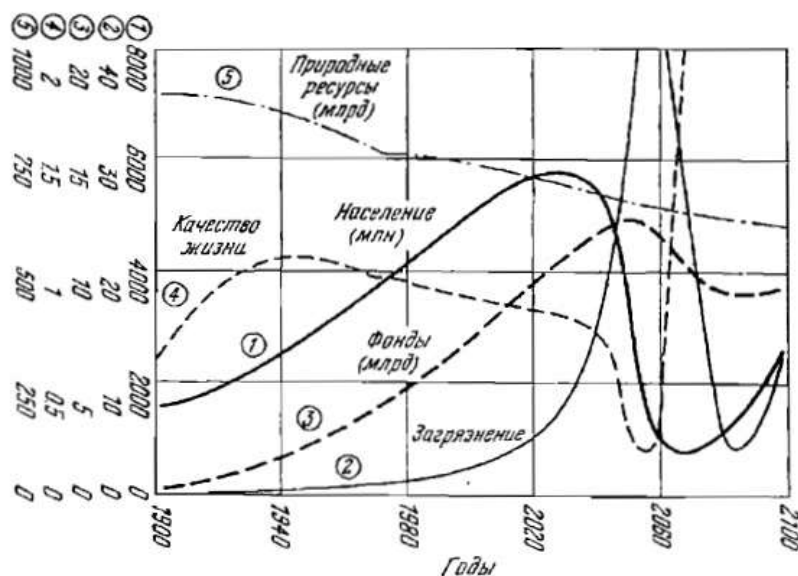


Рис. 34. Зменшення темпу використання природних ресурсів призведе до кризи забруднення.

Ці експерименти справили сильне враження, і помічників Форрестера Денніс Медоуз було доручено керівництво подальшою роботою. Медоуз очолив міжнародну

групу дослідників, в яку в числі інших 17 дослідників увійшли дружина Денніса Донелла Медоуз, біофізик; фізик Юрген Рендерс і інженер Вільям В. Беренс. На основі моделей Форрестера була створена модель "Світ-3", і результати дослідження були опубліковані в 1972 р. під назвою "Межі зростання". Через п'ятнадцять років після цього Едуард Пестель у своїй роботі "За межами зростання" дав його короткий виклад (наведено в редакції Д.М. Гвішіані)

4.1.3. Елементи моделювання в доповіді Римського клубу «Межі росту»

Світова модель була побудована спеціально для дослідження п'яти основних глобальних процесів:

- швидкої індустріалізації,
- зростання чисельності населення,
- збільшується брак продуктів харчування,
- виснаження запасів невідновних ресурсів,
- деградації природного середовища.

Побудована модель, як і будь-яка інша, недосконала, надмірно спрощена і залишається незавершеною.

«... На наш погляд, описувана модель вже розроблена досить, щоб принести користь людям, які приймають рішення. Крім того, нам здається, що основні тенденції, що проявилися в поведінці моделі, мають настільки фундаментальний і загальний характер, що навряд чи наші широкі висновки будуть серйозно спростовані подальшими дослідженнями.

Ось ці висновки:

1. Якщо сучасні тенденції зростання чисельності населення, індустріалізації, забруднення природного середовища, виробництва продовольства та виснаження ресурсів триватимуть, протягом наступного століття, світ підійде до меж зростання. В результаті, швидше за все, відбудеться несподіваний і неконтрольований спад чисельності населення і різко знизиться обсяг виробництва.

2. Можна змінити тенденції зростання і прийти до стійкої в довгостроковій перспективі економічної та екологічної стабільності. Стан глобальної рівноваги можна встановити на рівні, який дозволяє задовольнити основні матеріальні потреби кожної людини і дає кожній людині рівні можливості реалізації особистого потенціалу.

Якщо народи світу виберуть не перший, а другий шлях, то чим раніше вони почнуть працювати, щоб вступити на нього, тим більше у них шансів на успіх.

Всі складові описуваного дослідження - чисельність населення, виробництво продовольства, забруднення природного середовища, витрата невідновних ресурсів - ростуть. Щороку вони збільшуються за законом зростання. Експоненціальне

зростання величини означає, що за фіксований період часу вона збільшується в фіксоване число разів.

Експоненціальне зростання - звичайний процес в біологічних, фінансових і багатьох інших системах. Це динамічне явище. Значить, величини в цьому процесі змінюються з часом. Коли безліч відмінностей величин в системі зростає одночасно і всі вони знаходяться в складному взаємозв'язку, аналіз причин зростання і майбутньої поведінки системи стає дуже складним.

