

2.2.5. Методи і засоби системного аналізу в дослідженні СФС

Проведений аналіз властивостей СФС і розгляд комплексів задач, що виникають при їх вивченні, дозволяє вказати на наступні особливості такого роду досліджень [11]:

- СФС містять велику кількість різнорідних підсистем з великим числом взаємозв'язків-носіїв інформації різного характеру;
- для прийняття рішень щодо цілеспрямованої зміни поведження СФС необхідно вирішувати велику кількість взаємозалежних задач з використанням різних методів як кількісного і якісного аналізу, так і знань і досвіду (або евристики) людини;
- наявність фактора невизначеності: при дослідженні СФС. Ці особливості визначають використання для дослідження фізичних систем методів і засобів теорії системного аналізу.

Системний аналіз СФС

Під *системним аналізом* СФС будемо визначати процес застосування математичних, організаційних і методологічних засобів, призначених для прийняття рішень у СФС при наявності інформації різної природи і з обліком істотної підготовки невизначеностей на різних етапах підготовки рішень.

Що стосується методів рішення задач усіх рівнів СФС, представлених на рис. 2.5, то їх можна узагальнено звести в табл. 2.3 [11].

Таблиця 2.3

Рівень	Проблема	Задачі, які вирішуються	Метод, який використовується для дослідження
1-й рівень	Натурні випробування. Моніторинг та обробка даних вимірювання	Оцінювання параметрів випадкових процесів та полів. Класифікація та зниження розмірності даних.	Стійке (робастне) статистичне оцінювання. Багатовимірний статистичний аналіз (факторний, кластерний, розділення сумішей ймовірностей розподілень та ін.).
		Статистичне прогнозування. Ймовірнісні моделі фізичних полів	Адаптивне експоненціальне згладжування, аналіз трендів, ковзна медіана. Ковзне вінзоризоване (середнє). Методи теорії статистичних величин

Продовження таблиці 2.3

Рівень	Проблема	Задачі, які вирішуються	Метод, який використовується для дослідження
2-й рівень	Кількісний аналіз	Оптимізація спостережень	Метод мінімізації матриці коваріації оптимального фільтра Калмана. Метод мінімізації матриці коваріації субоптимального фільтра Калмана.
		Оцінювання станів	Модифікований фільтр Калмана. Субоптимальний фільтр Калмана. Метод градієнтної фільтрації. Метод групового врахування аргументів.
		Ідентифікація полів параметрів	Метод спряжених функцій. Метод умовного розділення. Метод сумісного оцінювання параметрів та станів. Модифікація методу групового врахування аргументів.
		Математичне моделювання Прогнозування поведінки процесу або поля	Прямі методи обчислювальної математики. Ітераційні методи. Методи кінцевих елементів та кінцевих різниць
		Визначення характеристик джерела поля	Метод спряжених функцій
	Якісний аналіз	Нечітке моделювання, прогнозування. Прийняття рішень	Теорія нечітких множин. Нечітка логіка. Нечіткі методи теорії управління. Нечіткі методи теорії прийняття рішень

Продовження таблиці 2.3

Рівень	Проблема	Задачі, які вирішуються	Метод, який використовується для дослідження
2-й рівень	Якісний аналіз	Логічні методи моделювання та прийняття рішень	Зчислення предикатів, методи логічного виводу, автоматичний доказ теорем, методи представлення знань
		Якісно-фізичні методи моделювання та прийняття рішень	Методи штучного інтелекту Спеціальні методи логічного виводу, спеціальні методи представлення знань
3-й рівень	Інформаційне забезпечення прийняття рішень	Створення баз даних та знань	Зчислення предикатів. Методи вилучення знань
		Експертні системи	Методи представлення знань та даних. Логічний вивід
		Створення системного та прикладного програмного забезпечення	
4-й рівень	Прийняття рішень ОПР	Багатоцільовий аналіз	Ігрові методи, методи прийняття рішень, сітьові методи, методи штучного інтелекту
		Засоби штучного інтелекту, евристичні підходи	

**Методи і засоби обробки даних натурних спостережень
(1-й рівень задач)**

Кількісні дані, що визначають розміри, час життя і структуру всіх динамічних об'єктів, утворених рухом станів фізичних середовищ, можуть бути встановлені тільки в результаті натурних спостережень.

