Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Українська інженерно-педагогічна академія
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Основи побудови АСУ

Підручник для студентів вищих навчальних закладів

Під загальною редакцією
В. І. Барсова

Полтава - 2012

ББК 65.050.2я73
УДК 658.5.011.56(075.8)
О-75

Затверджено
Міністерством освіти і науки України як підручник для студентів вищих навчальних закладів. Лист № 14/18Г1308
від 6 червня 2008 року.

Рецензенти:
О. Є. Федоровіч, доктор техн. наук, професор, зав. кафедри інформаційних управляючих систем Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського ("ХАІ");
Ю. В. Стасєв, доктор техн. наук, професор, заступник начальника Харківського університету повітряних сил ім. Івана Кожедуба з навчальної роботи.

0-75 В.І. Барсов, О.М. Одарущенко, В.А. Краснобаєв, О.І. Тиртишніков, З.В. Барсова
Основи побудови АСУ / Під загальною редакцією В. І. Барсова:
Підручник для студентів ВНЗ. – Полтава: 2012. – 400 с.

ISBN 978-966-616-104-1

Підручних охоплює комплекс питань пов’язаних з методологією, принципами і методами теорії побудови АСУ. Розкриті питання технології розробки і змісту процесу створення АСУ. Розглянуті склад і типова структура**,** математичні методи рішення задач оптимізації, оцінювання якості і ефективності застосування АСУ, наукові і технічні аспекти створення інтелектуальних систем управління.

Підручник призначений для студентів інженерних та інженерно-педагогічних спеціальностей вищих навчальних закладів України і наукових працівників у галузі АСУ.

ISBN 978-966-616-104-1

© В. І. Барсов, О.М. Одарущенко, В. А. Краснобаєв,
О. І. Тиртишніков, З. В. Барсова
2012

Зміст

Передмова 6

Розділ 1.
Загальні поняття і положення автоматизованого управління
1.1. Основні поняття і положення автоматизованого управління 14
1.1.1. Характеристика, основні риси і види процесу управління 14
1.1.2. Математичний опис об'єкту управління 29
1.1.3. Управління в динамічних системах 34
1.2. Причинно-наслідкові зв'язки основних понять, що використовуються в АСУ**.** 40
1.3. Питання до розділу 1 42

Розділ 2.
Загальна характеристика процесу побудови АСУ.
2.1. Зміст і завдання процесу побудови АСУ 44
2.2. Класифікація АСУ 55
2.3. Ознаки, функції і завдання АСУ 61
2.4. Основні властивості АСУ. 65
2.5. Характеристика технології розробки АСУ 73
2.6. Структуризація проблеми побудови АСУ 76
2.7. Прийняття проектних рішень при побудові АСУ 79
2.8. Принципи визначення вимог до АСУ 86
2.9. Питання до розділу 2 96

Розділ 3.
Методологічні підходи до розробки АСУ
3.1. Системний підхід до побудови АСУ 98
3.2. Кібернетичний підхід до побудови АСУ 107
3.3. Ергатичний підхід до побудови АСУ 113
3.3.1. Використання ергатичного підходу до побудови АСУ 114
3.3.2. Організація взаємодії людини та технічних засобів 123
3.4. Питання до розділу 3 130

Розділ 4.
Склад і типова структура АСУ
4.1. Склад і характеристика багаторівневих ієрархічних систем управління 132
4.2. Опис та аналіз інформаційних процесів в АСУ 140
4.3. Інформаційне забезпечення АСУ 145
4.4. Математичне й програмне забезпечення АСУ 152
4.4.1. Математичне забезпечення АСУ 152
4.4.2. Програмне забезпечення АСУ 160
4.5. Організаційне, методичне, лінгвістичне та правове забезпечення АСУ 163
4.6. Технічне забезпечення АСУ 165
4.7. Питання до розділу 4 175

Розділ 5.
Структурний аналіз і синтез АСУ
5.1. Завдання і етапи структурного аналізу АСУ 177
5.2. Завдання і етапи структурного синтезу АСУ 183
5 3. Модель структурного сполучення елементів в АСУ 194
5.4. Аналіз структури АСУ з використанням стохастичних мереж 199
5.5. Морфологічний і інформаційний опис структур АСУ 204
5.6. Функціональний опис структур АСУ 208
5.7. Агрегатна схема опису функціонування АСУ 215
5.8. Концептуальне моделювання АСУ 222
5.9. Питання до розділу 5 225

Розділ 6.
Математичні методи рішення задач оптимізації АСУ
6.1. Математична постановка та вирішення завдання оптимізації АСУ 226
6.1.1. Математична постановка завдання оптимізації 226
6.1.2. Методи вирішення завдання оптимізації АСУ 232
6.2. Методи екстраполяції 240
6.3. Застосування теорії графів для вирішення задач оптимізації АСУ 249
6.3.1. Поняття топологічної структури мереж АСУ основні визначення теорії графів 249
6.3.2. Завдання про найкоротший шлях 260
6.3.3. Поняття транспортної мережі АСУ 264

6.3.4. Транспортне завдання 268
6.3.5. Критерій оптимальності шляху передачі інформації 274
6.4. Динамічне програмування 276
6.5. Метод меж і гілок 283
6.5.1. Загальні положенні методу 283
6.5.2. Приклад розв'язання задачі комівояжера методом гілок і меж 288
6.6. Використання методів лінійного програмування для визначення екстремальних значень функції мети 300
6.7. Мережеве планування і управління 304
6.8. Питання до розділу 6 317

Розділ 7.
Наукові і технічні аспекти створення інтелектуальних систем управління
7.1. Огляд розвитку робіт в області систем штучного інтелекту 320
7.2. Основні поняття і структура штучного інтелекту 322
7.3. Функціональна структура системи штучного інтелекту 333
7.4. Застосування нейронних мереж в системах управління 338
7.5. Експертні системи 347
7.6. Системи підтримки прийняття рішень 362
7.7. Питання до розділу 7 369

Розділ 8.
Оцінювання якості і ефективності застосування АСУ
8.1. Поняття ефективності системи управління 371
8.2. Показники і критерії ефективності функціонування АСУ 375
8.3. Методологічні рівні і принципи дослідження ефективності АСУ 388
8.4. Питання до розділу 8 395

Література 397

Передмова

В даний час безліч вітчизняних підприємств вимагають автоматизації в тому або іншому вигляді. В умовах сучасного ринку виживають ті, хто найбільш конкурентоздатний, хто уміє організувати свої виробничі процеси з найбільшою ефективністю і найменшими витратами. Але як понизити витрати на виробництво без автоматизації підприємства в цілому, а також автоматизації технологічних процесів?

Напевно, що сучасному підприємству, для того, щоб рости і розвиватися, необхідні нові технології і технічні рішення. Комп'ютеризовані системи все більше охоплюють виробничий сектор, на робочих місцях операторів починають з'являтися прості і ефективні засоби для оперативного контролю і управління технологічними процесами.

У подальшому будемо вживати терміни керування і управління як синоніми, але при цьому термін керування будимо вживати в сенсі стосовно організаційної діяльності, яка спрямована на досягнення визначених цілей, а термін управління у сенсі стосовно управляючого впливу на технічні засоби, тобто деякої фізичної величини, зміна якої впливає на характер процесів в об'єкті управління.

Технічна база виробництва в більшості галузей промисловості досягла такого рівня розвитку, при якому ефективність виробничого процесу залежить від якості управління технологією і організації виробництва. Тому на перший план висувається завдання оптимального управління технологічними процесами, вирішити яке без комплексних систем автоматизованого управління виробництвом, в більшості випадків неможливо.

Автоматизація виробництва - це процес в розвиток машинного виробництва, при якому функції управління і контролю, що раніше виконувалися людиною, передаються приладам і автоматичним пристроям. При цьому мета автоматизації виробництва полягає в підвищенні ефективності праці, поліпшенні якості продукції, що випускається, в створенні умов для оптимального використання всіх ресурсів виробництва.

Безпосередньо завдання управління технологічними процесами виникло одночасно з появою матеріального виробництва, тобто процесів цілеспрямованого перетворення матерії або енергії. Спочатку всю цю задачу вирішувала людина, яка, подаючи певну кількість матеріалу і енергії, одночасно суб'єктивно оцінювала хід процесу і при необхідності корегувала його і встановлювала момент завершення перетворення.

У міру ускладнення виробничих процесів було потрібно більш розвинене і більш точне управління. В таких умовах обмеженість здібностей людини, неможливість "на око" і "на дотик" проконтролювати процес ви-

робництва були серйозними перешкодами для подальшого розвитку виробництва.

Тому стали застосовуватися різні контрольні - вимірювальні пристрої, які встановлені безпосередньо на устаткуванні і працювали в прямому контакті з матеріальними потоками. Ці засоби давали можливість точніше і, головне, об'єктивно оцінювати роботу технологічного об'єкту і, отже, покращувати його використання.

Подальше зростання потужностей і розмірів устаткування вимагало створення вимірювальних, регулюючих і виконуючих пристроїв із зовнішнім джерелом енергії, зокрема - виконавчих механізмів з пневматичним і електричним приводом. Це дозволило організувати пости контролю і дистанційного управління і широко застосувати автоматичні регулятори. В результаті були значного покращені умови роботи обслуговуючого персоналу: зменшилося фізичне навантаження, зручнішим стало робоче місце.

З освоєнням контрольно-вимірювальних пристроїв, що управляють, з уніфікованим вихідним сигналом з'явилася можливість об'єднувати місцеві пости в центральні щити управління. Були розроблені і стали широко застосовуватися так звані мнемосхеми, на яких в зображення технологічної схеми об'єкту вбудовувалися прилади сигналізації і індикації. Застосування мнемосхем значно поліпшило умови роботи оператора. У зв'язку з уніфікацією сигналів відкрилися нові шляхи для розвитку техніки автоматизації, що привело до появи агрегатних комплексів технічних засобів, а також центральних пунктів управління.

З введенням уніфікованих сигналів, які передавались на великі відстані, переробка інформації була територіально відокремлена від технологічного процесу. Вона концентрувалася в центральному пункті управління, де були встановлені відповідні прилади: регулятори, ключі управління, самописці і т.п. Цих засобів тривалий час було цілком досить для виконання алгоритмів контролю і управління, що пропонувалися теорією і які задовольняли запити практики.

Таким чином, в даний період були достатньо повно автоматизовані дії з отримання, збору і представленню інформації про стан окремих технологічних змінних об'єкту, що контролюється і за дистанційним його управлінням, тобто два основні функціональні елементи системи управління. Залишався неавтоматизованим третій елемент - прийняття рішень, без якого ефективне управління будь-яким об'єктом неможливе. Маючи в своєму розпорядженні інформацію про об'єкт, що управляється, її потрібно використовувати для проведення аналізу і обчислень, на підставі яких необхідно приймати рішення зі здійснення управління виробництвом або технологічним процесом.

Значною допомогою в рішенні цієї задачі для людини-оператора

служили автоматичні регулятори; вони звільняли її від необхідності щохвилини приймати рішення в управлінні великою кількістю технологічних змінних, які треба стабілізувати. Проте управління процесом в цілому залишалося за оператором. Практично важко здійснити правильну взаємодію великого числа автоматичних регуляторів, що забезпечують роздільне регулювання параметрами в кожному контурі процесу, тобто створити взаємозв'язану систему автоматичного управління процесом як єдиним цілим. Як і раніше оператор повинен був приймати рішення з управління, що стосується взаємодії багатьох контурів. Для цього він за даними вимірювальних приладів інтуїтивно проводив необхідні оцінки і обчислення, приймав рішення і здійснював керуючи дії. Проте в міру ускладнення процесів навіть кваліфіковані оператори перестали задовільно справлятися з цими завданнями.

Слід враховувати, що при управлінні сучасним технічним об'єктом до нього треба підходити як до єдиного цілого, а не як до набору незалежних різних елементів. Необхідно весь виробничий процес вести в деякому оптимальному режимі, при якому може бути отриманий належний ефект управління. Важливо також відзначити, що автоматизовані системи управління промисловими установками часто належать до так званих великих систем. Такі системи характеризуються участю значного числа людей, різноманітних пристроїв і агрегатів, наявністю зв'язаних між собою достатньо складних підсистем, що володіють своїми особистісними цілями і критеріями, наявністю розвиненої ієрархії рівнів управління: агрегат-виробництво-підприємство.

Аналіз подібних промислових об'єктів і систем управління показує, що для них характерні наступні тенденції:

- практично у всіх галузях промисловості спостерігається неухильне зростання одиничної продуктивності агрегатів;
- інтенсивно зростає необхідна "потужність" систем контролю і управління, які використовуються;
- останнім часом корінним чином змінюються погляди на значення енергетичних ресурсів, економію палива, роль людини у виробництві і на захист навколишнього середовища, в результаті відбувається істотне підвищення вимог до якості ведення технологічних процесів;
- у міру підвищення ступеня автоматизації виробництва відбувається природний процес - залучення все нових і нових агрегатів і ділянок в сферу дії централізованого управління.

Цей процес спричинений економічними міркуваннями. Оптимізація роботи окремого агрегату або окремої установки не гарантує максимального економічного ефекту для виробництва в цілому, оптимум для нього найчастіше досягається при деякому компромісі між особистісними крите-

ріями оптимізації. В результаті цього зростає ступінь взаємозв'язків окремих агрегатів і ускладнюються алгоритми управління об'єктом в цілому; виникають завдання створення інтегрованих систем управління. Все це призводить до різкого ускладнення завдань управління.

У таких умовах і виникла проблема автоматизації власне управління, тобто процесу прийняття рішень, яка вимагала залучення сучасних математичних методів і нових технічних засобів. В результаті з'явилися автоматизовані системи управління, тобто розвинені людино-машинні системи, що реалізовують такий автоматизований процес збору і переробки інформації, який необхідний для прийняття рішень за управлінням об'єктом (процесом, виробництвом) в цілому. При цьому роль людини в будь-якій АСУ вельми істотна: оскільки ряд відповідальних завдань прийняття рішень через їх складність, багатогранності і невивченість не піддається формалізації. Їх виконання не може бути повністю автоматизоване і залишається за людиною.

У міру розвитку відмічених вище тенденцій стало очевидно, що функціональних можливостей традиційних засобів автоматизації у сфері переробки інформації вже недостатньо, що поставило вимогу широкого застосування електронних обчислювальних машин (ЕОМ).

В результаті засоби обчислювальної техніки стали не тільки розвантажувати людину від виконання рутинної нетворчої роботи, пов'язаної з великим числом простих операцій з обробки крупних масивів інформації, але і надавати йому допомогу у виконанні творчих завдань (прийняття рішень з розподілу обмежених ресурсів, оптимізації технологічного процесу і т. п.).

Важливо відзначити, що у міру підвищення ступеня автоматизації прийняття рішень, необхідних для управління окремими технологічними апаратами і ділянками, останні втрачають значення самостійних об'єктів управління і зливаються у все більші виробничі комплекси. В результаті з'явилися могутні централізовані системи управління, в яких за допомогою ЕОМ концентруються контроль і управління великим числом агрегатів. Зрозуміло, що в такій системі оператор-технолог як ланка, що приймає найбільш відповідальні рішення з управління всім об'єктом в цілому, грає виключно важливу роль. Саме тому такі людино-машинні системи управління називають автоматизованими (на відміну від автоматичних, тобто тих, що працюють без участі людини).

З появою нових технічних засобів і подальшим розвитком систем управління поступово почався процес централізації систем управління, в якому можна виділити два етапи.

Перший етап почався в зв'язку із створенням вимірювальних перетворювачів, що мають уніфікований вихідний сигнал. Вони дали можливість

отримувати інформацію про значення технологічних змінних (температуру, тиск, витрати і т. п.) у вигляді сигналів. Це, за суттю, означало розв'язку між процесами вимірювання і подальшими процесами обробки сигналу. Відмітимо, що, не дивлячись на територіальне поєднання приладів, процес обробки сигналів протікав як і раніше децентралізовано в окремих вимірювальних і регулюючих пристроях. Крім того, дані передавалися окремо за кожним контуром, тобто децентралізовано.