Протягом багатьох років в Массачусетському технологічному інституті) розроблявся метод динамічного вивчення складних систем. Цей метод був названий системною динамікою. В його основі лежить твердження, що поведінка системи часто залежить як від її структури - безлічі замкнутих, взаємопов'язаних взаємодій між складовими елементами, - так і від самих елементів. Модель світу, описана в книзі «Межі росту», була побудована за принципами системної динаміки.

Екстраполяція існуючих тенденцій - перевірений часом спосіб зазирнути в майбутнє (особливо в найближче і особливо, якщо на розглянуті величини не надто впливають інші тенденції, які спостерігаються в системі) . Звичайно, жоден з п'яти досліджуваних факторів не можна назвати незалежним. Кожен постійно взаємодіє з іншими.

Чисельність населення не може збільшуватися, якщо немає продуктів харчування, виробництво продуктів харчування зростає з ростом капіталу, зростання капіталу вимагає ресурсів, відпрацьовані ресурси збільшують забруднення, забруднення середовища впливає на зростання чисельності населення і виробництво продовольства. Крім того, кожен з цих факторів через довгий час починає відчувати вплив зворотних зв'язків.

У цій першій моделі світу дослідників цікавили тільки якісні характеристики поведінки системи "населення - капітал". Під характеристиками поведінки вони розуміли певні тенденції змінних систем (чисельності населення, наприклад, або рівня забруднення середовища) до зміни з плином часу.

Оскільки їх цікавили тільки найзагальніші характеристики поведінки, перша модель світу не потребувала ретельної деталізації. Дослідники розглядали показник "узагальненого населення", що статистично відображає середні характеристики населення земної кулі. Було взято тільки один клас забруднюючих речовин - сімейство довгоживучих широко поширених на Землі елементів і сполук (таких як свинець, ртуть, азбест, біостійкі пестициди і радіоізотопи), динамічну поведінку яких в біосистемі тільки почали пояснювати. Було введено в модель "узагальнені ресурси" величину, яка відображатиме загальні запаси всіх невідновних ресурсів, хоча знали, що для кожного окремого виду сировини характерна своя динаміка, яка відображає рівень запасів і швидкість їх виснаження.

На цьому етапі був необхідний високий рівень агрегації, щоб модель залишалася осяжною. У той же час це обмежувало інформацію, яку сподівалися отримати, спостерігаючи за поведінкою моделі.

Всі оцінки в моделі (чисельність населення, обсяг капіталу, рівень забруднення середовища та ін.) Відраховуються від значень 1900 р З 1900 по 1970 р всі змінні в загальному відповідали дійсним значенням. Чисельність населення, яка становила в 1900 р до 1,6 млрд. чоловік, зросла до 1970 р до 3,5 млрд.

Хоча народжуваність повільно падає, рівень смертності знижується швидше (особливо після 1940 г.) і темпи зростання чисельності населення збільшуються. Обсяг виробництва промислової продукції, продуктів харчування та послуг на душу населення зростає по експоненті. Запаси ресурсів в 1970 р становили майже 95% від значень 1900 року, але починали загрозливо скорочуватися, оскільки тривало зростання чисельності населення і обсягу промислового виробництва.

З поведінки моделі видно, що наближення до граничних значень і колапс неминучі, і причиною цього в даному випадку виявляється виснаження запасів невідновних ресурсів. Обсяг промислового капіталу досягає рівня, де потрібен величезний приплив ресурсів.

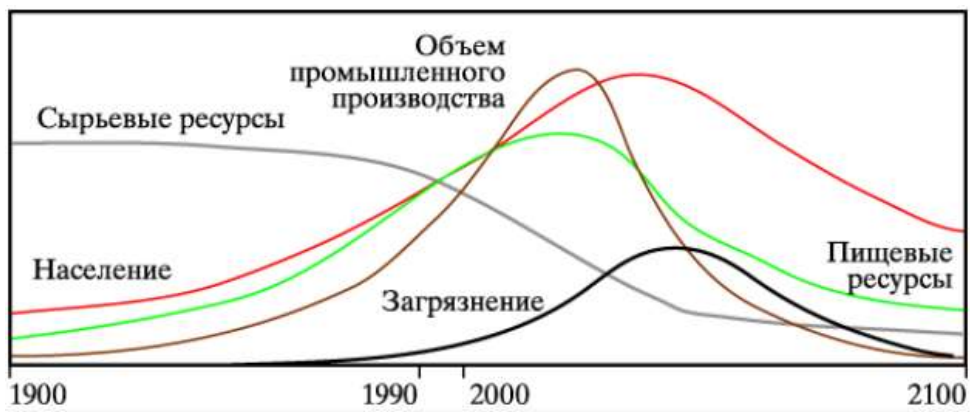


Рис.35. Модель «Межі росту»: стандартна модель.