Натурні спостереження здійснюються за допомогою організації системи заходів щодо контролю за станом фізичних середовищ – моніторингу.

Ще 20 років тому моніторинг здійснювався за допомогою виконання, як правило, прямих вимірів за допомогою різних датчиків. Однак поява і розвиток штучних супутників Землі (ШСЗ) і сучасних швидкодіючих обчислювальних машин дали різкий поштовх розвитку методів і засобів моніторингу, що у даний час реалізується тріадою “ШСЗ” – “ЛІТАК” – “КОРАБЕЛЬ” або “ШСЗ” – “ЛІТАК” – “АВТОМОБІЛЬ”. При цьому великий розвиток одержали методи дистанційних спостережень (вимірів).

Дані, тримані в процесі виконання вимірів, обробляються з використанням багатовимірного статистичного аналізу (факторний аналіз, метод головних компонентів, класифікація і зниження розмірності даних, стійке оцінювання і прогнозування).

Технологічний ланцюг проведення досліджень у цьому випадку виглядає так: *побудова полів, їх класифікація, побудова прогностичної моделі*, причому перші дві ланки цього ланцюга покликані фактично підготувати необхідну інформацію для роботи зі встановленням прогнозних залежностей. Сама по собі вихідна вимірювальна інформація не систематизована, має визначену надмірність і ще не може розглядатися як деяка емпірична модель середовища для побудови необхідних залежностей. Тому алгоритмічне забезпечення досліджень повинне містити в собі *засоби стиску вихідної інформації* і виділення вихідних ознак.

Сучасний рівень розвитку методів статистичної обробки даних дозволяє вважати, що зазначені задачі можуть вирішуватись за допомогою сучасного апарата *багатовимірного статистичного аналізу* (метод головних компонентів, моделі і методи факторного аналізу, багатовимірне шкалування й ін.).

Одним з важливих класів методів обробки даних є *методи класифікації багатовимірних спостережень*, кінцева мета яких складається у формуванні однорідних за своїми ознаками груп спостережень, що максимально розрізняються за зовнішніми характеристиками. Це методи *робастної статистики і бутстреп-методи*. Загальне призначення даних методів полягає в подоланні зміщення оцінок ймовірносних характеристик досліджуваних вибірок даних, що відкриває перспективу використання їх для одержання стійких оцінок значень порогів класифікації [11].

Важливим класом методів аналізу є *алгоритми прогнозування*, що дозволяють прогнозувати поведінку параметрів фізичних процесів і

полів, які досліджуються. Як правило, це методи короткострокового і середньострокового прогнозування. У цьому плані має інтерес розробка адаптивних методів експонентного згладжування, що дозволяють, у визначеній мірі, зняти проблему вибору трьох основних параметрів згладжування: константи згладжування, початкового рівня згладжування і початкового моменту згладжування (довжини бази згладжування). Іншим перспективним методом прогнозування є синхронний *кореляційний аналіз*, що дозволяє враховувати внесок у величину стохастичних взаємозв'язків усіх видів кореляційних показників: взаємних, приватних і множинних коефіцієнтів (функцій) кореляції.

Це пов'язано з тим, що в практиці аналізу натурних даних можуть з'являтися невизначеності, а саме: якщо значення однієї сукупності даних корелюються зі значеннями іншої сукупності, то це може бути усього лише відображенням того факту, що вони обидві корельовані зі значеннями деякої третьої сукупності.

Зазначений метод аналізу дозволяє зняти таку невизначеність.