Другим етапом в цьому процесі з'явилась централізація функцій обробки сигналів. На зміну традиційній структурі, при якій функції контролю, регулювання і управління здійснюються за допомогою звичайних аналогових приладів, прийшла структура, при якій всі вимірювальні сигнали збираються в одному пристрої, що здійснював їх переробку в сигнали управління.

У системах управління особливо великими, протяжливими об'єктами замість децентралізованої передачі сигналів застосовують централізовану передачу. Такий обмін інформацією здійснюється за допомогою відповідних телемеханічних пристроїв, що реалізують формування групового сигналу, який на протилежній стороні знову розділявся на окремі сигнали, що далі поступають на відповідні прилади.

Поява ЕОМ з їх широкими можливостями в області обробки і зберігання даних зіграла вирішальну роль в централізації функцій АСУ. Один центральний процесор не тільки успішно замінив велике число місцевих приладів, але і дозволив будувати системи управління, що виконують невимірно складнішу обробку сигналів.

Значні потенційні можливості сучасних обчислювальних систем дозволяють охопити і контролювати величезне "інформаційне поле" системи управління виробництвом, з погляду руху різних потоків інформації. Тому сьогодні можна говорити про так званий "інформаційний моніторинг", вкладаючи в це поняття реалізацію функцій обчислювальної підсистеми АСУ зі збору, переркиці і використанню різноманітних потоків інформації, циркулюючих на цьому "інформаційному полі".

Вся різноманітність видів використання засобів обчислювальної техніки в АСУ промисловими установками, що використовуються в даний час на закордонних і вітчизняних підприємствах, може бути зведена до наступних основних варіантів:

- системи управління з використанням інформаційно - обчислювальної машини;
- одноступінчаті системи централізованого управління з використанням обчислювальної машини, що управляє;
- багатоступінчасті (ієрархічні) системи централізованого управління, в яких ЕОМ і елементи штучного інтелекту використовуються спільно

з різними автономними пристроями автоматизації;

- системи управління з використанням розподілених засобів обчислювальної техніки, об'єднаних в мікропроцесорні мережеві структури на базі ПЕОМ.

В міру вдосконалення засобів обчислювальної техніки, збільшення їх надійності і функціональних можливостей безперервно розширюється коло інформаційно-обчислювальних і управляючих функцій, що покладаються на них, підвищуючи тим самим техніко-економічну дометаність використання АСУ в різних галузях науки, техніки і економіки.

Завдання побудови АСУ, які відповідають вимогам часу на основі реалізації сучасних технологій є одним з основних завдань системотехніки, в рамках якої розглядаються питання теорії, методології і технології дослідження, створення, випробування і експлуатації АСУ. Серед цих питань центральним вважається питання вибору якнайкращого, за критерієм ефективність – вартість, варіанту побудови АСУ..

Грамотно спроектована і побудована АСУ це не тільки набір програмних і апаратних засобів. В більшості випадків – це систематизоване організаційно-технічне планування і розподіл функцій оператора і технологічного устаткування. Перш за все, це аналіз поточного стану об'єкту автоматизації і вибір саме тих сил і засобів, які дозволять дійсно на порядки збільшити ті або інші якісні показники системи.

В даний час теорія створення АСУ знаходиться в періоді інтенсивного розвитку. Коло завдань, що відносяться до теорії побудови АСУ, дуже різноманітне і розрізняється як змістом, так і методами рішення. Це викликано тим, що охоплюються питання від аналізу проблеми побудови до синтезу і оцінювання якості варіанту побудови АСУ і її складових частин. Навчальна і наукова література, що існує в даний час, з теорії побудови організаційно – технічних систем і, зокрема АСУ, як розділу технічної кібернетики, представлена роботами, які висвітлюють окремі сторони проблематики пов'язаною із створенням АСУ. Представлені в існуючій літературі формальні постановки завдань побудови АСУ і їх рішення у великій мірі відображають питання розрахунку кількісних характеристик заданої структури АСУ і її складових частин.

Тому, в підручнику, що пропонується на основі аналізу існуючих тенденцій в області створення автоматизованих систем управління здійснена спроба систематизації і узагальнення знань сучасної теорії побудови АСУ, з урахуванням розвитку і впровадження інноваційних технологій штучного інтелекту. Матеріал підручника будувався так, щоб найбільшою мірою розглянути питання, пов'язані із завданням побудови і зокрема обґрунтуванням варіанту побудови АСУ. Одночасно з цим, в даній роботі зроблена спроба висвітлити питання раціонального варіанту побудови структури

АСУ реального часу.

Завдання авторів полягало в тому, щоб здійснити головну мету – систематизувавши сукупність найбільш важливих понять і термінів в області застосування АСУ, показати, як організувати і реалізувати процес побудови (вибору варіанту структури) АСУ при заданій меті, функціях АСУ і вимогах, що висуваються до неї.

Перший розділ присвячений розгляду основних понять і положень автоматизованого управління, наведенню характеристик, основних рис і видів процесу управління, математичному опису об'єкту управління та питанням управління в динамічних системах. Також розкриті причинно-наслідкові зв'язки основних понять, що використовуються в АСУ.

У другому розділі розглянуто загальні принципи і основні завдання системи створення АСУ, задачі загальносистемного проектування і основні процедури процесу розробки АСУ. Наведено класифікацію АСУ. Розглянуто загальні суттєві ознаки, притаманні АСУ, наведено класифікацію функцій АСУ і завдань, що вирішуються. Також розглянуто основні властивості АСУ, за якими визначається їх якість, стадії життєвого циклу АСУ, основні етапи робіт при створенні АСУ, а також постановка, загальний порядок і структуризація проблеми побудови АСУ. Крім того, розглянуто аспекти прийняття проектних рішень при побудові АСУ та сформульовано принципи визначення вимог до АСУ.

У третьому розділі розглядаються методологічні засоби дослідження та розробки АСУ, зокрема, системний, кібернетичний та ергатичний підходи. У межах ергатичного підходу розглянуто загальні принципи інженерно-психологічного проектування, організація взаємодії між людиною і технічними засобами, зокрема, розподіл функцій між оператором і комп'ютером. Обґрунтовано необхідність і розглянуто біологічні аспекти використання ергатичного підходу до побудови АСУ. Також розглянуті основні поняття і положення притаманні морфологічному, інформаційному, функціональному й структурно-функціональному опису АСУ. Наведена агрегатна схема опису функціонування АСУ та основні підходи до концептуального моделювання АСУ

Четвертий розділ розглядає склад і типову структуру АСУ. Наведено характеристику багаторівневих ієрархічних систем управління, а також принципи описання та аналізу інформаційних процесів в АСУ. Розглянуто технічне, інформаційне, математичне й програмне забезпечення, а також питання щодо основних рішень організаційного, методичного, лінгвістичного та правового забезпечення АСУ.

У п'ятому розділі описані основні поняття, положення і етапи структурного аналізу і синтезу АСУ, а також властивості притаманні морфологічному, інформаційному, функціональному опису структур АСУ. Наве-

дена агрегатна схема опису функціонування АСУ та основні підходи до концептуального моделювання АСУ.

У шостому розділі наведено математичну постановку задачі оптимізації АСУ. Розглянуто застосування динамічного і лінійного програмування, методів гілок і меж, мережевого планування і управління, екстраполяції для вирішення задачі оптимізації АСУ.

У сьомому розділі розглянута історія розвитку, основні поняття і структура штучного інтелекту, наведені функціональна структура системи штучного інтелекту Також розглянуто застосування нейронних мереж в системах управління, основні поняття і структура експертних систем і систем підтримки прийняття рішень.

Восьмий розділ містить поняття і положення теорії ефективності системи управління, наведені показники, критерії оцінювання, методологічні рівні і принципи дослідження ефективності АСУ. Також розглянуті сутність оцінювання та загальна схема дослідження ефективності АСУ.

При підготовці підручника врахований досвід вітчизняних і зарубіжних розробників АСУ, матеріал, що опублікований в науковій і навчальній літературі, а також лекції, прочитані авторами з навчальної дисципліни «Основи побудови АСУ».

Розділ 1

Загальні поняття і положення автоматизованого управління

Розглянуті основні поняття і положення автоматизованого управління, наведена характеристика, основні риси і види процесу управління, математичний опис об'єкту управління та питання управління в динамічних системах. Також розкриті причинно-наслідкові зв'язки основних понять, які використовуються в АСУ.

1.1. Основні поняття і положення автоматизованого управління

1.1.1. Характеристика, основні риси і види процесу управління

Скрізь в оточуючому нас світі (природі, техніці, суспільстві) протікають різні процеси, характер яких залежить від безлічі супутніх ним умов і чинників. Змінюючи умови протікання процесів, людина може впливати на їх характер, пристосовувати до своїх цілей. Це втручання в природний хід процесу і є ***суттю управління***.

Таким чином, можна сказати, що ***управління*** є такою організацією того або іншого процесу, яка забезпечує досягнення певної мети або це вид діяльності, що є сукупністю дій, направлених на досягнення певної мети, тобто бажаного протікання управляємого процесу.

Термін ***"управління"***, в широкому сенсі, трактується як функція організованих систем різної природи, що забезпечує збереження їх певної структури, реалізацію їх програм і цілей функціонування. Поняття ***"система"*** ми трактуватимемо як сукупність цілеспрямовано взаємодіючих елементів. Множину елементів, які складають систему, завжди можна розбити за деякими ознаками на підмножини, тим самим, виділяючи з системи її складові частини – ***підсистеми.***

У свою чергу, як відомо, ***функція*** є сукупністю дій системи, направлених на досягнення певної мети системи, а процедуру виконання цих дій називають ***функціонуванням*** системи. Будь-яка дія системи здійснюється в часі. Отже, управління є процес, тобто послідовність зміни в часі речовини, енергії, інформації в системі, що обумовлюють її стан.

Безпосередньо під ***функцією управління*** розуміємо сукупність дій об'єкту, що управляє, направлену на досягнення часткової мети, яка підпорядкована загальній меті. Для реалізації функції управління створюється ***система управління*** – система (технічна, біологічна, соціальна), яка впливає на управляємий процес таким чином, щоб його протікання змінювалося в бажаному напрямі. Система управління складається з об'єкту, що управляє (УО), і об'єкту управління (ОУ), об'єднаних в порядку підлеглості і взаємодії в єдине ціле зв'язками (контурами управління) для досягнення мети управління (рис. 1.1).

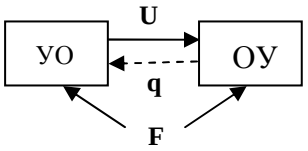


Рис. 1.1. Структурна схема системи управління

Все, що знаходиться поза системою управління і здійснює ***обурюючу дію F*** на процес, що управляється і змінює його хід в небажаному напрямі, відносять до ***зовнішнього середовища***. В процесі функціонування об'єкт управління знаходиться в постійній взаємодії із зовнішнім середовищем і органом управління. Взаємодія здійснюється за допомогою речовини, енергії і інформації або їх комбінацій. У технічних системах ця взаємодія носить в основному інформаційний характер.

Об'єкт, що управляє, призначений для вироблення і здійснення управляючих дій ***U*** – тобто дій системи управління на управляємий процес, що змінює його хід в бажаному напрямі.

Відповідно, ту фізичну систему, в якій ми управляємо процесами, і стан якої контролюємо, за значенням контрольованих величин q_i, називатимемо ***об'єктом управління***. Під об'єктом управління розуміється виділена за деякими правилами частина світу, що є предметом пізнання, практичної діяльності, для досягнення бажаних результатів функціонування якого необхідні і допустимі спеціально організовані дії. Об'єктами управління в технічних і соціальних системах можуть бути як окремі об'єкти, виділені за певними ознаками (наприклад, конструктивними, функціональними), так і сукупність об'єктів (комплекси, системи). Залежно від властивостей або призначення об'єктів управління можуть бути виділені технічні, технологічні, економічні, організаційні, соціальні і інші об'єкти управління, комплекси і системи.

Розглянемо основні типи об'єктів управління, які можна ***класифікувати*** таким чином (рис. 1.2):

1) ***за характером протікання технологічних процесів*** об'єкти управління поділяються на:

- циклічні;
- безперервно-циклічні;

- безперервні;

2) ***за характером сталого значення вихідної величини*** об'єкту при дії на його вхід ступінчастого сигналу виділяють об'єкти:

- з самовирівнюванням;
- без самовирівнювання;

3) ***за кількістю вхідних і вихідних величин і їх взаємозв'язку*** об'єкти поділяється на:

- одновимірні (один вхід і один вихід):
- багатовимірні, які можуть бути:

а) багатозв'язковими – коли спостерігається взаємний вплив каналів регулювання один на одного;

б) незв'язковими – взаємозв'язок між каналами малий;

4) ***За виглядом статичних характеристик*** об'єкту управління встановлюють зв'язок між сталими значеннями входу і виходу об'єкту та за виглядом статичних характеристик діляться на:

- лінійні:
- нелінійні: статична характеристика може бути гладкою, яка лінеаризується у околі заданої точки, або носити істотно нелінійний характер, за наявності в об'єкті декількох нелінійностей, тоді його сумарна нелінійна характеристика визначається графічним методом;

Зауваження. Більшість систем регулювання відноситься до класу систем автоматичної стабілізації режиму роботи об'єкту відносно його робочої точки (щодо номінального режиму роботи). В цьому випадку в процесі роботи відхилення змінних щодо робочої точки будуть малими, що дозволяє використовувати лінійні моделі об'єкту управління. Реальні об'єкти займають в просторі деякий об'єм, тому регульована величина залежить не тільки від часу, але і від поточних координат точки вимірювання. Тому повний опис об'єкту управління складатиметься з системи диференціальних рівнянь з особистісними похідними. При використанні точкового методу вимірювання одним датчиком система диференціальних рівнянь з особистісними похідними переходить в систему рівнянь із звичайними похідними.

5) ***за ознакою мобільності*** об'єкти можуть бути поділені таким чином:

- стаціонарні;
- нестаціонарні; у нестаціонарних об'єктах параметри змінюються з часом (дрейфують), прикладами таких об'єктів можуть бути хімічний реактор з каталізатором, активність якого падає з часом, або аерокосмічний апарат, маса якого у міру вигорання палива зменшується.

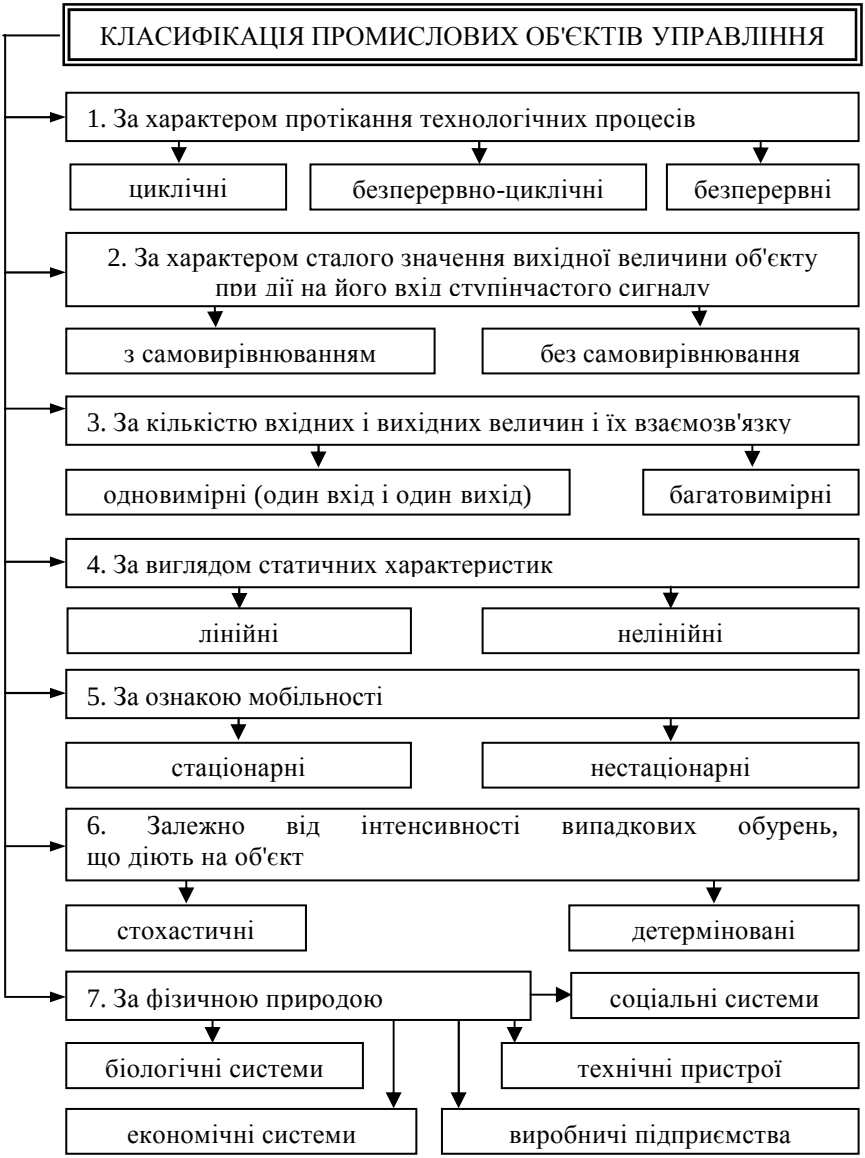


Рис. 1.2. Основні типи об'єктів управління (на прикладі промисловості)

6) ***залежно від інтенсивності випадкових обурень***, що діють на об'єкт, вони поділяються на:

- стохастичні;
- детерміновані;

7) ***за фізичною природою*** об'єкти можна класифікувати як:

- технічні пристрої;
- біологічні системи;
- виробничі підприємства;
- соціальні системи;
- економічні системи.