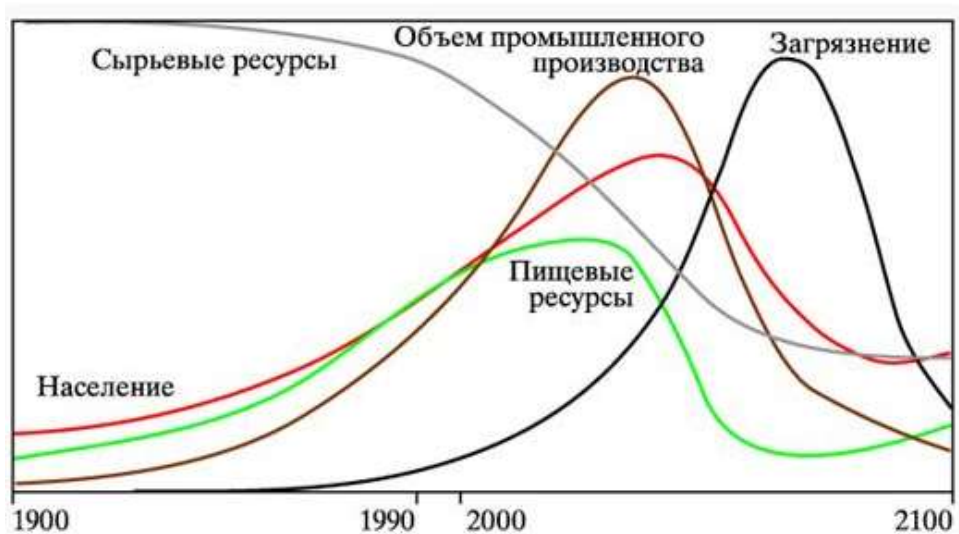


Рис. 36. Модель «Межі росту»: модель с подвоєними ресурсами.

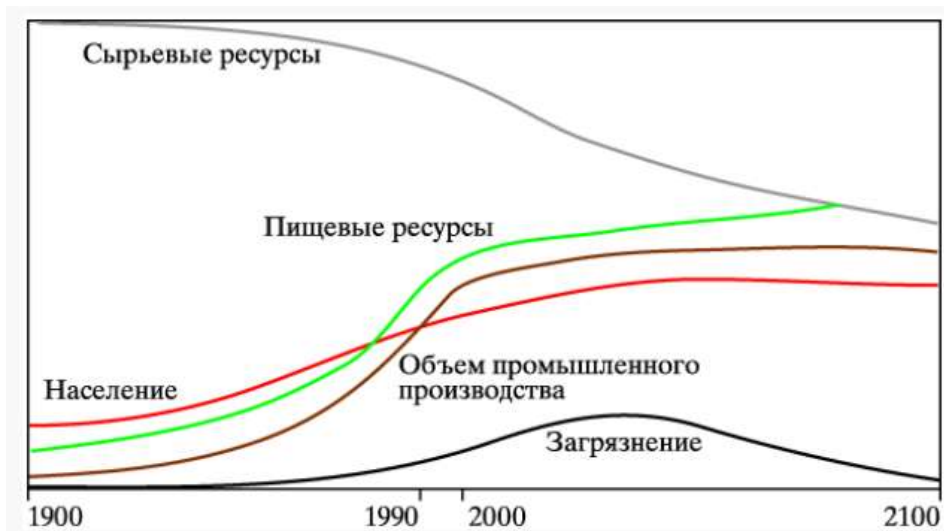


Рис.37. Модель «Межі росту»: модель глобальної рівноваги.

Сам процес цього зростання виснажує запаси доступної сировини. З ростом цін на сировину і виснаженням родовищ для видобутку ресурсів потрібно все більше коштів і, отже, все менше стають капіталовкладення в майбутнє зростання.

Нарешті, капіталовкладення не можуть компенсувати виснаження ресурсів; тоді руйнується індустріальна база, а разом з нею система послуг та сільськогосподарського виробництва, що залежать від промисловості (виробництво добрив, пестицидів, робота дослідних лабораторій і особливо виробництво енергії, необхідної для механізації).

За короткий термін ситуація серйозно ускладниться, тому що чисельність населення все ще зростає через запізнювання, обумовленого віковою структурою населення і недосконалістю регулюючих заходів. Зрештою, чисельність населення знижується, оскільки підвищується смертність в результаті нестачі продуктів харчування і медичних послуг.

Точно розраховувати час цих подій не має сенсу, так як рівень агрегування моделі високий і в ній присутня безліч невизначених факторів. Однак важливо, що зростання припиняється близько 2100 р.