Розглянуті задачі і методи аналізу вимірювальних даних дозволяють сформувати структуру інформаційного забезпечення досліджень складних фізичних процесів і полів. Можна виділити основні ланки такої структури. Це, по-перше, програмно-апаратні комплекси базування на рухливих носіях, що забезпечують автоматизований збір, збереження, оперативну обробку інформації й оптимальне керування її збором; по-друге, банки вимірювальних даних, що забезпечують збереження і колективне використання великих масивів різномірної інформації; по-третє, *розвинуте програмне забезпечення*, оформлене у виді пакетів прикладних програм, що дозволяють реалізувати статистичний і структурний аналіз даних з банку і проводити пошук залежностей; по-четверте, "математичний полігон" (база моделей), що дозволяє на основі максимально повних динамічних моделей, представлених рівняннями математичної фізики, здійснювати обчислювальний експеримент із розрахунку досліджуваних полів; по-п'яте, *експертні системи* для проведення аналізу ситуацій і вироблення прогностичних рішень. Відмітимо, що третій, четвертий і п'ятий блоки сумарної людино-машинної системи можуть бути об'єднані в так звану моделюючу мережу.

Математичні методи кількісного аналізу СФС (2-й рівень задач)

Для рішення представлених задач у першу чергу необхідно виконати математичний опис розглянутих фізичних процесів і полів. Тому насамперед коротко охарактеризуємо основні підходи до математичної формалізації зазначених систем.

Розглянемо чотири підходи (рис. 2.7) до опису фізичних процесів, що базуються [11]:

- на методі математичної фізики;
- статистичні методи;
- теорія подоби;
- прямі й експериментальні методи дослідження.

Класифікація моделей, заснованих на математико-фізичному і статистичному підходах, наводиться на рис. 2.8, 2.9.

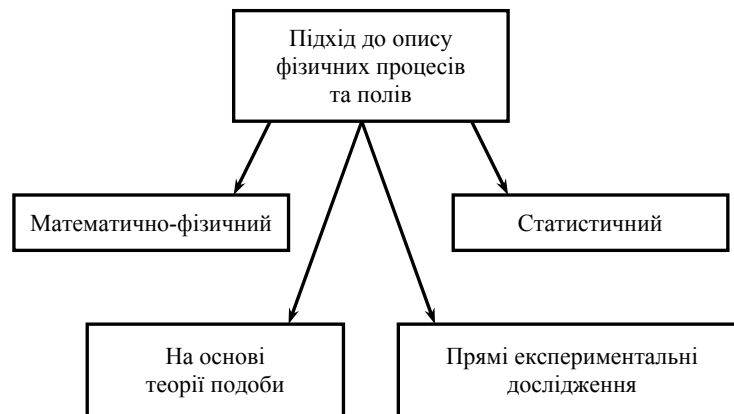


Рис. 2.7. Підходи до опису фізичних процесів і полів

Крім того, моделі можуть класифікуватися на основі їх просторово-тимчасових характеристик (рис. 2.10).

Нарешті, класифікація моделей може здійснюватися відповідно до розглянутої системи координат (рис. 2.11).

Як випливає зі структурної схеми (рис. 2.6), на етапі кількісного аналізу має місце сім типів різних взаємозалежних задач моделюван-

ня і керування складними технологічними підсистемами СФС. Коротко розглянемо ці задачі [11].

1. *Вимір фізичних полів і процесів.* Передбачається, що на етапі реалізації даної задачі вся необхідна вимірвальна інформація вже отримана. Основна мета рішення даної задачі: виконання операцій над вимірвальною інформацією, пов'язаних зі специфічними вимогами до неї, виходячи з розв'язуваних задач моделювання і керування. Як підходи до рішення даної задачі використовуються методи вибору, відбраковування, сортування, зміни форми представлення розглянутої інформації й ін.