Таким чином, узагальнюючи сказане вище, спрощену схему функціонування технічної і соціальної систем управління можна представити таким чином, як це наведено на рис. 1.3.

На рис. 1.3 а, показані чинники, що впливають на прийняття рішення щодо вироблення управляючих дій деяким об'єктом, наприклад, людиною-оператором. Узагальнюючи всю отриману інформацію про стан зовнішнього середовища та об'єкту управління, наявні ресурси, систему обмежень людина-оператор формує інформаційну модель стану системи управління. На основі інформаційної моделі з урахуванням наявного досвіду роботи в свідомості людини формується концептуальна модель реалізації управляючої дії.

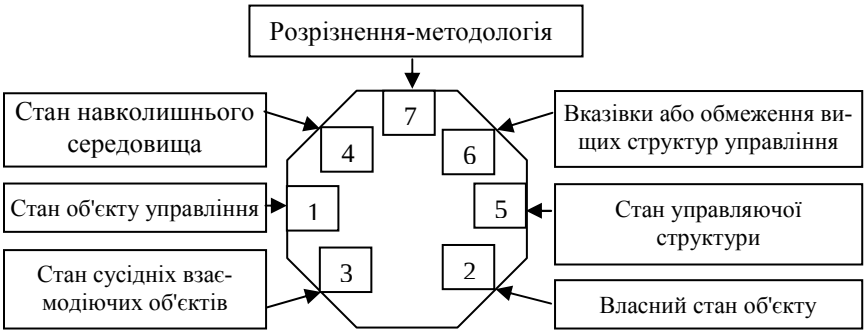
На рис. 1.3 б, схематично показана робота технічної системи управління. Водій на основі аналізу стану автомобіля, навколишнього середовища формує управляючі дії і контролює повноту їх виконання візуально через лобове скло і за допомогою контрольних приладів на панелі управління. При необхідності проводяться коректуючи управляючі дії, направлені на повне досягнення поставленої особистісної меті. Очевидно, головна мета може полягати в перевезенні вантажу або пасажирів з пункту А до пункту Б. Схематично процес корекції управляючих дій наданий на рис. 1.3 в.

На рис. 1.3 г, показана робота соціальної системи управління. Управляючим об'єктом тут є суспільство в якому ми живемо, системи обмежень на поведінку окремої особи або групи осіб формуються за допомогою зведення законів, системи освіти, громадської думки і ховаються за поняттям моральності. За наслідками нашої діяльності формується зворотний інформаційний зв'язок у вигляді громадської думки. Метою такого управління може бути підтримка існуючого політичного режиму, готовність із зброєю в руках відстоювати інтереси окремих політичних сил, наприклад, революції.

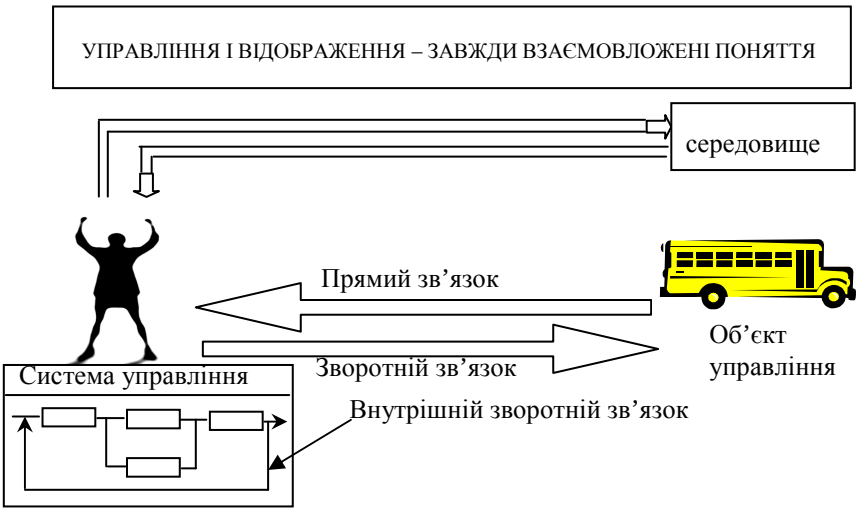
Можна виразно розрізнити ***чотири етапи***, характерні для будь-якого процесу управління:

- поява мети;
- оцінка стану об'єкту управління і зовнішнього середовища (оцінка ситуації);
- прийняття рішення (вибір дій, що управляють);
- виконання прийнятого рішення.

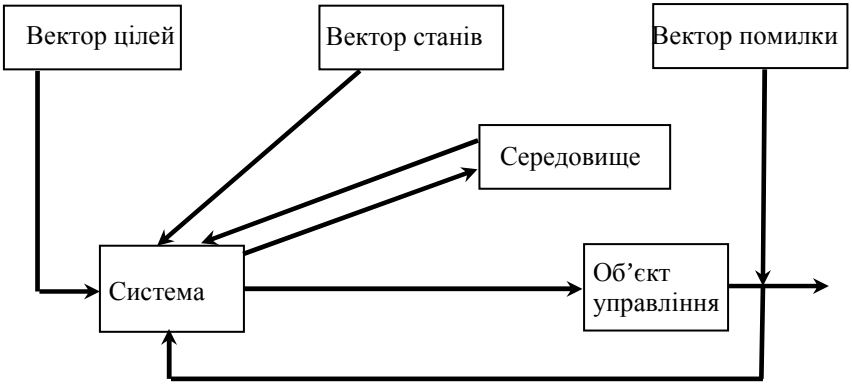
Проте етап появи мети передує початку процесу управління, і його ми виключимо з розгляду. Іноді буває необхідний ще один етап – контроль виконання рішення.



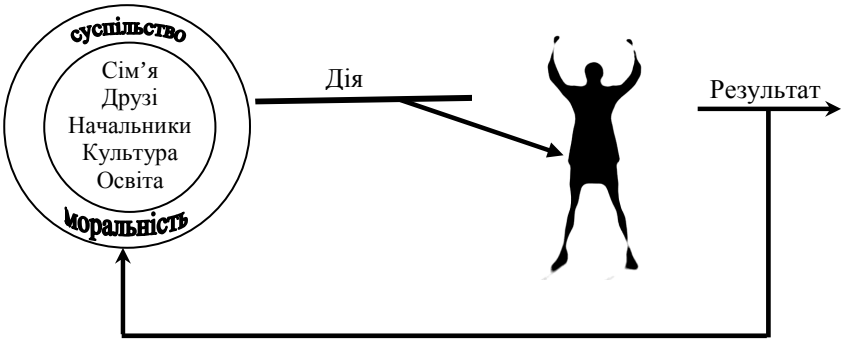
а – чинники, що впливають на прийняття рішення



б – робота технічної системи управління



в – процес корекції управляючих дій



г – робота соціальної системи управління

Рис. 1.3. Схеми функціонування технічної і соціальної систем управління

При необхідності процес управління розбивається на декілька послідовних кроків, причому рішення, що приймається на якому-небудь кроці, залежить від результатів виконання рішення попереднього кроку. Такі процеси називають ***багатокроковими процесами*** прийняття рішення. Прикладом може служити процес управління ракетою при запуску її із Землі на Місяць. Тут можуть бути виділені такі кроки:

- виведення ракети на навколоземну орбіту;
- організація руху ракети у напрямі Місяця;
- переведення ракети на навколомісячну орбіту,
- висадка на Місяць.

Проте у багатьох випадках розбиття складного процесу управління на кроки з чітким виділенням всіх етапів управління на кожному кроці, є вельми важким завданням. Для того, щоб прийняти правильне рішення про ті або інші дії, потрібно оцінити результати цих дій, а для цього необхідно знати характер ситуації, в якій ці дії робляться.

Таким чином, процес управління може бути описаний в загальному вигляді повною функцією управління, алгоритм дії якої наведений на рис. 1.4.

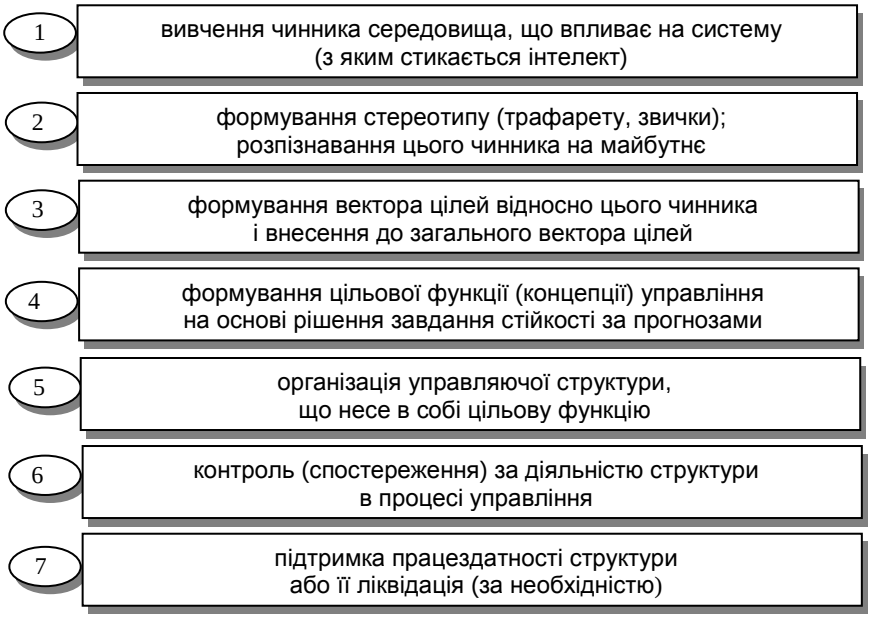
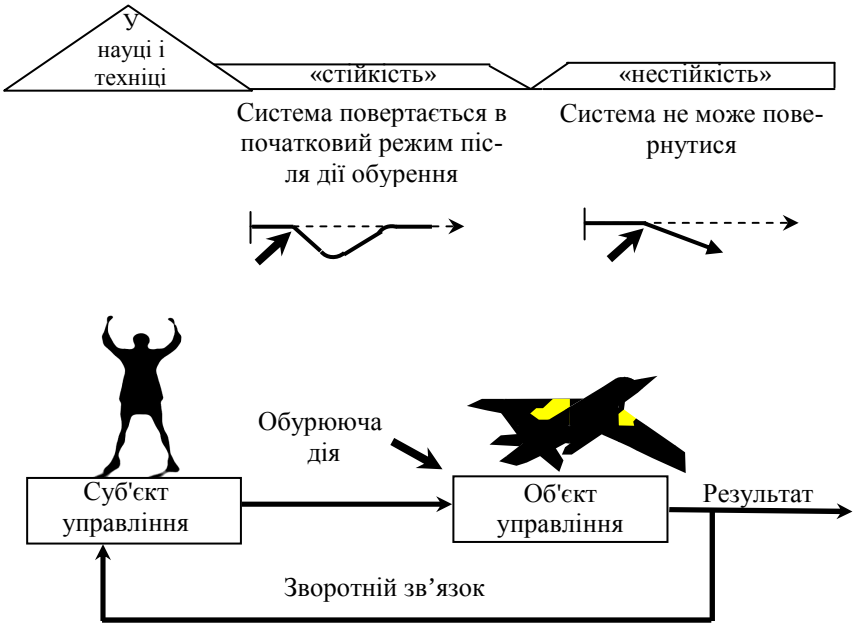


Рис. 1.4. Алгоритм дії повної функції управління

Процес управління може бути ***стійким*** – система після впливу різних обурюючих дій повертається в початкове положення, управляючі дії при цьому виконуються без спотворень, також успішно виконуються поставлені перед системою цільові завдання. Або управління може бути ***не стійким*** – система після впливу різних обурюючих дій не повертається в початкове положення, управляючі дії при цьому виконуються із спотвореннями, дії системи не передбачені, і поставлені перед системою цільові завдання не досягаються (рис. 1.5, а).

При цьому один і той же об'єкт може бути стійким за сукупністю од-

них параметрів і нестійким за сукупністю інших параметрів (рис. 1.5, б)



а)

б)

Рис . 1.5. Стійка і нестійка системи управління

За способами організації управління може бути структурним, наприклад, будь-яка військова або державна організація, або безструктурним – релігійні, громадські організації, стихійні хвилювання на основі чуток або свідомо помилкової інформації.

При структурному способі організації управління структура системи будується до початку процесу управління і надалі не змінюється, управляюча інформація розповсюджується зверху донизу строго за адресами за елементами структури. При безструктурному способі організації управління структура системи формується не директивно, до початку управління, а виникає ймовірно – передбачено, це зумовлено в ході процесу управління на основі переважного безадресного циркулярного розповсюдження інформації – чутки, плітки. Тому деяка множина тим або іншим чином пов'язаних між собою елементів, в даному випадку є середовищем, що породжує різноманітні структури і процеси самоуправління. В цьому середовищі можуть виникати замкнуті ієрархічно впорядковані системи управління, в яких архітектура може змінюватися залежно від вимог часу.

Проте типовим для задач управління є випадок, коли наявна інформація буває або недостатньою для точної оцінки ситуації, або спотвореною сторонніми чинниками. Проте недостатність інформації не знімає задачі прийняття рішення. Дана задача отримала назву задачі прийняття рішення в умовах невизначеності.

Види систем управління

У технічних і інших системах безпосередню участь в управлінні об'єктами може брати людина. Якщо вона виконує одну або декілька функцій управляючого об'єкту (оцінка стану об'єкту і середовища, прийняття або виконання; рішень та інші), то його називають ***людиною-оператором***.

Залежно від ступеня участі людини у виробленні управляючих дій **U** розрізняють ручне, автоматичне та автоматизоване управління. Управління, при якому управляючі дії виробляються і (або) здійснюються при безпосередній участі людини-оператора називають ***ручним***, а без участі людини – ***автоматичним*** (рис. 1.6).

При автоматичному управлінні всі функції керуючого об'єкту: збір, розподіл, передача, обробка, аналіз, зберігання, і відображення інформації про стан об'єкту управління і зовнішнього середовища, вироблення, коректування або відміна рішень, доведення прийнятих рішень до виконавців, контроль виконання рішень, регулювання, документування, діагностування і інші функції реалізуються автоматично без участі людини.

Регулювання – вид управління, метою якого є підтримка на необхідному значенні (значеннях) однієї або декількох величин, що характеризують стан об'єкту управління.

Роль людини в таких системах може зводитися до спостереження за

ходом процесу автоматичного управління з використанням засобів відображення, документування і функціонального контролю, до контролю технічного стану технічних засобів, виявленню несправностей і до вживання заходів з відновлення працездатності автоматичної системи у разі виявлення тих або інших несправностей. Проте і ці функції можуть виконуватися автоматично без участі людини-оператора.