У кожному сумнівному випадку дослідники намагалися виводити оцінки з максимальним оптимізмом, нехтуючи випадковими тимчасовими подіями, на кшталт воєн або епідемій, які могли б покласти край зростанню ще раніше, ніж передбачає модель. Іншими словами, зростання в моделі триває довше, ніж це може виявитися в реальному світі.

З впевненістю можна сказати, що якщо в сучасному світі не станеться корінних змін, зростання чисельності населення і промислового виробництва зупиниться не пізніше початку майбутнього століття.

Щоб перевірити результати, що стосуються запасів ресурсів, було подвоїно оцінку для 1900 р., зберігши всі інші припущення такими, якими вони були при звичайному прогоні. Тоді рівень індустріалізації виявився вищим, тому що при подібному припущенні запаси ресурсів виснажуються не настільки швидко.

Але зростаючі промислові підприємства забруднюють середовище з такою швидкістю, що навантаження на природу виявляється граничним. Рівень забруднення зростає дуже швидко, негайно викликаючи підвищення смертності і скорочення виробництва продовольства. І до кінця прогону запаси ресурсів виснажуються повністю, незважаючи на подвоєне значення їх початкової величини.

Чи обов'язково в майбутньому світова система буде рости, а потім прийде до катастрофи, до похмурого напівзлидненого існування? Так, якщо припустити, що наш теперішній спосіб життя не зміниться. У нас достатньо свідчень людської винахідливості і соціальної гнучкості. В системі закладені можливості безлічі багатообіцяючих змін, і деякі з них вже відбулися: "зелена революція" підвищила продуктивність сільського господарства в аграрних країнах; швидко поширюються способи регулювання народжуваності.

В історії людства багато прикладів, які доводять, що людина не вміє жити в обмежених фізичних межах. Але є і приклади успішного подолання кордонів, і цей тип поведінки увійшов в культурні традиції багатьох народів сучасного світу. За останні 300 років людство накопичило вражаючий запас грандіозних технічних досягнень, які дозволили відсунути межі демографічної та економічного зростання. Останній етап історії багатьох країн був настільки успішним, що народи, природно, сподіваються і надалі прориватися через природні межі за допомогою технології.

Але чи зможе нова технологія протистояти прагненню системи до зростання і подальшого колапсу?

Припустимо, що "технологічні оптимісти" праві і що за допомогою ядерної енергії ресурсна проблема буде вирішена. Припустимо, що рівень забруднення від усіх джерел знизиться в 4 рази. Припустимо, нарешті, що середня врожайність з 1 га збільшиться в усьому світі вдвічі. Крім того, припустимо, що всі країни приймають надійні заходи по обмеженню народжуваності.

Все це означає, що ми намагаємося так чи інакше обійти межі зростання, вводячи в кожен сектор моделі систему технологічних заходів. Модельована світова система використовує ядерну енергію, регенерує ресурс і, розробляє найглибші поклади сировини, вловлює всі забруднюючі речовини, збирає з полів немислимі врожаї, в ній народжуються тільки діти, появи яких пристрасно бажають їх батьки. І в результаті все одно зростання припиняється близько 2100 г.

У цьому винні три одночасних кризи:

- Навантаження на землю викликає ерозію, і виробництво продовольства скорочується.
- Високий рівень добробуту населення, хоча він не перевищує сучасного рівня добробуту в США, обумовлює значне виснаження ресурсів.
- Забруднення середовища зростає, знижується, потім знову різко зростає, в результаті чого знову скорочується виробництво продовольства і підвищується смертність.

Технологічні рішення можуть лише продовжити період демографічного і промислового зростання, але не відсунути його кінцевих меж.

Через безліч невизначених факторів, прийнятих наближень і обмеженості світової моделі не має сенсу розглядати детально весь спектр можливих катастроф. Ще раз підкреслимо: жоден комп'ютерний результат нічого не проорокує. Ми зовсім не думаємо, що реальний світ буде вести себе згідно з графіками, отриманими з роботи моделі, особливо коли мова йде про колапс.

Модель показує динаміку одних лише "фізичних" аспектів людської діяльності. Вона дає підстави припускати, що соціальні змінні - розподіл доходів, традиційний склад сім'ї, вибір товарів, продуктів і послуг - дотримуватимуться нинішньої "лінії поведінки". Ця лінія, що відображає людські цінності, була вироблена в фазі зростання цивілізації. І, звичайно, коли чисельність населення і обсяг виробництва почнуть падати, її потрібно буде серйозно переглянути. Важко собі уявити, які нові форми суспільної поведінки виникнуть у зв'язку із загрозою катастрофи, тому модель достовірна тільки для відрізка часу, що закінчується точкою, за якою припиняється ріст і починається колапс.