2. *Розміщення (проектування) джерел фізичних полів і процесів.* Мета задачі полягає в розміщенні джерел фізичних полів і процесів із заданими характеристиками, що забезпечують мінімізацію (максимізацію) деяких критеріїв якості. Основні методи рішення даної задачі наведені в табл. 2.3. Рішення даної задачі в додатку до фізичних процесів і полів може становити істотний інтерес. Наприклад, для еколого-економічних систем можна одержати оптимальний, у змісті мінімізації екологічного збитку, проект розміщення нових підприємств, для нафтовидобувного комплексу – оптимальний, у змісті мінімізації виробничих втрат, графік зупинки обладнання для планово-попереджувального ремонту і т.д.

Іншим практичним додатком даної групи методів може бути крапкове керування фізичними процесами і полями, наприклад розробка програми оптимального нафтовидобутку за рахунок відповідного впливу на нафтовий шар шляхом включення і відключення продуктивних скважин.

3. *Керування фізичними полями і процесами.* Мета задачі керування полягається у визначенні керуючих впливів у заданих областях або крапках просторової області, що забезпечують переклад розглянутих полів або процесів з одного стану в інший і мінімізуючих (максимізуючих) деякі показники якості.

Дана задача є найбільш розповсюдженою і вивченою серед задач системного аналізу. Основні методи реалізації керування розглянутими процесами і полями наведені в табл. 2.3. Основою даного класу методів є теорія оптимального керування для систем з розподіленими параметрами. У результаті реалізації методів керування фізичними полями і процесами можуть бути отримані, наприклад, для еколого-економічних систем програми цілеспрямованої зміни інтенсивності шкідливих викидів в атмосферу і водосховища з метою мінімізації екологічного збитку і т.п.