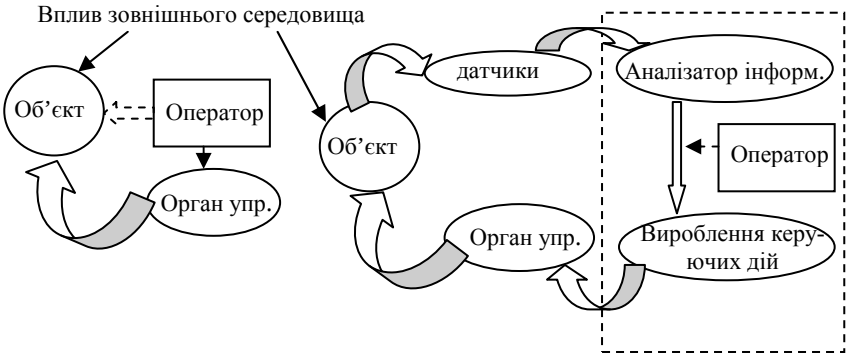


Рис. 1.6. Ручне та автоматичне управління

Безпосередньо ***автоматизація*** є комплексом заходів щодо створення, впровадження і застосування інформаційних, технічних, програмних і інших засобів для часткової або повної заміни інтелектуальних зусиль людини в різних областях його діяльності.

Відповідно до прийнятого державним стандартом визначення ***автоматизована система управління*** (АСУ) – це людино-машинна система, що забезпечує автоматизований збір і обробку інформації, необхідної для оптимізації управління в різних сферах людської діяльності. З організаційно-технічної точки зору АСУ – це система, що складається з персоналу і комплексу засобів автоматизації (КЗА) його діяльності, що включає комплекс технічних засобів, та яка реалізує інформаційну технологію виконання встановлених функцій.

Комплекс засобів автоматизації автоматизованої системи є сукупністю взаємоузгоджених компонентів і комплексів інформаційного, програмного і технічного забезпечення, що розробляються, виготовляються і поставляються як продукція виробничо-технічного або спеціального призначення.

Комплекс технічних засобів АСУ – достатня для виконання всіх функцій АСУ сукупність обчислювальних та управляючих пристроїв, засобів перетворення, відображення і реєстрації сигналів, пристроїв передачі і об-

робки сигналів (даних), а також виконавчих пристроїв.

Отже ***автоматизоване управління*** є поєднанням ручного і автоматичного управління, в якому частину функцій (дій) органу управління, головним чином функцію прийняття рішень, виконує людина-оператор, а решта функцій реалізується автоматично за деяким критерієм якості управління (рис. 1.7).

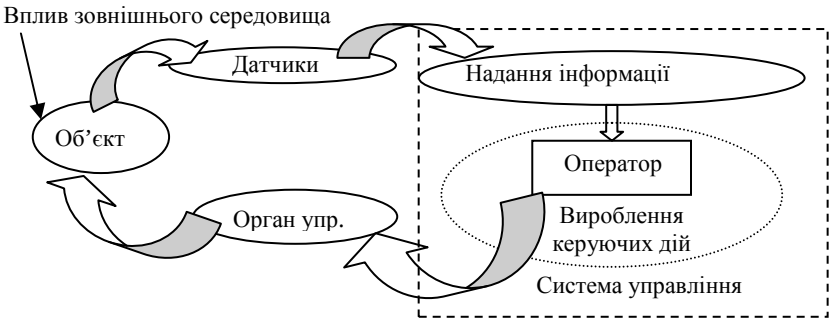


Рис. 1.7. Автоматизоване управління

Оскільки управління технологічними процесами має специфічний характер, протікає, як правило, безперервно і динамічно в часі, то у зв'язку з цим говорять, що даний процес управління повинен здійснюватися в " реальному часі", а системи, що забезпечують; такі процеси, називають АСУ реального часу.

Слід зазначити, що автоматизоване управління властиво всім організаційно-технічним системам, тобто організаційним системам, в процесі функціонування яких широко використовуються технічні засоби. Відповідно організаційною системою (організацією) називається об'єднання людей, які спільно реалізовують деяку програму або мету, і які діють на основі певних правил і процедур. Прикладами організаційно-технічних систем є різні транспортні системи (залізничні, авіаційні та інші), комунікаційні системи (системи телеграфного і телефонного зв'язку), енергетичні системи.

Важливою характеристикою організаційно-технічної системи і, зокрема, системи управління вважається ***час її реакції*** τ_p^{cy}, під яким розуміються тимчасові витрати в системі від моменту виникнення ситуації (задачі управління) τ_o, що вимагає її втручання, до моменту надходження команд на об'єкти, що управляються τ, тобто

$$\tau_p^{cy} \le \tau_o - \tau.$$

У системах реального часу значення часу реакції людини-оператора τ_p близько до граничних можливостей людини при рішенні задач управління ($\tau_p^{гран}$) і складає від декількох секунд до одиниць хвилин. У системах, в яких процес, що управляється, протікає швидше, ніж граничні можливості людини з переробки інформації, необхідні для прийняття рішення $\tau_p^{гран}$, тобто при

$$\tau_p^{cy} \le \tau_p^{гран},$$

всі функції управління повинні реалізовуватися автоматично без участі людини.

Системи, в яких не накладаються такі жорсткі обмеження на величину τ_p^{cy}, відносяться до класу систем обліку і планування. У таких системах значення τ_p^{cy} може досягати декількох діб і більш. Прикладом вказаних систем є системи управління підприємствами, галузями промисловості, навчальні установи.

Таким чином, автоматизоване управління є процесом вироблення і здійснення цілеспрямованої дії на об'єкти управління, які входять до складу системи, на підставі отриманої інформації про стан системи і зовнішнього середовища, що забезпечує найбільш ефективне в сенсі заданих критеріїв ефективності досягнення необхідної мети. Така цілеспрямована дія здійснюється за допомогою технічних засобів автоматизації і людини-оператора.

Задачу управління ми надалі розглядатимемо як математичну задачу. Проте на відміну від багатьох інших математичних задач вона має ту особливість, що допускає не одне рішення, а множину різних рішень. Це пов'язано з тим, що в завданнях управління є, як правило, багато способів організації якого-небудь процесу, які призводять до досягнення поставленої мети. Так, при запуску ракети на Місяць можна обирати різні траєкторії для польоту ракети і т.п. Тому задачу управління можна було б ставити як задачу знаходження хоч би одного з можливих способів досягнення поставленої мети. Проте такої постановки питання зазвичай буває недостатньо.

Якщо є множина рішень якої-небудь задачі, то слід вести мову про вибір системою такого рішення, яке з якої-небудь точки зору є якнайкращим, тобто ефективним. Стосовно АСУ ефективність – це здатність системи забезпечувати досягнення корисних технічних, техноло-

номічних, соціальних і (або) інших результатів шляхом поліпшення якості управління об'єктом.

Можна навести багато прикладів таких завдань. Так, є багато способів для склеювання коробки з аркуша картону заданих розмірів. Рішенням цієї задачі слід вважати отримання коробки максимальної місткості. З одного міста в інше можна приїхати, користуючись різними видами транспорту: повітряним, водним, автобусним, автомобільним. Рішенням задачі буде вибір найбільш вигідного виду транспорту з погляду часу проїзду, вартості, зручностей і т.п. Аналогічне положення має місце в задачах управління.

У тих випадках, коли мета управління може бути досягнута декількома різними способами, на спосіб управління можна накласти додаткові вимоги, ступінь виконання яких може служити підставою для переваги одного способу управління всім іншим.

У багатьох випадках реалізація процесу управління вимагає витрати яких-небудь ресурсів: витрат часу, витрати матеріалів, палива, електроенергії. Отже, при виборі способу управління слід говорити не тільки про те, чи досягається поставлена мета, але і про те, які ресурси доведеться витратити для досягнення цієї мети. В цьому випадку задача управління полягає в тому, щоб із множини рішень, що забезпечують досягнення мети, вибрати одне, яке вимагає найменшої витрати ресурсів.

У інших випадках підставою для переваги одного способу управління іншому можуть служити інші вимоги, що накладаються на систему управління: вартість обслуговування, надійність, ступінь близькості отримуваного стану системи до потрібного, міра достовірності знань і т.п.

Математичний вираз, що дає кількісну оцінку ступеня виконання накладених на спосіб управління вимог, називається ***критерієм якості управління.***

Стосовно АСУ ***критерієм управління*** є співвідношення, що характеризує якість роботи технологічного об'єкту управління в цілому, і яке приймає числові значення залежно від використовуваних управляючих дій. Найбільш переважним або оптимальним способом управління буде такий, при якому критерій якості управління досягає мінімального (іноді максимального) значення.

При виборі, наприклад, режиму польоту критерієм якості управління можна прийняти або вираз для кількості палива, що витрачається на одиницю шляху, або відстань, яка долається за рахунок одиниці палива. Найбільш економічному, тобто оптимальному, режиму відповідатиме або мінімальне (у першому випадку), або максимальне (у другому випадку) значення критерію якості управління.

Приведене визначення оптимального управління розглядатимемо як

попереднє. Строгіше визначення буде дано після розгляду обмежень, що накладаються на процес управління.

Обмеження, що накладаються на процес управління

При рішенні задачі управління не можна не зважати на ту обставину, що рух будь-якої системи завжди схильний до різного роду обмежень.

Для яснішого уявлення про обмеження, що зустрічаються, розглянемо конкретний приклад управління автомобілем. Здійснюючи процес управління, водій повинен зважати на те, що автомобіль має обмежену потужність двигуна, а значить може вести лише обмежений вантаж з обмеженою граничною швидкістю. При виборі маршруту водій вимушений зважати на обмежений запас пального в баку і необхідність поповнення цього запасу в дорозі і т.п.

У загальному випадку є два види обмежень на вибір способу управління.

Обмеженнями ***першого виду*** є самі закони природи, відповідно до яких відбувається рух керованої системи. При математичному формулюванні задачі управління ці обмеження представляються, зазвичай, диференціальними або різницевими рівняннями алгебри об'єкту управління і їх часто називають рівняннями зв'язку.

Другий вид обмежень викликаний обмеженістю ресурсів, використовуваних при управлінні, або інших величин, які через фізичні особливості тієї або іншої системи не можуть або не повинні перевершувати деяких меж. Математично обмеження цього виду виражаються, зазвичай, у вигляді систем алгебраїчних рівнянь або нерівностей, що зв'язують змінні, які описують стан системи.

Задачі управління можна вважати сформульованим математично, якщо:

– сформульована мета управління, яка виражена через критерій якості управління;

– визначені обмеження першого виду, що є системами диференціальних або різницевих рівнянь, які обмежують можливі способи руху системи;

– визначені обмеження другого виду, які є системою алгебраїчних рівнянь або нерівностей, що виражають обмеженість ресурсів або інших величин, які використовуються при управлінні.

Спосіб управління, який задовольняє всім поставленим обмеженням і обертає в мінімум (максимум) критерій якості управління, називається ***оптимальним управлінням.***

1.1.2. Математичний опис об'єкту управління

Загальновідомо, що для вирішення задачі управління перш за все повинна бути складена модель, яка описує математичними залежностями увесь процес з достатньою точністю тобто формалізує процес управління. Формалізація процесу управління завжди припускає суб'єктивний вибір поточної мети управління із множини можливих і визначення істотних характеристик системи, які підлягають формалізації, з урахуванням законів протікання процесів, що управляються наявною системою обмежень, а також зовнішніх і внутрішніх чинників, які впливають на роботу системи управління.

При цьому об'єкту управління ставиться у відповідність його ***математична модель*** як сукупність математичних залежностей, що відображають ті особливості і властивості об'єкту, які істотні для досліджуваного процесу управління.

У реальних умовах часто точно невідомі ні точка прикладення обурення **F**, ні його характер, тому лише за наявності достатньо точної математичної моделі об'єкту можна спроектувати високоякісну систему управління цим об'єктом.

Причому, згідно ***принципу Ешбі***, складність управляючого пристрою, повинна бути не нижче за складність об'єкту управління.

Отже, основною метою побудови математичної моделі об'єкту управління є визначення структури об'єкту, його статичних і динамічних характеристик.

Зауваження. Одному об'єкту може відповідати не одна, а декілька, в тому або іншому ступені пов'язаних одна з однією, математичних моделей, що відображають різноманітні сторони його функціонування. Якщо цим взаємозв'язком можна знехтувати або врахувати його яким-небудь простим способом, то перехід до таких простіших моделей, тобто декомпозиція загальної задачі, істотно спрощує і полегшує рішення конкретної задачі управління.

Основне завдання при складанні моделі полягає у виділенні і відображенні в моделі найбільш важливих чинників реальної системи, які підлягають вивченню в даному конкретному дослідженні.

При моделюванні принципово неможливо отримати повний збіг всіх характеристик і особливостей, властивих моделі і об'єкту. Проте перевагою моделі є можливість порівняно простими засобами змінювати її параметри або вводити зовнішні дії з метою вивчення реакції системи, що в реальних умовах дуже важко і дорого, а іноді і просто неможливо (наприклад, при вивченні поведінки системи в аварійних ситуаціях).

Найбільш простими математичними моделями об'єкту управління є

його детерміновані статичні моделі. При цьому не враховуються випадкові зміни параметрів і перехідні процеси. Детерміновані динамічні і стохастичні моделі є більш складними. Вони відображають вплив на об'єкт значень вхідних дій не тільки в даний, але і в минулі моменти часу, а також, коли всі процеси в об'єкті або їх частина описуються випадковими функціями часу. У цих випадках для вирішення задач управління доводиться використовувати математичний апарат теорії ймовірності і математичної статистики.

Об'єкти управління можуть бути вельми різноманітними і мати різну фізичну природу, наприклад:

– технічні пристрої; автомобіль, токарний верстат і т. п.;

– виробничі підприємства: відділ, цех, завод, галузь;

– економічні системи: економіка підприємства, економіка галузі промисловості;

– біологічні системи;

– соціальні системи тощо.

Та обставина, що закономірності, яким підпорядковуються процеси управління, є загальними для об'єктів управління будь-якої фізичної природи, дозволяє розглянути загальну структуру і дати загальний математичний опис процесу управління. При формалізації опису об'єкту управління одним з основних завдань є знаходження математичних залежностей, кількісно визначаючих вплив управляючих елементів об'єкту на його вихідні параметри. Найчастіше ці залежності отримують експериментальним шляхом.

Позначимо через *x* змінну, що визначає стан об'єкту управління. Іноді вона є одновимірною або скалярною величиною. Це можуть бути кут повороту валу двигуна, швидкість літака, тиск пари в казані парової машини, кількість предметів на складі і т.п.

Проте в більшості випадків для опису об'єкту управління потрібний не одна, а декілька змінних $x^{(1)}, ..., x^{(i)}, \ldots, x^{(n)}$. При описі механічних систем величини $x^{(i)}$ є координатами або швидкостями рухомих частин. У електричних системах величини $x^{(i)}$ будуть струмами або напругою. У економіці це можуть бути ресурси окремих галузей промисловості; у біологічній системі величини $x^{(i)}$ можуть характеризувати концентрацію хімічних речовин.

У цих випадках стан об'єкту описуватиметься багатовимірною змінною $x = (x^{(1)}, ..., x^{(i)}, \ldots, x^{(n)})$, яка далі розглядатиметься як точка в просторі R^n. Змінну x називатимемо вектором стану об'єкту управління. Величини $x^{(i)}$, а значить, і вектор x, як правило, не можуть приймати будь-які значення. Множина допустимих значень змінної *x* позначають як X і називають ***допустимим множиною станів,*** або простором рішень, підкреслюю-

чи, тим самим, що вибір деякого $x \in X$ є можливим рішенням задачі управління.