У всіх прогонах моделі міститься неявне твердження, що зростання чисельності населення і капіталу триватиме, поки не дійде до певних, "природних" меж. Це твердження, очевидно, теж має стати основним положенням в реальній сучасній системі людських цінностей.

... "Технологічні оптимісти" сподіваються, що технологія здатна знищити або відсунути межі зростання чисельності населення і капіталу. Світова модель показала, що технологічні рішення проблеми виснаження ресурсів, забруднення середовища, брак продовольства не вирішують головної проблеми - експоненціального зростання в кінцевій складній системі. Спроби дати навіть саму оптимістичну оцінку технологічними можливостями не запобігають скороченню чисельності населення і виробництва і не відводять катастрофи, яка повинна відбутися до 2100 г.

На жаль, модель на цій стадії розробки не показує побічних соціальних ефектів, які часто виявляються найбільш важливими, коли мова йде про вплив технології на життя людей.

Перш ніж братися за широкомасштабне впровадження нової технології, потрібно навчитися передбачати і попереджати соціальні наслідки.

... Технологію можна змінити дуже швидко, але політичні і соціальні інститути змінюються повільно. Крім того, реформи тут майже ніколи не попереджають вимоги суспільства, а проводяться тільки у відповідь на них.

Потрібно пам'ятати також і про соціальне запізнення. Воно необхідне, щоб дозволити суспільству освоїтися зі зміною або підготуватися до неї. Більшість таких запізнень - фізичної або соціальної природи - знижують стійкість світової системи і

збільшують ймовірність граничних форм в її поведінці. Їх вплив стає критичним, тому що процеси росту збільшують додаткове навантаження на систему.

... Ми поки ще не в змозі регулювати темпи технологічного прогресу. І можуть з'явитися завдання, які не мають технічного рішення або виникне комплекс взаємопов'язаних проблем, який покладе край зростанню чисельності населення і обсягу капіталу.

Технологічна боротьба з природними механізмами, за допомогою яких навколишнє середовище протистоїть процесам зростання, в минулому була настільки успішною, що вся людська культура ґрунтувалася на подоланні меж, замість того, щоб вчити людину жити в їх рамках.

Але що краще - жити, враховуючи ці межі і добровільно обмежуючи зростання, або рости, поки не наблизяться природні межі, в надії, що технологічний стрибок дозволить подолати їх? Протягом останніх століть людство так завзято й успішно йде другим курсом, і перша можливість була міцно забута.

Багато хто може не погодитися з тим, що зростання населення і капітал скоро зупиняться, але ніхто не буде сперечатися, що зростання матеріального виробництва на нашій планеті не може тривати до нескінченності. На нинішньому етапі історії ще можливо в кожній сфері людської діяльності зробити вибір.

Людина поки має шанс визначити межі зростання і зупинитися біля них, послабивши сили, що викликають зростання капіталу і чисельності населення, або розробивши контрзаходи, або роблячи і те й інше. Контрзаходи можуть виявитися не дуже приємними. Вони напевно змінять соціальну і економічну структуру, глибоко вкорінену в людській культурі за довгі століття зростання.

Але єдина альтернатива цьому - чекати, поки технологія не потребує більших витрат, ніж в змозі дозволити собі суспільство, або поки негативні наслідки технологічних рішень самі не зупинять зростання, або поки не виникнуть проблеми, що не мають технологічних рішень. У будь-якому з цих випадків від нас вже не буде залежати, біля якої межі зупинитися.

Віра в те, що технологія зрештою вирішить всі проблеми, може відвернути увагу від фундаментальних проблем, від проблеми зростання в кінцевій системі і не дозволить вжити заходів, необхідних для її вирішення.

4.1.4. Глобальне моделювання

Звичайно, модель не може претендувати на достовірний опис реальних подій. Взагалі системна модель дозволяє досліджувати не стільки логіку процесів, що відбуваються, скільки логіку міркувань, логіку вирішення завдань. Цю особливість багато дослідників і сьогодні розуміють недостатньо ясно. За багато років, що минули після створення першої глобальної моделі, результати якої були викладені в "Межах

зростання", зроблено чимало спроб моделювати реальний світ, розуміючи моделювання так, як це прийнято в природничих науках.

Але ні висока складність моделей, ні старання надати їм максимальну достовірність не дозволяють подолати їх природну обмеженість, обумовлену спочатку заданими параметрами, і передбачати події світового розвитку, пов'язані з якісними структурними змінами - найцікавішими для тих, хто чекає результатів аналізу.