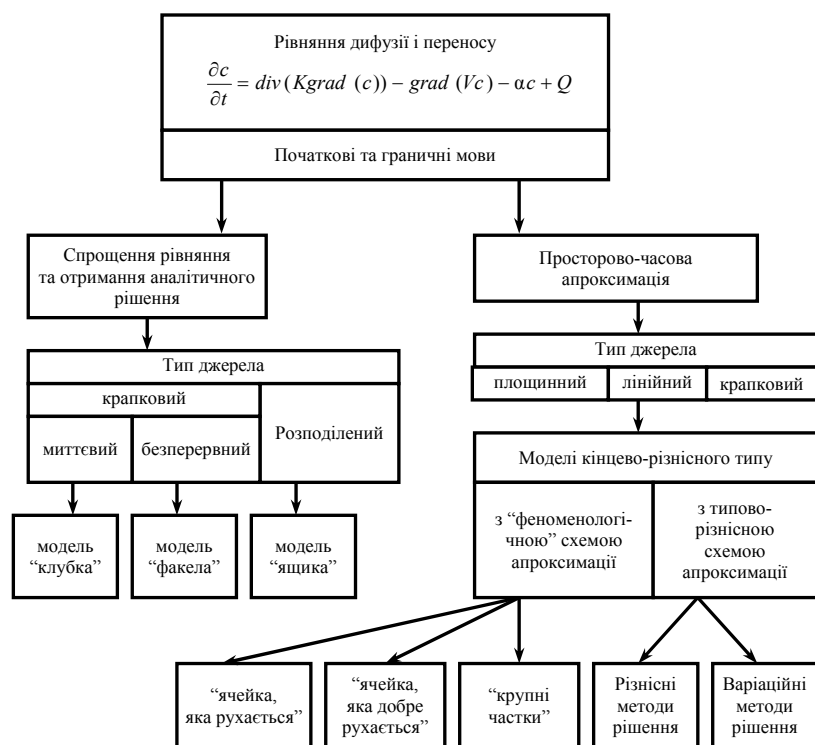


Рис. 2.8. Класифікація моделей, заснованих на підході математичної фізики

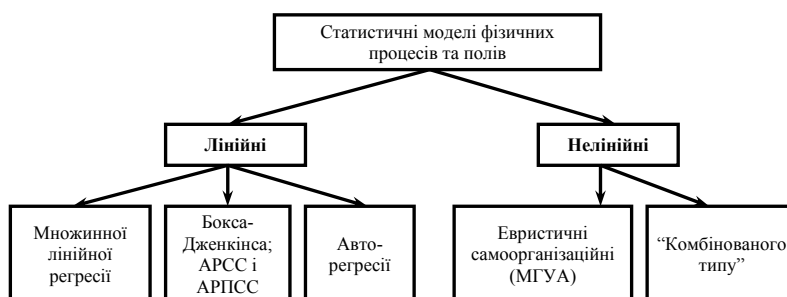


Рис. 2.9. Класифікація моделей, заснованих на статистичному підході

4. *Керування вимірами фізичних полів і процесів.* Мета даної задачі – визначення просторово-тимчасових характеристик системи вимірів фізичних полів і процесів, мінімізуючих (максимізуючих) деякі показники якості даної системи.

В основі методів керування вимірами лежать методи оптимальної і субоптимальної калманівської фільтрації, а також методи теорії оптимального керування. Основні методи керування вимірами наведені в табл. 2.3. Результатом реалізації розглянутого класу методів може бути, наприклад, план розміщення станцій контролю якості атмосфери або схема розміщення шпар для контролю якості ґрунтових вод і т.п.

5. *Оцінювання джерел фізичних полів і процесів.* Мета даної задачі полягає у визначенні невідомих просторово-тимчасових характеристик джерел фізичних полів і процесів по відомій вимірювальній інформації про функції стану, по початкових і граничних умовах, а також з використанням додаткової евристичної інформації.

Задача вирішується у випадку, коли відома вимірювальна інформація про стан досліджуваних процесів і полів і в той же час інформація про місце розташування або інтенсивності джерел відсутня і підлягає визначенню. Ця задача зводиться до класу зворотних, некоректних задач математичної фізики, для рішення яких використовується сукупність математичних і евристичних методів регуляризації і керування.

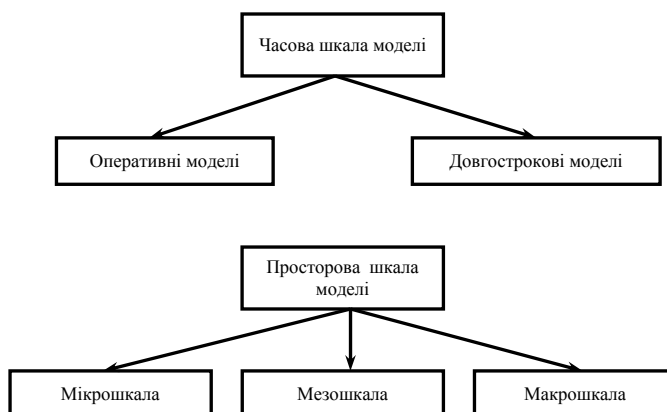


Рис. 2.10. Класифікація моделей на основі просторово-часових характеристик

6. *Оцінювання станів і параметрів фізичних полів і процесів* (табл. 2.3). Метою рішення даних задач є одержання оцінок невідомих станів і параметрів, що доставляють мінімум (максимум) деяким показникам якості оцінювання, по відомих керуваннях, початкових і граничних умовах, а також на основі вимірювальної інформації.

Ця задача відноситься до інверсних задач математичної фізики. Методи її реалізації ґрунтуються на теорії ідентифікації й оптимальної фільтрації просторово розподілених фізичних (детермінованих і стохастичних) процесів і полів. Для її рішення необхідна наявність заданої структури моделі і вимірювальної інформації. Для стохастичних інверсних задач використовуються методи нестрогого поділення і дуальності.

7. *Моделювання і прогнозування станів фізичних полів і процесів* (табл. 2.3). Мета подібних задач – отримання інформації про стан фізичних полів і процесів у наперед заданому інтервалі часу по відомих до цього часу керуваннях, початкових і граничних умовах, а також на основі іншої інформації [11].