Якщо величини $x^{(i)}$ приймають кінцеву множину значень, то допустима множина X також буде кінцевою і матиме такий вигляд:

$$X = \{ x_1 ..., x_N \}, \qquad k = \overline{1, N}$$

де $x_{k=} (x_k^{(1)}, ..., x_k^{(n)})$,

Якщо величини $x^{(I)}$ можуть змінюватися безперервно, тобто приймають нескінченну безліч значень, то допустима множина X буде нескінченною множиною. Проте і в цьому випадку значення $x^{(I)}$ зазвичай не можуть бути якими завгодно. На них можуть накладатися обмеження, які зазвичай мають вид рівнянь алгебри або нерівностей.

Часто деякі або всі змінні $x^{(I)}$ задовольняють умові позитивності, наприклад економічних, величини $x^{(I)}$ не можуть бути негативними за своїм фізичним сенсом (витрати, випуск продукції, об'єми товарів, що перевозяться).

Проте і завдання, в яких змінні можуть бути довільного знаку, тобто задовольняють обмеженням виду $x^{(I)} \geq a_i$, $k = \overline{1, n}$,

де a, - довільні числа, легко перетворяться в завдання з не негативними змінними шляхом введення нових змінних

$$y^{(i)} = x^{(I)} - a_i.$$

Разом зі змінною х, яку ми далі вважатимемо доступною вимірюванню і контролю, стан об'єкту управління може залежати від множини неконтрольованих або не повністю контрольованих чинників, визначуваних сукупністю зовнішніх умов, в яких знаходиться об'єкт управління. Льотчик, наприклад, може регулювати режим літака шляхом зміни висоти і швидкості польоту, які є в даному випадку контрольованими параметрами. Проте на витрату палива в значній мірі впливають зовнішні атмосферні умови, які льотчик може лише частково брати до уваги, але на які він не може активно впливати і навіть точно їх передбачати.

Повну сукупність неконтрольованих зовнішніх чинників, що здійснюють вплив на процес управління, називатимемо станом природи і позначати через F. У багатьох випадках шляхом деякої ідеалізації реальних явищ вдається звести все незліченне різноманіття зовнішніх умов до кінцевого числа можливих станів природи f_1, f_L, тобто ввести в розгляд кінцеву безліч $F=\{ f_1, f_L \}$, звану далі ***простором станів природи***. Елементи f_i безлічі F в загальному випадку є багатовимірними величинами

$$f_i = (f_i^{(1)}, f_i^{(l)}); \qquad i = \overline{1, L}.$$

Неможливість повного контролю всіх зовнішніх чинників призводить до того, що замість точного знання стану природи F у багатьох випадках

доводиться обмежуватися лише знанням вірогідності ***P(F)*** різних станів природи. Вірогідність ***P(F)***, яка отримана тим або іншим шляхом для всіх f_i безлічі F до початку рішення задачі управління, називатимемо ***апріорною вірогідністю станів природи***. Природно, що апріорна вірогідність ***P(F)***, що є розподілом вірогідності на просторі F, повинна задовольняти умові

$$\sum_{i=1}^{n} P_i(F) = 1 \quad P(F) \geq 0 \tag{1.1}$$

У ряді випадків стан природи F необхідно розглядати як випадкову безперервну величину, для якої простір станів природи F є нескінченна множина. У таких випадках розподіл вірогідності ***P(F)*** перетворюється на щільність розподілу вірогідності.

Для опису цілеспрямованої дії на об'єкт управління введемо змінну u, яку називатимемо дією, що управляє, або просто управлінням,. Таким чином, слово управління надалі використовуватиметься в двох сенсах:

- управління як організаційна діяльність, направлена на досягнення певної мети;

- управління в сенсі дії, що управляє, тобто деякої фізичної величини, зміна якої проводиться за нашим бажанням і яка впливає на характер процесів в об'єкті управління, змінюючи їх в потрібному напрямі.

Конкретний сенс, в якому використовується слово «управління» в різних випадках, буває, ясний з контексту.

При управлінні складними об'єктами зазвичай доводиться використовувати декілька дій, що управляють отже управління u є в загальному випадку багатовимірною величиною $u_i = (u_i^{(1)} \ldots, u_i^{(z)})$. Так, льотчик може міняти режим польоту, використовуючи управління і, що складається з дії на кількість палива $u_i^{(1)}$ і дії на кермо висоти $u_i^{(2)}$, що витрачається. Дії $u_i^{(к)}$, що управляють, в реальних системах не можуть бути узяті якими завгодно, оскільки вони схильні до різного роду обмежень. Позначимо через ***U безліч всіх значень управлінь u***, які задовольняють поставленим обмеженням. При цьому будь-яке $u_i \in U$ буде допустимим управлінням. Надалі часто зустрічатимуться завдання, в яких безліч допустимих управлінь U є кінцевою безліччю $U=\{u_1 \ldots, u_K\}$.

Судити про те, наскільки застосоване управління u забезпечує досягнення поставленої мети, можна за значеннями змінних стану x. Проте у багатьох випадках це виявляється незручним, оскільки цілі управління можуть виражатися через змінні стани достатньо складним чином. Тому разом із змінними стану x зручно ввести в розгляд вихідні змінні q, що виражають цілі управління в явному вигляді.

Іноді як вихідна змінної, як виняток із загального випадку, може бути

використана яка-небудь зі змінних стану. Наприклад, при управлінні режимом польоту з метою мінімізації витрати палива на заданому маршруті за вихідну змінну зручно узяти шлях, пройдений за рахунок одиниці палива, тоді як змінними станами будуть швидкість і висота літака. Вихідними змінними можуть бути не тільки фізичні величини, але і економічні показники, наприклад коефіцієнт корисної дії та інше. Зокрема, критерій якості управління також може розглядатися як вихідна змінна.

Вихідна змінна залежить в першу чергу від стану об'єкту управління x. Проте на неї можуть здійснювати вплив, використовуване управління u і зовнішні неконтрольовані чинники F. Отже, рівняння для вихідний змінної в загальному випадку має вигляд: $q_i^{(1)} = q\,(x_i^{(1)}, u_i^{(1)}, f_i^{(1)})$.

Взаємодія всіх розглянутих вище за змінні можна наочно представити у вигляді наступної структурної схеми об'єкту управління (рис.1.8).

Під дією сигналів управління u об'єкт управління змінює свій стан. Характер процесів, що відбуваються при цьому, визначається швидкістю зміни змінної стану об'єкту $x^*=dx/dt$, яка є багатовимірною величиною

$$x^* = (x^{*(1)} ..., x^{*(n)})$$

де $x^{*(i)}$ — швидкості зміни компонент багатовимірної змінної x.

Для динамічних систем, в яких фізичні процеси протікають безперервно в часі, швидкості $x^{*(i)}$ в який-небудь момент часу залежать від стану об'єкту управління в той же момент часу, який у свою чергу визначається значеннями змінної стану x, станом природи F і використовуваним управлінням u.

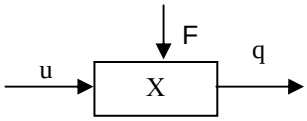


Рис. 1.8. Структура об'єкту управління

Цю залежність можна записати у вигляді системи звичайних диференціальних рівнянь

$$x^{*(i)} = \varphi(x^{(1)}, u^{(1)}, f^{(1)}), \quad x^{(i)}(0) = c_i$$

де величини c_i, $i = \overline{1,n}$ характеризують початковий стан об'єкту управління.

Іноді буває зручно використовувати векторні позначення і замінити систему звичайних диференціальних рівнянь одним рівнянням

$$x^* = \varphi(x,u,f),\ x(0)=c,$$

де $c=(c_1..., c_n)$, а під φ розуміють векторну функцію $\varphi = (\varphi_i ...,\varphi_n)$.

Якщо стан природи не міняється впродовж всіх даних процесів управління, то змінну F можна не указувати.

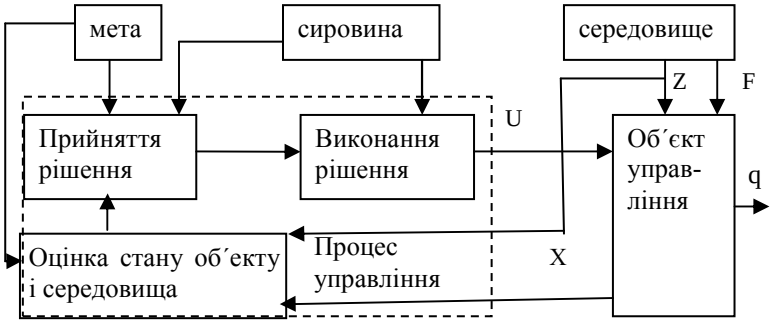


Рис. 1..9. Зв'язки об'єкту управління в системі управління

На рис.1.9 показані взаємозв'язки об'єкту управління, елементів процесу управління і умов його протікання, що визначаються ресурсами і станом навколишнього середовища.

Тут $\boldsymbol{U = (u_1,.,u_n)}$ - дії, що управляють. Частина обурюючих дій, не залежних від системи, що управляє, вимірюється (контрольовані обурення) $\boldsymbol{z_j}$, а частина з різних причин не вимірюється (неконтрольовані обурення) $\boldsymbol{f_i}$, $\boldsymbol{x_i}$ контрольовані величини, за якими ведеться управління.

1.1.3. Управління в динамічних системах

Класична динамічна система - це об'єкт, який описується системою звичайних диференціальних рівнянь. Такого роду об'єкти характерні, перш за все, для різних механічних систем, наприклад: системами звичайних диференціальних рівнянь вичерпним чином описуються рухи планет сонячної системи, польоти ракет і супутників, коливання маятника та інш.

Другою великою областю застосування динамічних систем є теорія автоматичного регулювання, основне завдання якої полягає в забезпеченні заданих режимів роботи різного устаткування (двигунів, хімічних і атомних реакторів автоматичних потокових ліній і т. п.). В цьому випадку системами звичайних диференціальних рівнянь описуються як об'єкти управління, так і регулятори, що будуються на механічних, електромеханічних і електронних принципах.

Нарешті, системами звичайних диференціальних рівнянь можуть достатньо ефективно описуватися і деякі економічні процеси, перш за все в так званих макроекономічних моделях, що описують економіку країни як одне ціле.

Існує простий спосіб, що дозволяє в системах звичайних диференціа-

льних рівнянь обмежитися лише першими похідними. Для цього достатньо всі похідні, окрім старших, прийняти за нові невідомі. Нехай маємо систему

$$x^2 + 2x' + xy = \sin t; \quad y'y = x + y.$$

Позначаючи x' через u, отримуємо систему, що містить лише похідні першого порядку:

$$u' + 2u + xy = \sin t; \quad y'y = x + y; \quad x' = u.$$

Зазвичай припускають додатково, що система може бути вирішена стосовно тих похідних, що входять в неї. У якості незалежної змінної в динамічних системах, які ми розглядатимемо, завжди виступає час.

Після всіх цих попередніх зауваженні запишемо довільну динамічну систему:

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = f_1(y_1, y_2, ..., y_n; u_1, u_2, ..., u_k; f_1, f_2, ..., f_m) \\ \frac{dy_2}{dt} = f_2(y_1, y_2, ..., y_n; u_1, u_2, ..., u_k; f_1, f_2, ..., f_m). \\ ..... \\ \frac{dy_n}{dt} = f_n(y_1, y_2, ..., y_n; u_1, u_2, ..., u_k; f_1, f_2, ..., f_m) \end{cases} \quad (1.2)$$

У систему входять змінні трьох видів: основні змінні — $y_1, y_2, \ldots, y_n$ і параметри, що розділяються на два класи — вхідні параметри (обурюючи дії) $f_1, f_2, \ldots, f_m$ і параметри, що управляють $u_1, u_2, \ldots, u_к$, які є деякими заданими для кожного конкретного випадку функціями часу

$$u_i = u_i(t) \ (i = 1,2., m).$$

За допомогою параметрів, що управляють $u_1, u_2, \ldots, u_к$. можна здійснювати те або інше бажане для нас управління даною системою. Управління в загальному випадку задається системою співвідношень:

$$\begin{cases} u_1 = \varphi_1(y_1, y_2, ..., y_n; f_1, f_2, ..., f_m; t) \\ u_2 = \varphi_2(y_1, y_2, ..., y_n; f_1, f_2, ..., f_m; t) \\ ..... \\ u_k = \varphi_k(y_1, y_2, ..., y_n; f_1, f_2, ..., f_m; t) \end{cases}, \quad (1.3)$$

що зв'язують параметри, які управляють, з основними змінними і вхідними функціями системи. Систему рівнянь (1.3) називатимемо законом управління або просто управлінням.

Після завдання управління система (1.2) перетвориться в нову, так звану вільну форму, що не містить параметрів, що управляють:

$$\begin{cases} \dfrac{dy_1}{dt} = g_1(y_1, y_2, ..., y_n; f_1, f_2, ..., f_m; t) \\ \dfrac{dy_2}{dt} = g_2(y_1, y_2, ..., y_n; f_1, f_2, ..., f_m; t) \\ ..... \\ \dfrac{dy_n}{dt} = g_n(y_1, y_2, ..., y_n; f_1, f_2, ..., f_m; t) \end{cases} \qquad (1.4)$$

Система (1.4), що містить параметри, які управляють, називається управляємою динамічною системою.

Для ілюстрації введених визначень розглянемо приклад. Припустимо, що у нас є запас y деякого матеріалу, що використовується, із швидкістю f і виробляється (з метою поповнення запасу) із швидкістю u. Швидкість зміни запасу буде дорівнювати різниці швидкостей його поповнення і витрачання:

$$\frac{dy}{dt} = u - f \qquad (1.5)$$

Витрата $f = f(t)$ є деякою заданою функцією часу і не є об'єктом управління. Що ж до швидкості виробництва у, то нею можна управляти відповідно до того або іншого закону.

Природним бажанням є: обрати такий закон управління, який забезпечив би підтримку деякого запасу $a > 0$ за будь-якої витрати $f(t)$. Цій умові задовольняє закон:

$$u = \begin{cases} f - k(y - a), & \text{при } u - k(y - a) \geq 0 \\ 0, & \text{при } u - k(y - a) \leq 0 \end{cases} \qquad (1.6)$$

де k – деяка позитивна константа.

Припускаючи, що управління ведеться при $y < a$, і враховуючи $f(t) > 0$, можна обмежитися для визначення (1.5) тільки верхньою строчкою співвідношення (1.6). Після внесення управління система (1.5) перетвориться у вільну динамічну систему, що задається рівнянням:

$$\frac{dy}{dt} = -k(y - a) \qquad (1.7)$$

У теорії управління динамічними системами представляють інтерес два класи завдань, званих зазвичай завданнями аналізу і синтезу. Завдання аналізу застосовується до вільних динамічних систем і полягає у вивченні різних аспектів їх поведінки. Завдання синтезу ставиться стосовно систем, що мають хоч би один параметр u_b що управляє. Сенс цього завдання полягає в знаходженні такого закону управління, який забезпечить деяке, наперед задану поведінку системи.

Просте завдання аналізу (завдання Коші) полягає в тому, щоб за заданих початкових умов $y_1(0)= a_1, y_2(0)= a_2 ..., y_n(0)= a_n$ визначити траєкторію системи, тобто систему функцій $y_1(t), y_2(t) ., y_n(t)$, що задовольняє рівнянням, якими задана дана динамічна система, і що мають задані початкові значення. Завдання Коші для системи звичайних диференціальних рівнянь з безперервними правими частинами завжди має одне і притому єдине рішення. Є багато методів фактичного чисельного рішення задачі Коші, що забезпечують знаходження послідовних точок траєкторії з будь-якою заданою точністю. У основі більшості цих методів лежить наступна ідея: йдучи від початкової точки $M(0)= (y_1(0), y_2(0) ..., y_n(0))$ будується послідовно ряд точок $M(t_i)$ траєкторії, де $t_i = t_{i-1}+ \Delta t \ \ (i = 1, 2 ...,n. \ \ t_0 = 0)$. Причому, для обчислення координат $y_i(t_i)$ чергової точки використовують координати $y_i(t_{i-k})$ побудованих раніше точок і значення похідних $y_i'(t_{i-k})$ в цих точках, які можуть бути отримані з рівнянь, що задають систему.