Одна з труднощів розуміння методологічних принципів системного, в тому числі глобального, моделювання пов'язана з класифікацією моделей поведінки цілеспрямованих систем на "дескриптивні" і "нормативні".

Від перших очікують опису або відтворення поведінки, що спостерігається в природі, від других - рекомендацій про те, як повинні поводитися моделі згідно з визначеними принципами доцільності.

Але жодна дескриптивна модель не може описати всіх типів девіативної поведінки, тому в певному сенсі виявляється нормативною. І навпаки, будь-яка нормативна модель не може не враховувати, що поведінка системи або її окремих складових обмежена "звичним" способом поведінки.

Ці два типи моделей особливо сильно "змішуються", коли система виходить за межі свого нормального існування, тобто підходить до тих самих меж зростання, які турбують дослідників глобальної проблематики. Саме тут, напередодні катастрофи, що загрожує, гостро постає питання: чи збережуться "нормальні" режими поведінки, чи не зміниться саме поняття "норми", яка зумовлює доцільність поведінки системи. Тому фахівці з глобального моделювання постійно обговорюють, чи потрібно моделювати процеси формування стратегічних рішень, від яких буде залежати загальний напрямок розвитку в даній глобальній системі, і якщо потрібно, то як використовувати це модельне опис.

До нинішнього дня ця проблема вирішується лише, так би мовити, на сценарному рівні, коли стратегічні рішення приймаються заздалегідь, змінюються від сценарію до сценарію. Потім їх наслідки для різних сценаріїв порівнюються між собою. Тому сьогодні стало зрозуміло, що модель глобального розвитку не може бути повністю формалізованою, а повинна мати людино-машинний характер, коли людина намагається вгадати зміни загальної стратегії розвитку, продиктовані якісними змінами об'єктивної ситуації.

В подальшому розробка глобальних моделей отримала розвиток і поза Римського клубу.

У середині 70-х рр. вже активно функціонував Міжнародний Інститут прикладного системного аналізу в передмісті Відня, який на відміну від Римського клубу був постійно діючою науково-дослідною організацією. За його ініціативи відбулася представницька міжнародна конференція з глобального моделювання, де

були підведені деякі підсумки і зроблено загальні висновки про нинішній та можливий майбутній стан світу.

Ось основні з них:

1. Не можна сказати, як довго природне середовище, фізичні ресурси нашої планети зможуть ще задовольняти потреби зростаючого населення Землі і людської діяльності.

2. Оскільки фізичні розміри Землі обмежені, населення і обсяг промислового виробництва не можуть рости до нескінченності.

3. Природні ресурси Землі в принципі дозволяють задовольнити основні потреби кожної людини.

4. Нинішні тенденції кількісного зростання здатні збільшити розрив між багатими і бідними, виснажити ресурси, погіршити стан навколишнього середовища та економічне становище більшості населення.

5. Протягом наступних трьох десятиліть світова соціоекономічна система повинна перейти до якісно нового способу розвитку. Яким буде цей спосіб, залежить від рішень, які приймаються вже сьогодні.

6. Світовий прогрес має певну інерцію, тому негайні дії матимуть більший результат, ніж ті ж заходи, прийняті з запізненням.

7. Нова техніка може значно полегшити шлях у майбутнє, але сама по собі не вирішить глобальних проблем. Для цього необхідна перебудова соціальних, економічних і політичних систем.

8. Народи і держави Землі пов'язані між собою так тісно, що наслідки дій, вжитих в якийсь час в одній частині планети, можуть проявитися в інший час в інших частинах, і їх неможливо ні передбачити, ні обчислити за допомогою моделей. Тому дії, що переслідують вузькі обмежені цілі, найчастіше виявляються неефективними. Прийняті рішення повинні враховувати найширший контекст, тривалу тимчасову перспективу.

9. У довгостроковій перспективі співпраця виявляється для всіх учасників набагато вигідніше, ніж суперництво або змагання.

Сьогодні роботи по глобальному моделюванню ведуться в двох напрямках: в одному намагаються побудувати адекватну модель світу, в іншому - адекватну модель логіки вирішення глобальних проблем.

Цікаво відзначити, що "Межі зростання" критикували з двох протилежних сторін - за те, що модель, яка лежить в основі аналізу, неадекватна, не враховує багатьох факторів, які суттєво вплинули б на остаточні висновки; за надмірний рівень абстракції і сегрегації і за те, що основний висновок - неможливість зберігати колишні темпи інтенсивного зростання, якщо ресурси обмежені, - очевидний і не потребує ніяких формальних моделей, навіть таких простих, як у групи Медоуза.