Рис. 2.11. Класифікація моделей відповідно до системи координат

Ці задачі відносяться до класу прямих задач математичної фізики. Підходи до рішення зазначених задач ґрунтуються на широкому арсеналі методів обчислювальної математики для диференціальних рівнянь у частинних похідних і алгебраїчних регресійних моделях.

Результат рішення кожної з наведених задач використовується іншими задачами як вихідна інформація або має самостійне значення.

Математичні методи семантичного аналізу СФС (2-й і 3-й рівні задачі)

Цілісний математичний опис поведінки складних фізичних систем, що включають організаційні і технологічні підсистеми, між яки-

ми існує обмін різною за своєю природою інформацією, припускає використання різноманітних методів як кількісного, так і семантичного характеру. При цьому багато елементів СФС успішно можуть бути описані кількісними методами, заснованими на рівняннях математичної фізики або алгебраїчних регресійних співвідношень. Однак кількісні методи, які добре себе зарекомендували і в описі технологічних підсистем, у силу ряду недоліків не можуть бути використані для опису організаційних підсистем СФС. Це пов'язано з тим, що інформація в організаційних підсистемах може мати не тільки кількісне представлення, але і представлення у вигляді знань – правил, евристик, наборів ранжованих альтернатив; семантичних оцінок числових параметрів і ін., що описуються за допомогою значень лінгвістичних перемінних, висловлювань і т.д. [11].

Погодження або приведення до одного виду зазначеної різномірної інформації є однією з основних задач системного аналізу організаційних підсистем (рис. 2.12) [11].

Найчастіше використовується універсальне представлення інформації у вигляді значень лінгвістичних змінних (ЛЗ) або предикатне представлення.

Лінгвістичні змінні в даному випадку не тільки являють собою апарат для оперування невизначеностями, але і дають можливість опису сукупності якісно однорідних станів системи (у цьому змісті вони близькі до поняття “вузлові крапки міри” як такого, яке характеризує момент такого накопичення кількісних змін в об'єкті і переводить цей об'єкт з однієї якості в іншу). Наявні кількісні оцінки “розмиваються”, їм у відповідність ставляться деякі нечіткі підмножини. При цьому “фільтруються” існуючі невизначеності. Варто відзначити, що статистичну невизначеність можна розглядати як окремий випадок нечіткості і, отже, функції розподілу імовірностей – як функції приналежності.

Інформація, яка отримується від експертів, повинна бути представлена, по-перше, у лінгвістичній формі, а по-друге, імена значень ЛЗ повинні бути уніфікованими для всіх видів інформації. У цьому випадку кожній лінгвістичній оцінці, даній експертом, можна поставити у відповідність визначену нечітку підмножину.

У предикатному представленні усі види інформації розглядаються як такі, котрі роблять істинним визначений набір предикатів.

Пов'язана інформація, приведена до уніфікованого вигляду, використовується для рішення задач моделювання, прогнозування або