Простий (хоч і дуже недосконалий) метод ґрунтується на використанні наближеного співвідношення $y_i(t+\Delta t)\approx y_i(t) \pm y_i'(t)\Delta t$. Підвищення точності при наближеному рішенні вимагає зменшення кроку Δt, або переходу до точніших методів (Рунге-Кутта, Адамса і ін.).

Друге найважливіше завдання аналізу вільних динамічних систем — це аналіз їх стійкості. Загальний сенс поняття стійкості полягає в тому, що малі зміни початкових умов і вхідних функцій не повинні приводити до великих змін визначуваних ними траєкторій. Якщо стійкість зберігається за будь-яких змін початкових умов, то говорять про стійкість системи в цілому: в цьому випадку в межі при $t\to\infty$ всі траєкторії, незалежно від своїх початкових точок, зливаються в одну, система, як би «забуває», з якого початкового положення вона почала розвиватися.

Обидва завдання аналізу — визначення траєкторій і аналіз на стійкість — отримують вичерпне рішення для систем, що визначаються лінійними диференціальними рівняннями з постійними коефіцієнтами. У загальному вигляді така система може бути задана таким чином:

$$\left.\begin{aligned}
\frac{dy_1}{dt} &= a_{11}y_1 + a_{12}y_2 + ... + a_{1n}y_n + f_1(t);\\
\frac{dy_2}{dt} &= a_{21}y_1 + a_{22}y_2 + ... + a_{2n}y_n + f_2(t);\\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\
\frac{dy_n}{dt} &= a_{n1}y_1 + a_{n2}y_2 + ... + a_{nn}y_n + f_n(t)
\end{aligned}\right\} \qquad (1.8)$$

Переходячи до завдань синтезу, зупинимося перш за все на класичному завданні теорії автоматичного регулювання, а саме, на завданні по-

будови такого закону управління, за яким дана динамічна система виявляється локально асимптотично стійкою. Один з окремих випадків цього завдання, що найчастіше зустрічаються, полягає в тому, щоб підтримувати з певним ступенем точності задані значення основних змінних:

$$y_1(t) \approx a_1 \quad y_2(t) \approx a_2; \ldots; \quad y_n(t) \approx a_n.$$

Як і завдання аналізу, завдання синтезу якнайповніше вивчені для лінійних систем з постійними коефіцієнтами. Зручним математичним апаратом в цьому випадку є перетворення Лапласа, суть якого полягає в тому, що для будь-якої безперервної функції $y(t)$, визначеною для значень $t > 0$ може бути визначене її зображення (за Лапласом) $Y(s)$, що задається формулою:

$$Y(s) = \int_0^{\omega} e^{-st} y(t)dt \,. \tag{1.9}$$

Перетворення, при якому функції замінюються їх зображеннями, якраз і є перетворенням Лапласа. За зображеням завжди можна відновити початкову функцію, використовуючи формулу:

$$Y(s) = \frac{1}{2\pi i} \int_{a-i\infty}^{a+i\infty} e^{st} Y(s)ds \tag{1.10}$$

де a — будь-яка ненегативна константа, що перевершує дійсні частини всіх особливих точок (точок розриву) функції $Y(s)$. Застосування перетворення Лапласа сильно спрощується тим, що може бути побудований спеціальний словник для функцій і операцій, що дозволяє в більшості випадків, які зустрічаються на практиці, виконувати перетворення без застосувань формул (1.9) і (1.10).

Ще один клас завдань за синтезом законів управління, заснований на застосуванні принципу максимуму Л.С. Понтрягіна. Найпростіше цей принцип застосовується для динамічних систем вигляду:

$$\begin{cases} \dfrac{dy_1}{dt} = f_1(y_1, y_2, \ldots, y_n; u_1, u_2, \ldots, u_m) \\ \dfrac{dy_2}{dt} = f_2(y_1, y_2, \ldots, y_n; u_1, u_2, \ldots, u_m) \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \dfrac{dy_n}{dt} = f_n(y_1, y_2, \ldots, y_n; u_1, u_2, \ldots, u_m) \end{cases} \tag{1.11}$$

Системи такого вигляду, праві частини яких не містять вхідних параметрів і не залежать явно від часу, прийнято називати автономними. Система (1.11) може бути переписана у векторній формі:

$$\frac{d\bar{y}}{dt} = \bar{f}(\bar{y}, \bar{u}) \qquad (1.12)$$

де $\bar{y} = (y_1, ..., y_n)$; $\bar{u} = (u_1, ..., u_n)$.

Рішення $\bar{y}(t)$ рівняння (1.12) прийнято називати траєкторією. Управління шукається для завдань даного типу у вигляді $\bar{u}(t)$ тобто виключається залежність управління від основних параметрів (зворотний зв'язок).

На безлічі управлінь задається функціонал вигляду

$$J = \int_{t_0}^{t_j} f_0(\bar{y}(t), \bar{v}(t))dt, \qquad (1.13)$$

що оцінює якість управління. Межі інтегрування (t_0 *і* t_1) є моменти часу, коли точка $\bar{y}(t)$ знаходиться на початку і в кінці оцінюваного відрізка траєкторії. Простим випадком оцінного функціонала J, що отримуємо при $f_0(\bar{y}, \bar{v}) \approx 1$, є час $\int_{t_0}^{t_1} dt = t_1 - t_0$ проходження даної ділянки траєкторії.

Кількість можливих варіантів $\bar{u}(t)$ обмежується замкнутою безліччю P припустимих значень. Завдання оптимального управління в цьому випадку ставиться таким чином: у безлічі P припустимих управлінь знайти таке, для якого функціонал J приймає найменше можливе значення.

Для вирішення цього завдання початкова система (1.11) доповнюється $n + 1$-*м* рівнянням:

$$y_0 = f_0(y_1, y_2, ..., y_n; v_1, v_2, ..., v_m) \qquad (1.14)$$

права частина якого співпадає з підінтегральним виразом функціонала J, що оцінюється.

Вводяться допоміжні невідомі $\psi_0, \psi_1, \psi_2, \ldots, \psi_n$, для яких складаються диференціальні рівняння:

$$\frac{d\psi_i}{dt} = -\sum_{k=0}^{n} \frac{\partial f_k(y,v)}{\partial y_i}\psi_k \qquad (i = 1, 2 ., n) \qquad (1.15)$$

Після їх рішення в загальному вигляді (з постійними інтеграції) будується функція:

$$H(\bar{\psi}, \bar{y}, \bar{v}) = \sum_{k=0}^{n} \psi_k f_k(\bar{y}, \bar{v}) \qquad (1.16)$$

Можливі оптимальні управління знаходяться на основі принципу максимуму.

Для того, щоб управління $\bar{u}(t)$ було оптимальним, необхідно, щоб для будь-якого значення t на даному інтервалі $t_0 \le t \le t_1$ функція $H(\bar{\psi}, \bar{y}, \bar{v})$ змінного вектора $\bar{u}$ досягала максимуму в точці $\bar{u} = \bar{u}(t)$. При цьому величина ψ_0 постійна і $\psi_0 \le 0$.

У наведеному формулюванні принцип максимуму дає тільки необхідні умови оптимальності управління. Для знаходження необхідних і достатніх умов потрібні подальші його уточнення. Проте і в наведеному вигляді принцип може з успіхом застосовуватися для вирішення практичних завдань.

I.2. Причинно-наслідкові зв'язки основних понять, що використовуються в АСУ

В процесі створення і експлуатації АСУ існують об'єктивні причинно–наслідкові зв'язки об'єктів різної природи. Ці зв'язки носять інформаційний, енергетичний, фізико–біологічний, матеріальний, ідеальний, соціальний і інший характер. Причинно–наслідкові зв'язки утворюють систему суті об'єктів, які адекватно відбиваються через поняття, що використовуються при розробці і функціонуванні АСУ. До таких понять відносяться: система, управління, функція, завдання, процес, функціонування, дія, відчуття, емоції, рішення, властивість, якість, ефективність та ін. Вказані поняття знаходяться в певних відносинах, які утворюють наступні основні причинно–наслідкові ланцюги:

1. Мета - функція - завдання - процес - система – модель.

Цей ланцюг визначає послідовність дій розробника АСУ при розробці варіанту її побудови, так, як мета, що стоїть перед системою і визначає спочатку функції, потім завдання і етапи рішення задач. Будь-яке завдання вирішується на деякому інтервалі часу τ. Отже це породжує процес, а будь-який процес може бути реалізований тільки за допомогою системи, а не навпаки, тобто процес є первинним у відношенні до системи.

У АСУ виділяють наступні процеси :

1) функціонування;

2) управління;

3) інформаційний;

4) допоміжний та ін.

Процеси 2, 3, 4 складають ***процесний базис*** будь-якої системи управління і реалізуються тільки при її функціонуванні.

Вказані процеси в АСУ, що функціонують, взаємозв'язані і узгоджені в часі, просторі і за ресурсами. Моделі функціонування адекватно відо-

бражають динаміку зміни властивостей АСУ в процесі застосування їх за призначенням з урахуванням впливу зовнішнього середовища тобто умов застосування.

2. Функціонування - властивість - ефекти - ефективність

Цей ланцюг відображає той факт, що властивість системи виявляється тільки при взаємодії з іншими системами в процесі їх функціонування, тобто процесу реалізації функцій АСУ. Від властивостей залежать різні ефекти АСУ: цільові, технічні, економічні та інші при відповідних ресурсах.

Ефекти, віднесені до ресурсів, що забезпечують отриманий ефект за деякий інтервал часу, дозволяють в загальному випадку судити про потенційну ефективність АСУ на стадії її створення.

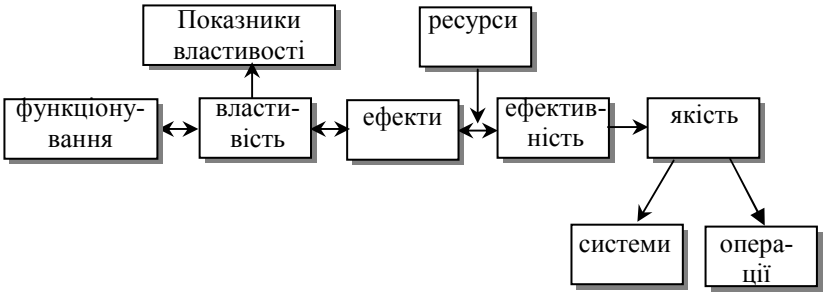


Рис. 1.10. Ланцюг функціонування - властивість - ефекти - ефективність

3. Відчуття - думка - емоції - дії :

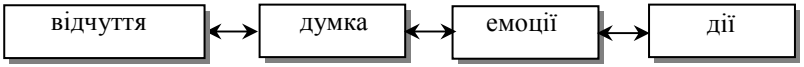


Рис. 1.11. Ланцюг відчуття - думка - емоції - дії

Цей ланцюг об'єктивно показує залежність якості перцептивних (пов'язаних з виявленням потрібної інформації на засобах відображення), когнітивних (розумових) і моторних (пов'язаних з передачею цілеспрямованих дій на об'єкти управління з пультів управління) дій персоналу від емоційного стану і розумових процесів при прийнятті рішень.

4. Перцептивні - когнітивні - моторні дії

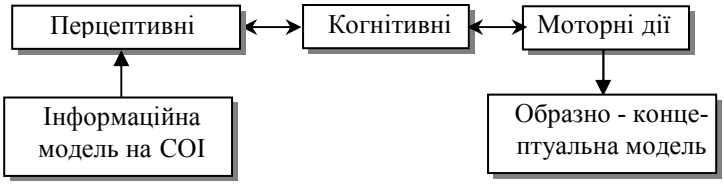


Рис. 1.12. Ланцюг перцептивні - когнітивні - моторні дії

Цей ланцюг розкриває послідовність реалізації причинно–наслідкових зв'язків, показаних у ланцюзі 3, в системі діалогової взаємодії оперативного персоналу АСУ з системою обробки даних КЗА. Вона пояснює механізм прийняття рішень, а також роль інформаційної моделі зовнішнього середовища і АСУ і образно – концептуальної моделі в цьому процесі.

Ланцюги 1, 2, 4 відображають основні взаємозв'язки суті об'єктів, які властиві як засобам автоматизації, так і персоналу АСУ. Ланцюг 3 характеризує в основному персонал АСУ. Проте при підвищенні ступеня автоматизації інформаційних, управлінських і допоміжних процесів за рахунок інтелектуалізації перцептивних дій роль засобів автоматизації підвищуватиметься. Отже, частина функцій персоналу АСУ, і перш за все функції інформаційної підготовки рішення або прийняття рішення, передаватиметься обчислювальному середовищу системи.

Виявлення і облік об'єктивно існуючих зв'язків між основними поняттями, використовуваними в АСУ, дозволить підвищити якість їх розробки і визначити найбільш раціональні способи застосування АСУ за призначенням в різних умовах функціонування. Істотну роль в підвищенні якості проектних рішень і функціонування АСУ відіграють причинно–наслідкові відносини понять засобу, якості АСУ і ефективність її застосування в операції.

1.3. Питання до розділу 1

1. Дайте визначення поняттю управління.
2. В чому міститься сутність управління.
3. Дайте визначення поняттю система.
4. Дайте визначення поняттю підсистема.
5. Дайте визначення поняттю функція.
6. Дайте визначення поняттю функціонування системи.

7. Дайте визначення поняттю функція управління.
8. Наведіть загальну структурну схему системи управління.
9. Дайте визначення поняттю обурююча дія.
10. Дайте визначення поняттю об’єкт, що управляє.
11. Дайте визначення поняттю об’єкт управління
12. Наведіть класифікацію основних типів об'єктів управління.
13. Дайте визначення поняттю повна функція управління.
14. Наведіть і поясніть роботу технічної системи управління.
15. Наведіть і поясніть роботу соціальної системи управління.
16. Які чинники впливають на прийняття рішення керуючим об’єктом.
17. Наведіть загальну схему процесу корекції управляючих дій.
18. Які етапи, характерні для будь-якого процесу управління.
19. Поясніть сутність багатокрокового процесу прийняття рішення.
20. Поясніть, сутність стійкого управління.
21. Поясніть, сутність нестійкого управління.
22. Поясніть, сутність і наведіть загальну схему системи ручного управління.
23. Поясніть, сутність і наведіть загальну схему системи автоматичного управління.
24. Поясніть, сутність і наведіть загальну схему системи автоматизованого управління.
25. Дайте визначення поняттю регулювання.
26. Дайте визначення поняттю автоматизація.
27. Дайте визначення поняттю АСУ.
28. Дайте визначення поняттю КЗА.
29. Дайте визначення поняттю КТЗ.
30. Дайте визначення поняттю час реакції системи.
31. Дайте визначення поняттю критерій управління.
32. Перелічіть обмеження, що накладаються на процес управління.
33. Дайте визначення поняттю оптимальне управління.
34. Сформулюйте принцип Ешбі.
35. Наведіть і поясніть математичну модель об’єкту управління
36. Наведіть і поясніть загальну схему зв'язків в системі управління.
37. Для динамічної системи наведіть і поясніть систему рівнянь, що має назву закону управління або просто управління.
38. В чому полягає загальний сенс поняття стійкості динамічної системи.
39. Наведіть і дайте пояснення основним причинно–наслідковим зв'язкам понять, що використовуються в АСУ.

Розділ 2

Загальна характеристика процесу побудови АСУ

Розглянуто загальні принципи і основні завдання системи створення АСУ, задачі загальносистемного проектування і основні процедури процесу розробки АСУ. Наведено класифікацію АСУ. Розглянуто загальні суттєві признаки, притаманні АСУ, наведено класифікацію їх функцій і завдань, що вирішуються. Також розглянуто основні властивості АСУ, за якими визначається їх якість, стадії життєвого циклу АСУ, основні етапи робіт при створенні АСУ, а також постановка, загальний порядок і структуризація проблеми побудови АСУ. Крім того, розглянуто аспекти прийняття проектних рішень при побудові АСУ та сформульовано принципи визначення вимог до АСУ.

2.1. Зміст і завдання процесу побудови АСУ

Будь який процес, у тому числі й процес побудови та експлуатації АСУ, реалізується тільки за допомогою відповідних систем, які повинні бути погоджені за ресурсами і функціонувати як єдине ціле за критерієм «ефективність - вартість».