Насправді, навіть Медоузу знадобилася машинна модель, якою вона була - дескриптивною або нормативною, - і чому результати дослідження справили на суспільну свідомість набагато більш сильний вплив, ніж аналогічні міркування економістів і екологів? Адже якщо запаси викопних ресурсів, землі, води принципово обмежені, то без будь-якого додаткового аналізу ясно, що зростання народонаселення, пов'язане з ростом споживання ресурсів, неминуче призведе до виснаження їх запасів.

Але людська свідомість не сприймає подібної логіки і, швидше за все, на межі звичних можливостей стане вести себе інакше і буде шукати інші шляхи. Бо відомо, що протягом всієї історії людство не раз знаходило вихід з критичних ситуацій.

Членів Римського клубу не потрібно було переконувати в серйозності стану справ, їх об'єднувало саме усвідомлення можливої катастрофи, до якої наближає нас сучасна стратегія розвитку.

Але залежність шляхів розвитку від загального "контексту", безліч перехресних і зворотних зв'язків не дозволяли провести глибокий аналіз на основі простої логіки міркувань, прийнятої в публіцистичних роботах того часу.

Модель Медоуза дала можливість не тільки зробити якісні висновки, а й проаналізувати динаміку і темпи наближення до меж зростання, виявити інерційність системи, тривалість дії наслідків від прийняття сьогоdnішніх рішень. Модель показала, що необхідно терміново вживати захисних заходів; висвітлила взаємопов'язаність клубка найскладніших проблем, які ми донині намагаємося вирішувати ізольовано.

У моделі Медоуза була ще одна перевага, яку багато критиків чи не ставили їй в провину. Вона чітко показала всі недоліки, однобічність і упередженість логічних міркувань. Можна з повною впевненістю сказати, що в іншій формі аналіз групи Медоуза не викликав би такої полеміки.

Чи можна сьогодні сказати, що висновки "Меж зростання" вплинули на стратегію розвитку світу? Ні, катастрофа, яку передрікали автори доповіді, здається сьогодні такою ж далекою, як і в 70-ті рр. Можна запитати, чи змінилася ситуація на краще за минулі 50 років і спокійні ми за своє майбутнє? Для позитивної відповіді, на жаль, немає підстав.

Головною причиною критичного ставлення до авторів першої доповіді Римському клубу виявилася запропонована ними програма дій, яка отримала назву концепції **"нульового зростання"**.

Пропонуючи програму, яка засуджує "нестримне зростання", вони тим самим заперечували будь-яке зростання, розвиток і регулювання змін в динаміці світової економіки. Реально протікаючі в світі соціальні, політичні, технологічні, економічні та психологічні процеси, багато з яких не були і не могли бути відображені в моделі "Світ-3", не дозволяли навіть уявити собі, як забезпечити практичний перехід до

концепції "нульового зростання". Для аналізу і оцінки цієї стратегії потрібна зовсім інша модель.

Звичайно, треба враховувати, що автори доповіді не ставили за мету доводити концепцію "нульового зростання", а бачили в ній, скоріше, приблизне рішення, яке вони протиставляли міцно складеним сучасним тенденціям розвитку.

І саме нереальність альтернативи разом з неможливістю врахувати структурні зрушення в передкризовий період послабила критичний потенціал роботи в очах фахівців і широкої громадськості.

Однак зараз ситуація на світовому ринку ясно показала, як важливо враховувати структурні зміни: замість передбаченого "Межами зростання" виснаження ресурсів вже до початку 90-х рр. на всіх сировинних ринках (за винятком ринку нафти і природного газу) пропозиція нерідко перевищує попит.

Це, з одного боку, доводить слабкість прогнозу, з іншого, несподіваного боку, - його силу, оскільки не в останню чергу похмурі пророцтва "меж зростання" змусили промисловість переходити до ресурсозберігаючого виробництва, освоювати нові технології, використовувати вторинні ресурси, створювати нові синтетичні матеріали, ввести режим економії тощо.

Попутно ще раз підтвердилася складність і запутаність світової проблематики: змінився образ дій постачальників і виробників сировини, ресурсна ситуація в розвинених країнах значно покращилася, але становище країн, що розвиваються, особливо тих, що спеціалізуються на продажу сировини, ускладнилося.

Положення країн, що розвиваються - фактор, істотний для оцінки реальності концепції "нульового зростання", виявився не врахованим в першій доповіді Римському клубу. Початкові умови здійснення нової стратегії розвитку визначили б величезну нерівномірність, породжуючи дилему: або зупинка росту увічніть нерівність, або виробництво в країнах, що розвиваються буде рости за рахунок скорочення обсягів виробництва в розвинених країнах.