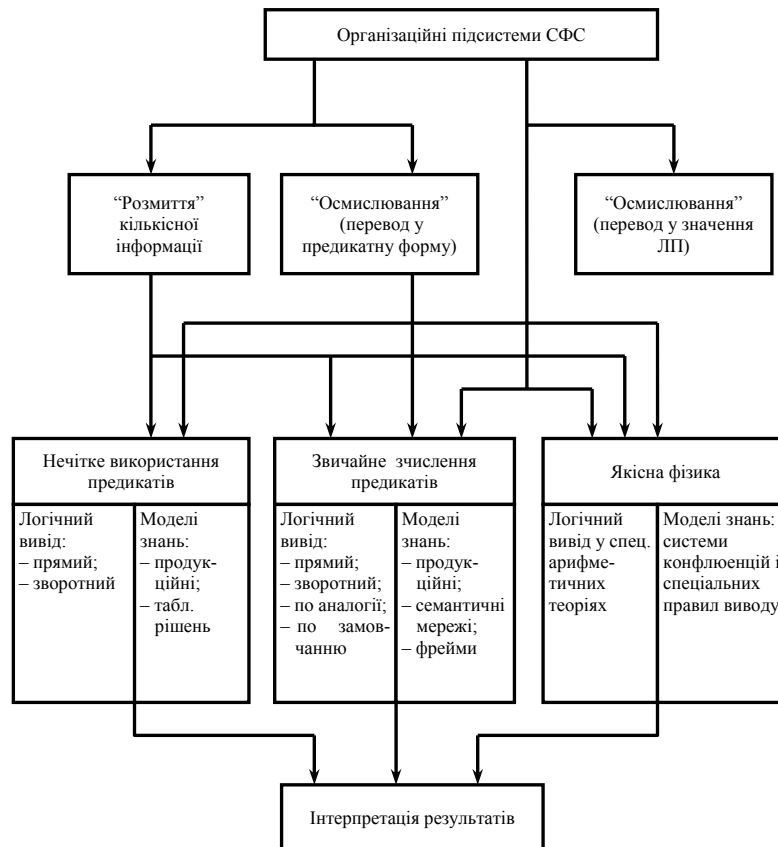


Рис. 2.12. Задачі системного аналізу організаційних підсистем СФС і методи їх рішення

керування організаційними підсистемами. При цьому використовуються, як правило, логічні методи, засновані на звичайному численні предикатів, нечіткому численні висловлень і предикатів, логічних підставах протікання фізичних процесів, причинно-наслідковій логіці.

Якщо продукційні, семантичні, фреймові моделі знань, засновані на звичайному численні предикатів, є досить добре вивченими з теоретичної точки зору і вимагають технічних удосконалень як в області

методологічного і програмного забезпечення, так і в області збільшення потужностей обчислювальної техніки, то методи якісної фізики, засновані на логіці фізичних процесів і причинно-наслідкових зв'язків, є предметом теоретичних досліджень.

Для організаційних підсистем СФС, в основі яких лежать фундаментальні фізико-хімічні закони або такі процеси виробництва, споживання і передачі ресурсів, що можуть бути зведені до згаданих законів хоча б формально, використовуються *методи якісної фізики*.

Основним способом представлення знань у цьому випадку є система так званих *якісних диференціальних рівнянь (конфлюенцій)*. Конфлюенція є відношенням, що зв'язує між собою представлені в семантичному вигляді такі параметри фізичних систем, що безпосередньо впливають один на одного, тобто ознаки безпосередніх причин і наслідків. Для опису характеру цих впливів вводяться спеціальні арифметики над семантичними змінними, котрі, у свою чергу, описують деякі якісно різні стани системи. Моделювання поведінки системи здійснюється шляхом порушення всіх причинно-наслідкових ланцюжків. Математично це реалізується шляхом логічного виводу у формальних арифметиках якісних змінних за допомогою деяких несуперечливих правил виводу.

Існують і інші підходи, пов'язані з напівкількісним моделюванням, де в процесі логічного висновку визначаються порядки числових величин шуканих значень або в дослідженні поведінки систем шляхом штучного приведення факторів, що збурюють, до їх граничних значень. В останньому випадку в основі системного аналізу СФС лежить нестандартний аналіз, що оперує інфінітними числами, тобто поняттями нескінченно малих і нескінченно великих величин. Правила висновку в подібній системі відображають властивості зазначених інфінітних чисел.

Загальним для всіх зазначених підходів є логіка здорового глузду і визначений практичний досвід людини (евристики людини), що дозволяють відтінати синтаксично невірні рішення, що суперечать умовам фізичної реалізованості.

На основі об'єднання всієї сукупності семантичних і кількісних методів, евристик людини в базах знань, що будуть відповідати конкретній предметній області (наприклад, економіко-екологічної, аерокосмічної, нафтовидобувної, технологічної й ін.), створюється програмний інструментарій (експертні системи), призначений для підготовки

до прийняття рішень людиною або групою експертів на четвертому рівні ієрархічної системи.