Автоматизовані системи управління представляють складні організаційно-технічні системи, в яких при їх функціонуванні реалізуються одночасно ряд інформаційних, управлінських і допоміжних функцій. Функціонування АСУ організовується на основі розробки відповідного інформаційного, організаційного, методичного, правового, математичного, програмного, технічного, ергономічного і метрологічного забезпечення.

Найбільший ефект функціонування АСУ досягається тоді, коли підходи до її створення й експлуатації обґрунтовуються й оптимізуються за єдиним критерієм, одночасно з раціональним розподілом між ними необхідних ресурсів.

На систему створення покладають наступні основні завдання АСУ:

1) обґрунтування методології й технології розробки АСУ;

2) розробка, виготовлення, випробування та введення в експлуатацію АСУ;

3) розробка та оптимізація системи експлуатації.

На систему експлуатації покладається завдання підтримки в працездатному стані АСУ в процесі її експлуатації при найменших витратах.

При створенні АСУ необхідно, виходячи з вимог до призначення і функцій системи, визначити її склад, структуру, розробити відповідні алгоритми функціонування системи та її складових частин, а також методи організації та обробки даних, що циркулюють в АСУ.

Сукупність питань побудови інформаційного, програмного, технічного та інших видів забезпечення, а також аналізу функціонування АСУ з урахуванням зовнішнього середовища та способу реалізації її функцій, становлять ***предмет створення АСУ***. Зазначені питання вирішуються в рамках теорії систем управління, що дає цілісне уявлення про основні закономірності побудови і функціонування автоматизованих систем.

Побудова АСУ є трудомістким і тривалим процесом. У ньому беруть участь великі колективи розроблювачів — фахівців із системних питань, інформаційних технологій, математичного, програмного, технічного та інших видів забезпечення автоматизованої системи.

Головною особливістю процесу створення АСУ є те, що доводиться приймати різні рішення з розробки системи в умовах невизначеності або неповної інформації.

З погляду глибини і детальності пророблення проектних рішень при побудові АСУ, весь процес створення можна розбити на такі стадії:

- дослідження, обґрунтування та формування вимог до АСУ, що створюється, розробка концепції АСУ та вибір варіанта її побудови, розробка технічного завдання;
- ескізне, технічне і робоче проектування АСУ, що створюється;
- виготовлення АСУ;
- випробування і здача АСУ в експлуатацію.

З погляду змісту процесу створення АСУ розрізняють такі складові частини:

- проблемний аналіз стану та можливостей науки і техніки з створення АСУ з необхідними спеціальними, технічними, ергономічними властивостями та прогноз зміни дії факторів зовнішнього середовища на АСУ;
- загальносистемне проектування АСУ;
- проектування видів забезпечення АСУ (інформаційного, програмного, технічного та ін.);

- виготовлення технічних засобів автоматизації;
- автономні та комплексні випробування програмних і технічних засобів;
- здача АСУ в експлуатацію.

Робота зі створення АСУ базується на загальних методологічних підходах — кібернетичному, ергатичному і системному. Ці підходи є засобами, що дозволяють виробляти найбільш раціональні для конкретних умов створення АСУ проектні рішення з урахуванням взаємного впливу і взаємодії основних факторів, що визначають концепцію побудови та вигляд АСУ. Узагальнений алгоритм процесу створення АСУ наведено на рис. 2.1.

На обґрунтування складу, структури і властивостей підсистем і АСУ в цілому найбільш істотно впливають роботи, проведені під час загальносистемного проектування і проектування інформаційного, програмного та технічного забезпечення.

Загальносистемне проектування є основною частиною проектування, у процесі реалізації якої визначається вигляд АСУ та вимоги до неї, розраховуються її характеристики, розробляються принципові проектні рішення щодо побудови АСУ та її елементів. Власне, загальносистемне проектування з найбільшим ступенем узагальнення охоплює процес проектування інформаційного, програмного і технічного забезпечення.

Основними завданнями загальносистемного проектування є:

1) оцінка доцільності розробки АСУ;

2) вибір раціональних структурних схем АСУ, а в остаточному підсумку — вибір варіанта структури АСУ та її елементів;

3) розробка моделей процесів функціонування АСУ;

4) розробка вимог: до АСУ в цілому, до функцій і завдань, що виконуються системою, та до видів забезпечення (математичного, інформаційного, лінгвістичного, програмного, технічного, ергономічного, метрологічного, організаційного, методичного та інш.);

5) вибір основних загальносистемних проектних рішень щодо побудови АСУ в цілому;

6) обґрунтування ідеології, принципів і методів рішення функціональних та інших завдань, що становлять основу і зміст математичного забезпечення АСУ;

7) розробка основних концепцій і принципів побудови КТЗ АСУ;

8) визначення на базі обраних проектних рішень принципів і методів організації АСУ і її елементів у різних режимах їхнього функціонування.

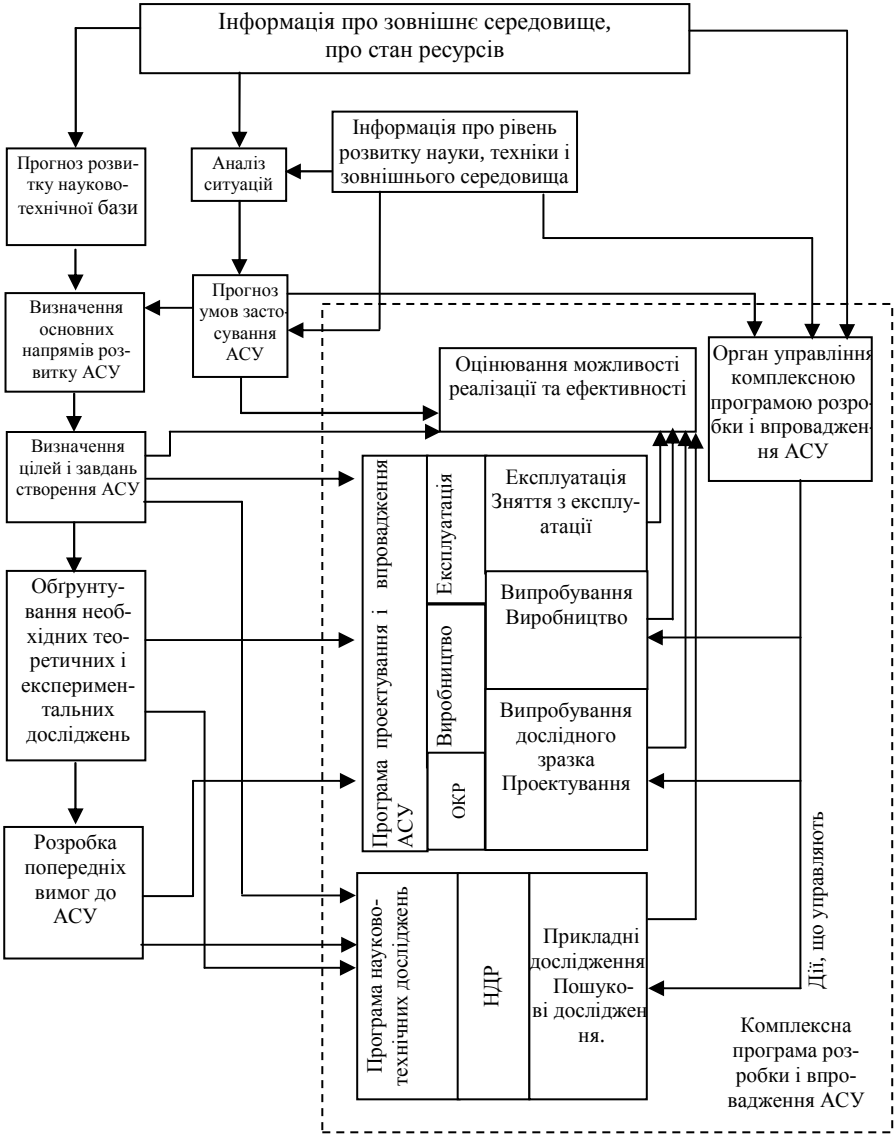


Рис.2.1. Узагальнений алгоритм процесу створення АСУ

Основними завданнями проектування математичного і програмного забезпечення є:

1) створення, налагодження і здача в експлуатацію засобів загального математичного забезпечення, розробка технологічних процесів створення програм на основі принципових рішень, прийнятих при загальносистемному проектуванні;

2) розробка засобів загального математичного забезпечення обчислювального процесу реального часу на базі принципів, обґрунтованих при загальносистемному проектуванні;

3) створення управляючої програми реального часу;

4) побудова моделей для дослідження й відпрацьовування різних функціональних завдань спеціального математичного забезпечення;

5) розробка алгоритмів і програм функціональних завдань спеціального математичного забезпечення.

6) організація на базі принципів і методів, розроблених у процесі загальносистемного проектування, комплексного проектування алгоритмів і програм, включаючи завдання комплексного вв'язування всіх програм у єдину функціональну програмну систему, раціонального використання обчислювальних ресурсів ЕОМ у ході проектування і функціонування АСУ, адаптації математичного забезпечення до умов функціонування АСУ;

7) проведення автономного і комплексного налагодження математичного та програмного забезпечення і здачі їх в експлуатацію.

У процесі створення технічних засобів вирішують такі завдання:

1) розробка на підставі загальносистемних вимог повного переліку вимог до різних КТЗ, підсистем і пристроїв, що входять до КТЗ;

2) розробка конкретних технічних рішень з побудови й комплексуванню різних КТЗ у межах обраних структур цих КТЗ;

3) вибір технічних засобів із числа існуючих або розроблювальних для створення КТЗ;

4) розробка технічних завдань на створення нових технічних засобів, необхідних для побудови і комплексування КТЗ АСУ;

5) вибір існуючої або розробка нової елементної, схемної чи конструктивно-технологічної бази, на якій буде виконана розробка нових пристроїв;

6) розробка й виготовлення експериментальних зразків нових пристроїв або видів технічних засобів для КТЗ, проведення випробувань та запуск їх у серійне виробництво;

7) виготовлення, налаштування, комплексне налагодження, проведення випробувань і здача в експлуатацію підсистем і КТЗ у цілому.

Перераховані вище складові частини створення КТЗ мають

ітеративний, еволюційний характер і утворюють єдиний процес побудови АСУ. Загальним для всіх етапів створення АСУ вважається те, що кожний з них містить у собі обов'язкове проведення п'яти процедур: синтез, створення абстрактної й фізичної моделі, аналіз, оптимізація й прийняття рішення на вибір варіанту побудови технічних або програмних засобів. При цьому оптимізуються обрані принципи, структури АСУ (функціональні, організаційні, інформаційні, алгоритмічні, програмні, технічні й ін.) методи й засоби побудови моделей, а також методи випробувань.

Систему створення (розвитку) АСУ в спрощеній формі можна представити у вигляді двох складових частин сил і засобів. До сил відносяться колективи науково-дослідних, проектних, виробничих, будівельних, монтажно-налагоджувальних, іспитових, навчальних, експлуатаційних і інших підрозділів, а також підрозділу керуючого органа, що координує дії зазначених сил.

Засоби створення АСУ складаються із програмно-методичних, математичних, програмних, технічних, матеріальних і фінансових засобів. Крім того, засоби включають методологію й технологію створення АСУ, які є основним інструментом оптимізації за критерієм «ефективність - вартість» всіх процесів створення системи.

Методологія створення АСУ являє собою сукупність принципів, методик і методів проведення організаційних, дослідницьких, проектних і інших робіт, якими керуються розробники та виробники при обґрунтуванні й реалізації проектних рішень у процесі створення АСУ. Важливою складовою частиною методології є ***концепція побудови АСУ***, що визначає загальний задум з урахуванням прийнятих принципів побудови і являє собою систему взаємозалежних і витікаючих один з одного поглядів на процес створення АСУ.

Технологія створення АСУ представляє сукупність упорядкованих у часі організаційних, науково-дослідних, проектних, виробничих, будівельних, монтажно-налагоджувальних, екзаменаційних, навчальних і інших процесів, а також методів їхньої оптимізації, реалізованих у ході створення АСУ. Основне завдання технології створення як науки - виявлення фізичних, психофізіологічних, математичних і інших закономірностей з метою визначення й використання на практиці найбільш ефективних і економічних процесів створення АСУ.

Сучасна технологія автоматизації процесів створення й розвитку АСУ використовує наступні системи:

- автоматизована система аналізу й прогнозування характеристик АСУ (АСАПХ) - для підтримки процесів підготовки рішень, які будуть прийматися протягом її життєвого циклу, з урахуванням даних про

зовнішнє середовище, процеси функціонування, показниках якості та варіанти побудови й використання АСУ;

- автоматизована система планування й управління (АСПУ) - для автоматизації вирішення завдань оперативного та довгострокового планування й управління процесом створення (розвитку) і застосування АСУ;
- автоматизована система наукових досліджень (АСНД) - для рішення завдань теоретичного моделювання досліджуваного об'єкта, планування, проведення, контролю й управління експериментом, обробки експериментальних даних і порівняння їх з теоретичними результатами при виборі варіанта побудови або застосування АСУ;
- система автоматизованого проектування (САПР) - для автоматизації проектних процедур і прийняття оптимального технічного рішення в ході проектування об'єктів АСУ;
- автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУ ТП) або гнучкими виробництвами (АСУ ГВ) - для виготовлення технічних засобів АСУ різного функціонального призначення;
- автоматизовані системи проведення випробувань (АСПВ) - для випробувань АСУ і її елементів;
- автоматизовані системи статистичних досліджень (АССД) - для автоматизації експлуатаційних процесів.

Перераховані засоби автоматизації створення (розвитку) АСУ є тісно взаємодіючими й органічно зв'язаними системами, тому що вони можуть використатися автономно, поєднуватися в різних сполученнях або входити складовою частиною в АСАПХ.

Найбільш загальними принципами системного, біологічного й кібернетичного підходів вважаються наступні принципи (рис. 2.2):

- принцип системності полягає в тому, що при створенні, функціонуванні й розвитку АСУ повинні бути встановлені й збережені зв'язки між структурними елементами, що забезпечують її цілісність;
- принцип розвитку полягає в тому, що АСУ повинна створюватися з урахуванням можливості поповнення й відновлення функцій АСУ та видів її забезпечення шляхом доробки інформаційних програмних та (або) технічних засобів або настроюванням наявних засобів;
- принцип сумісності полягає в забезпеченні здатності взаємодії АСУ різних видів і рівнів у процесі їхнього спільного функціонування;
- принцип ефективності полягає в досягненні раціонального відношення між витратами на створення АСУ й цільовими ефектами, отриманими при її функціонуванні;

- принцип зовнішнього доповнення випливає із принципу системності й припускає розгляд досліджуваної АСУ з урахуванням системи, яка розташована вище з якої формулюються вимоги до системи, що розглядається;
- принцип послідовного зняття невизначеності полягає в одержанні додаткових відомостей про АСУ, що створюється на кожному етапі її життєвого циклу за рахунок більше детального дослідження й розрахунку її показників якості;
- принцип функціонального гомеостазису відбиває здатність АСУ забезпечувати стабільність (стійкість) у певних межах свого функціонального поводження при рішенні кожного зі своїх особистих і загальних завдань;
- принцип зворотного зв'язку полягає в тому, що АСУ повинна ефективно функціонувати при наявності в її структурі ланцюгів зворотного зв'язку інформаційного, енергетичного або речовинного характеру;

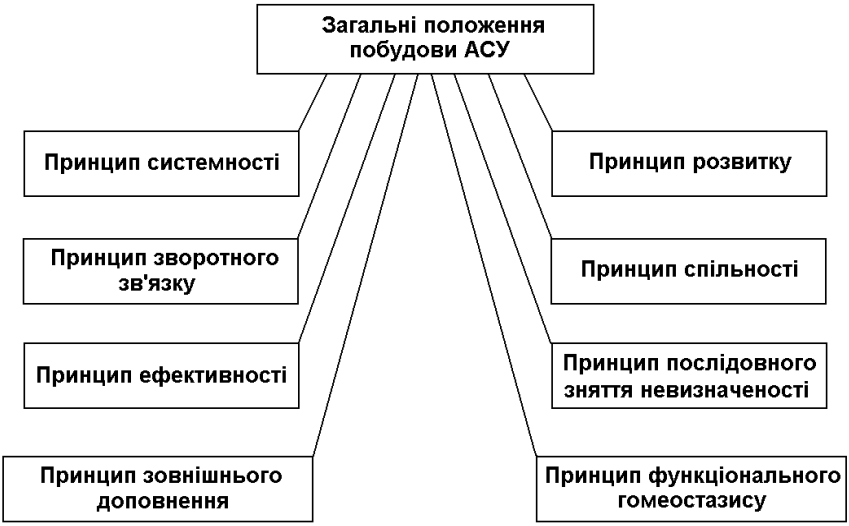


Рис. 2.2. Загальні принципи створення АСУ

Обгрунтування варіанта побудови АСУ вважається найважливішою складовою частиною її створення. Умовно процес вибору варіанту побудови системи можна розбити на наступні етапи:

1) проблемний аналіз зовнішнього середовища й науково - технічних можливостей створення АСУ, на підставі якого обґрунтовуються технічні, ергономічні і економічні вимоги до системи;

2) вибір і оптимізація варіанта побудови АСУ, в процесі якого синтезується раціональна технічна структура АСУ;

3) вибір і оптимізація застосування АСУ, в процесі якого уточнюється технічна структура АСУ.