Доповідь "Межі зростання", що розійшлася більш ніж в п'ять мільйонів примірників, поклала початок цілій низці доповідей Римському клубу, в яких отримали глибоку розробку питання, пов'язані з економічним зростанням, розвитком, навчанням, наслідками застосування нових технологій, глобальним мисленням. Дослідження, що проводяться під егідою Римського клубу, мають на меті не стільки підтвердити те чи інше положення, скільки стимулювати осмислення і обговорення фундаментальних проблем, які зачіпають майбутнє людства. Клуб допоміг народженню багатьох світових і регіональних інститутів, які досліджують гострі нагальні завдання, в тому числі завдання навчання з метою розвитку. Аде ж при всіх недоліках першої доповіді і помилках вона дала поштовх експериментальним дослідженням майбутнього, на весь світ заявивши про проблеми, які практично навіть не стояли на порядку денному.

Контрольні питання:

1. Охарактеризуйте діяльність Римського клубу.
2. У чому полягав системний підхід Римського клубу.
3. Дайте короткий виклад доповіді Римського клубу «Межі зростання» з точки зору системного аналізу.

Література

1. Авдин В.В. Математическое моделирование экосистем. Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ. – 2004. – 80 с.
2. Богач І.В. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень. Частина 1 : навчальний посібник / [Кветний Р. Н., Богач І. В., Бойко О. Р. та інші]; за заг. ред. Р. Н. Кветного. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 191 с.
3. Гвишиани Д. М. Краткий обзор докладов Римскому Клубу [Электронный ресурс] // Электронный научный журнал «Биосфера» – № 3 – 2002. – Режим доступа: http://www.ihst.ru/~biosphere/Mag_3/gvishiani.htm (дата звернення 10.11.2020) – Назва з екрана.
4. Гвишиани Д. М. Пределы роста – первый доклад римскому клубу [Электронный ресурс] // Электронный научный журнал «Биосфера» – № 2 – 2002. – Режим доступа: http://www.ihst.ru/~biosphere/Mag_2/gvishiani.htm (дата звернення 10.11.2020) – Назва з екрана.
5. Голубець М. А. Екосистемологія / М. А. Голубець. – Львів : ПОЛЛІ, 2000. – 316 с.
6. Добровольський В. В. Поняття «екологічна ніша» в екосистемології / В. В. Добровольський // Наукові праці : науково-методичний журнал. – Т. 107. Вип. 94. Екологія. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2009. – 104 с.
7. Зильберман, М. В. Системный анализ и основы моделирования экосистем: учебное пособие / М. В. Зильберман. М-во с.-х. РФ, федеральное гос. бюджетное образ. учреждение высшего образ. "Пермский гос. аграрно-технолог. ун-т им. акад. Д. Н. Прянишникова". – Пермь: ИПЦ "Прокрость", 2018. – 102 с.
8. Киселева Н.Г. Системный анализ и моделирование экосистем: конспект лекций / Н.Г. Киселева. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2008. – 128 с.
9. Медоуз Донелла Х., Медоуз Деннис Л., Рэндерс Й., Беренс В. Пределы роста/ Пер. с англ.; Предисл. Г. А. Ягодина. — М.: Изд-во МГУ, 1991. — 208 с.
10. Моисеев Н. Н. Математические модели системного анализа. – М.: Наука, 1981.
11. Острошенко В.В. Системный анализ и моделирование экосистем: учебное пособие / В.В. Острошенко, Л.Ю. Острошенко, ФГБОУ ВПО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия». – Уссурийск, 2012.– 165 с.
12. Пэнтл, Р. Методы системного анализа окружающей среды / Р. Пэнтл. – М. : Мир, 1979. – 213 с.
13. Системний аналіз якості навколишнього середовища: підручник /Т. А. Сафранов, Я. О. Адаменко, В. Ю. Приходько, Т. П. Шаніна, А. В. Чугай, А. В. Колісник. За ред. проф. Т. А. Сафранова і проф. Я. О. Адаменко. –Одеса: ТЕС, 2014. – 244 с.

14. Смольянов А.Н. Моделирование экосистем: тексты лекций / А.Н. Смольянов; Фед. Агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования, Воронеж. гос. лесотех. акад. – Воронеж, 2006. – 140 с.
15. Теорія систем в екології : підручник / Ю. Г. Масікевич, О. В. Шестопапов, А. А. Негадайло та ін. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 330 с.
16. Шарабчиев Ю.Т. Методы системного анализа и экспертных оценок планируемых научно-исследовательских работ . Медицинские новости. – 2017. – №2. – С. 72-76. Режим доступа: <https://www.mednovosti.by/journal.aspx?article=7913> (дата звернення 10.11.2020) – Назва з екрана.