Прийняття рішень, що забезпечують цілеспрямоване поведіння СФС (4-й рівень задач)

Сукупність рішень, що забезпечують цілеспрямоване поведіння СФС, виробляється на основі наступного вхідного матеріалу [11]:

- інформація про поточний стан всіх технологічних і організаційних підсистем;
- дані моніторингу;
- рекомендації експертної системи;
- безліч заданих або сформульованих ОПР критеріїв і умов функціонування СФС;
- евристичні знання і передумови групи експертів.

Остаточні рішення виробляються ОПР, пропонуючим варіанти (альтернативи) і здійснюючим вибір серед різних альтернатив, що виконуються на основі оцінювання безлічі цілей, що є найчастіше непорівняними і суперечливими. При цьому практичні рішення приймаються з урахуванням досвіду, знань і думки людей, що будуть реалізовувати ці рішення. Причому процес вироблення і прийняття рішень через свою складність може бути реалізований тільки на основі людино-машинних процедур, у яких людині приділяється роль особи, що формулює задачу, що виконує аналіз результатів і приймає остаточне рішення, а ЕОМ – роль складного інструмента, що реалізує всю сукупність представлених вище методів і алгоритмів.

В основі ідеології рішення задач даного рівня ієрархії лежить системний підхід, що розглядає складну фізичну систему як деяку множину взаємозалежних підсистем, що виступають як єдине ціле.

Таким чином, сукупність розглянутих методів і підходів системного аналізу до дослідження СФС дозволяє вирішувати весь комплекс задач, пов'язаних з їх моделюванням, прогнозуванням і виробленням рішень, що дозволяють цілеспрямовано змінювати і контролювати їх поведінку.

У результаті застосування теорії системного аналізу для дослідження складних фізичних систем одержуємо:

- знання про СФС, що є основою всіх математичних методів системного аналізу, які мають самостійне безпосереднє застосування в експертних системах і служать основою для вивчення і

- цілеспрямованої зміни поведінки складних фізико-хімічних процесів;
- рекомендації з застосування різних методів для різних ситуацій і умов функціонування СФС;
 - можливість планування комплексу робіт зі створення складних організаційних і технологічних систем;
 - рекомендації з вибору структури складних фізичних систем і проектування її елементів;
 - рекомендації з кількісних, якісних і тимчасових характеристик прийнятих рішень;
 - коротко- і довгострокові прогнози розвитку складних фізичних систем.

Таким чином, ми розглянули питання дослідження складних фізичних процесів і полів з позицій системного аналізу. На основі характеристики складних фізичних систем як об'єктів дослідження теорії системного аналізу розглянуті основні особливості і властивості цих систем. Наведено характеристики рівнів задач, розв'язуваних при дослідженні складних фізичних систем, характеризовані основні методи і засоби системного аналізу фізичних процесів і полів.

На прикладі еколого-економічної системи як складної фізичної системи розглянуті основні етапи аналізу складних фізичних систем.

Контрольні питання до розділу 2

1. Дати визначення складної системи.
2. Сформулювати головні особливості складних фізичних систем.
3. Що таке організаційна підсистема?
4. Дати визначення технологічної підсистеми.
5. Охарактеризувати головні властивості складних систем.
6. Дати визначення рівней задач при дослідженні складних систем.
7. Чим відрізняється кількісний аналіз від якісного?
8. Які задачі вирішуються у рамках семантичного аналізу?
9. Дати характеристику технологічному ланцюгу проведення досліджень.
10. Які методи класифікації багатовимірних спостережень Вам відомі?
11. Дати характеристику математичним методам кількісного аналізу.
12. Які підходи до опису фізичних процесів і полів Вам відомі?
13. Дати характеристику математичним методам семантичного аналізу.