Зазначені етапи й відповідні їм завдання становлять основний зміст системного дослідження АСУ на вибір її структури. Особливістю завдань 2, 3 етапів є те, що рішення на вибір варіанта побудови й застосування АСУ приймається на основі результатів моделювання процесу функціонування і (або) реального функціонування АСУ в ході експериментального відпрацьовування.

При формальному описі АСУ користуються наступними видами структур, що відрізняються типами елементів і зв'язків між ними:

F - Функціональна (елементи – підсистеми, функції, завдання, операції; зв'язки – інформаційні);

O – організаційна (елементи – технічна обслуга й окремі виконавці; зв'язки – інформаційні, супідрядності й взаємодії);

T – технічна (елементи – пристрої, комплекси; зв'язки – лінії зв'язку);

A – алгоритмічна (елементи – алгоритми; зв'язки – інформаційні);

P – програмна (елементи – програмні модулі; зв'язки – інформаційні й управляючі);

I - інформаційна (елементи – форми існування й подання інформації в системі; зв'язки – операції перетворення інформації в системі).

Д – документальна (елементи – неподільні складові частини й документи АСУ; зв'язки – взаємодії, підлеглості й супідрядності).

Перераховані структури розробляються в рамках організаційного, методичного, інформаційного, математичного, програмного, лінгвістичного, технічного, ергономічного, метрологічного й правового забезпечення АСУ.

Склад і зв'язки технічної структури АСУ ***S*** **(*T*)** істотно залежать від мети її функціонування ***W***, а також параметрів ***F, O, I, A, P***, і ***Д*** – структур, тобто

$$S(T) = \varphi(W, S(F), S(O), S(I), S(A), S(P), S(Д)).$$

Кожна структура характеризує окрему сторону АСУ, тому дослідження впливу цих структур або їхніх комбінацій на ефективність функціонування ***T*** – структури дозволяє вибрати раціональний варіант побудови технічних засобів.

У процесі вибору варіанта побудови й застосування АСУ вирішуються наступні проблемні науково - технічні завдання:

1) проблемний аналіз можливостей зі створення АСУ й визначення вимог до неї;

2) синтез ***F , O , I , A-, P , T і Д*** – структур АСУ і їхніх комбінацій з урахуванням інформаційних процесів у системі;

3) оцінювання варіантів побудови й застосування АСУ з урахуванням умов функціонування й способу реалізації функцій у системі на основі моделювання процесів функціонування;

4) оптимізація процесів створення (розвитку) АСУ й показників її спеціальних, технічних, ергономічних і економічних властивостей;

5) обґрунтування способу реалізації алгоритму обміну даними в системі передачі даних ;

6) визначення дисципліни обслуговування заявок у системі обробки даних АСУ на різних рівнях ієрархії системи управління з урахуванням пріоритетів, ресурсів і обмежень;

7) синтез системи діалогової взаємодії персоналу АСУ з обчислювальною системою й обґрунтування параметрів інформаційних моделей і комплексів технічних засобів відображення типових автоматизованих пунктів управління;

9) створення бази даних (знань) і системи управління нею, обґрунтування режиму рішення інформаційно-розрахункових завдань і ***T*** - структури інформаційно-розрахункової системи.

Варіант побудови ***T*** - структури уточнюється після вибору варіанта застосування АСУ на основі результатів моделювання й оптимізації процесу функціонування обраної ***T*** – структури, з урахуванням надійності, умов експлуатації, способу реалізації функцій системи й цільових ефектів, що при цьому досягаються, з урахуванням ресурсів, що споживаються. На даному етапі цілями моделювання є оптимізація показників ефективності АСУ з урахуванням впливу зовнішнього середовища, способу реалізації функцій, - необхідних ресурсів, що споживаються, і вибір на основі результатів моделювання раціональних варіантів застосування системи управління.

Остаточний варіант структури АСУ або її елементів приймається після експериментального відпрацьовування в заводських, полігонних умовах або експлуатації.

Весь комплекс завдань зі створення ефективного застосування АСУ вирішується в рамках загальної теорії систем і теорії АСУ. Об'єктом загальної теорій систем є складні системи як штучного, так і природного походження, а предметом її розгляду є закономірності створення, функціонування і розвитку складних систем.

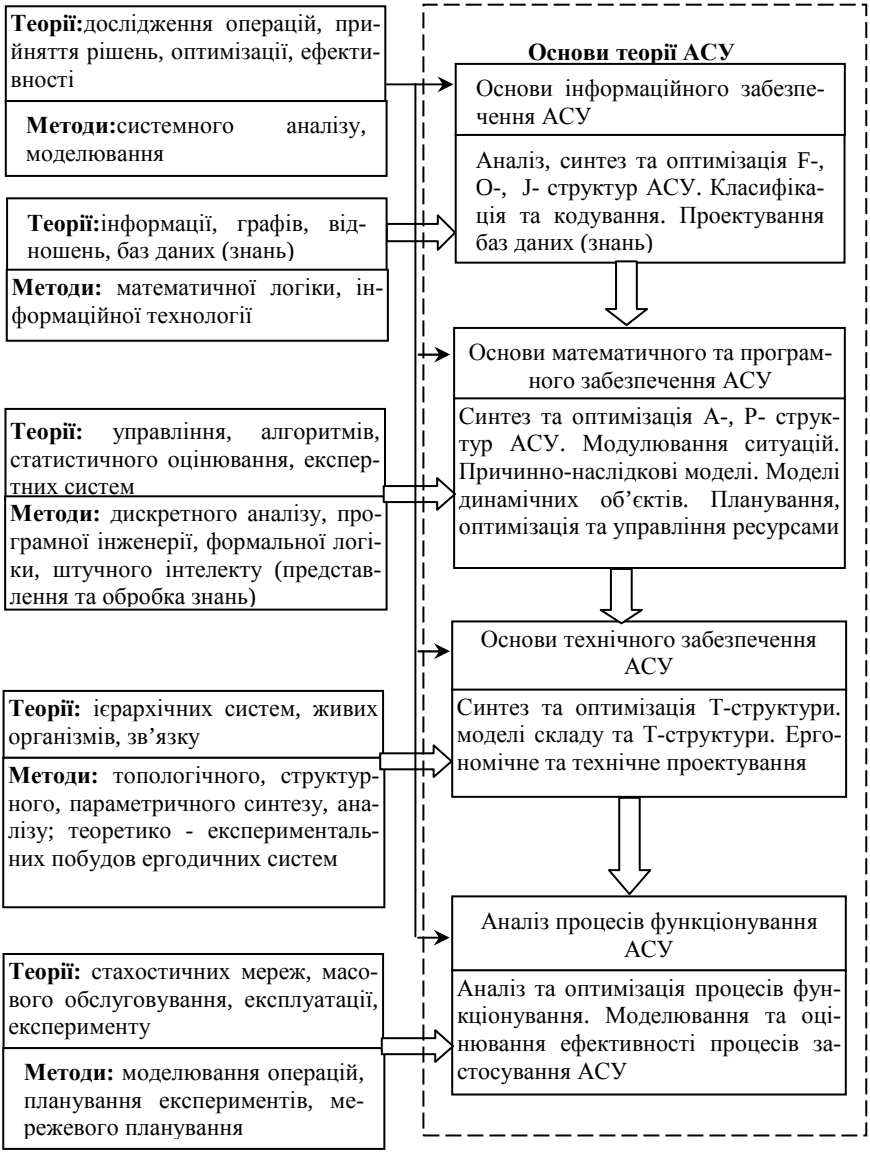


Рис. 2.3. – Основні наукові теорії і методи, що використовуються при побудові АСУ

Мета теорії АСУ як форми і розділу наукових знань полягає в тому, щоб дати цілісне уявлення про основні закономірності побудови і функціонування АСУ. ***Предмет теорії АСУ*** складає сукупність питань побудови технічного, математичного, інформаційного, лінгвістичного програмного, ергономічного і інших видів забезпечення АСУ. Основні наукові теорії і методи, що використовуються в теорії автоматизованих систем надані на схемі (рис.2.3).

2.2. Класифікація АСУ

Велика розмаїтість існуючих АСУ, розходження їхнього функціонального призначення й розв'язуваних завдань, характеристик і розміщення елементів приводять до необхідності класифікації АСУ. Класифікація дозволяє методологічно більш послідовно підійти до рішення проблем побудови АСУ, тому що вибір основних технічних засобів значною мірою визначається приналежністю АСУ до того або іншого класу. Класифікація АСУ може бути досить різноманітною, будуватися за всілякими ознаками і тому є досить умовною.

Дуже важливою й досить аргументованою є класифікація АСУ за наступними ознаками:

- часу реакції на обробку вхідного потоку інформації, прийняття рішень і доведення їх до виконавців (за реактивністю АСУ);
- розмірам займаної території (територіальній ознаці);
- характеру процесу, що управляється;
- ступеню мобільності засобів автоматизації;
- числу рівнів (ієрархічній структурі) управління;
- ступеня автоматизації завдань; пропускної здатності; серійності.

Розглянемо класифікацію АСУ за перерахованими вище ознаками.

Класифікація АСУ за реактивністю.

Найбільш важливою характеристикою, що впливає на вибір технічних рішень при побудові АСУ, є ***реактивність системи***, або час, затрачений системою на доведення інформації про стан керованого процесу до пунктів управління, на обробку вхідної інформації, прийняття рішення на основі цієї інформації й доведення прийнятого рішення до виконавчих органів.

Всі існуючі в цей час АСУ за розглянутою ознакою можна розбити на три класи.

1) ***АСУ жорстко регламентованого режиму*** реального часу або АСУ з високою реактивністю на вхідний потік інформації. До цих АСУ відносяться такі, в яких час доведення інформації про стан процесу, що

управляється, до пунктів управління становить одиниці секунд, час на обробку вхідної інформації, включаючи очікування початку обробки, становить мілісекунди, а час на прийняття рішень - одиниці секунд, час доведення прийнятого рішення до керованих об'єктів становить одиниці або десяті частки секунд. У даних АСУ реальний час, вимірюється з високою точністю, є найважливішим параметром, від якого залежать вхідна інформація й прийняті рішення. Прикладом цього класу АСУ є автоматизовані системи управління повітряним рухом (АС УПР).

2) ***АСУ не жорстко регламентованого режиму*** реального часу або АСУ із середньою реактивністю на вхідний потік інформації. Для цього класу АСУ час доведення інформації про стан процесу, що управляється становить десятки секунд або хвилини, час на обробку вхідної інформації - одиниці або навіть десятки секунд, час на прийняття рішень - десятки секунд або хвилини (в окремих випадках десятки хвилин), час доведення рішень до виконавців становить десятки секунд або хвилини.

Як приклади АСУ другого класу можна привести АСУ енергосистемами, електромережами, теплоелектроцентралями, тепловими мережами, АСУ роботою нафтопроводів і ін.

3) ***АСУ практично нереального масштабу*** часу, тобто АСУ зі слабкою реактивністю або з відсутністю реактивності на вхідний потік інформації. Для таких АСУ час на обробку вхідної інформації становить хвилини або години, а сам процес збору інформації досить тривалий і може досягати декількох діб.

У подібного роду АСУ найчастіше відсутній замкнутий автоматизований контур управління, АСУ обробляє й аналізує вхідну інформацію, видає відповідні довідкові дані, а рішення, як правило, приймає людина. Доведення рішення до виконавців також може досягати декількох доби. Такі системи без замкнутого автоматизованого контуру управління не є АСУ в загальноприйнятому розумінні й перетворюються в інформаційно-довідкові або інформаційно-розрахункові системи. До систем розглянутого класу належать АСУ підприємств, галузі й підгалузі промисловості, різні інформаційно-довідкові системи, АСУ банківськими операціями, АСУ із продажу квитків на різні види транспорту й ін.

Найбільш складні вимоги до технічних засобів і математичного забезпечення висувають АСУ жорстко регламентованого режиму реального часу. Проектування таких АСУ пов'язане з вирішенням різного виду технічних і технологічних протиріч, пошуком оптимальних рішень в умовах досить великої кількості обмежень.

Класифікація АСУ за територіальною ознакою.

1. ***Локальні АСУ***. До цього класу відносяться АСУ, елементи яких зосереджені на обмеженої території :у межах одного будинку, інженерно -

будівельного спорудження, території підприємства або установи й т.п. Як правило, комплекси засобів автоматизації й інших технічних засобів цих АСУ зв'язані між собою кабельними з'єднаннями за різного роду інтерфейсам, або через канали зв'язку. Прикладом локальних АСУ є аеродромна АС УПР, елементи якої - командо-диспетчерський пункт, радіолокаційний комплекс, посадковий радіолокатор, радіопеленгатор - розташовані на території аеродрому, що обслуговується, тобто в обмеженій зоні.

2. ***Територіальні АСУ***. Це АСУ, технічні засоби яких розосереджені на великій території. Елементи територіальних АСУ можуть бути віднесені один від одного на значні відстані (до 200 - 400 км і більше) і з'єднані між собою каналами передачі даних. До територіальних АСУ належать, наприклад, районні енергетичні управління, до яких входять АСУ електромережами, АСУ тепловими мережами, АСУ ТЕЦ, АСУ електростанціями розосереджені на значній території й з'єднані із КЗА районного енергетичного управління.

Класифікація АСУ за характером процесу, що управляється.

За цією ознакою дометано виділити три великих класи АСУ, хоча за необхідністю можна визначити істотно більше класів.

1. ***АСУ технологічними процесами*** (АСУ ТП). При визначенні цього класу поняття технологічного процесу значно розширено в порівнянні із загальноприйнятим. Тут у поняття ***технологічного процесу*** включається досить широке коло процесів функціонування в різних областях народного господарства, різноманітних технічних засобів і людей, що виконують певну роботу з досягнення поставленої мети, виробництву тієї або іншої продукції, перевезенню вантажів і пасажирів, забезпеченню енергією, організації зв'язку й т.п. Таким чином, до технологічних процесів відносяться, зокрема, повітряний рух, рухи залізничного, водного й автомобільного транспорту, різні перевезення, електро-, тепло-, водопостачання і т.п. Загальною закономірністю для цього класу АСУ є те, що технологічний процес у більшості випадків має динамічний і порівняно швидко мінливий характер і найчастіше піддається впливу різних випадкових факторів. Управління технологічними процесами пов'язане з оперативним аналізом інформації про керований процес і оперативне прийняття рішень, що коректують окремі компоненти або і хід самого процесу. АСУ ТП завжди функціонують у режимі реального часу.

2. ***Організаційні АСУ***, тобто всі інші види АСУ, такі як АСУ підприємствами, галузями, АСУ банківськими й фінансовими операціями й т.п.

3. ***АСУ спеціальними технологічними процесами***. Ці системи управляють порівняно швидко наявними процесами спеціального

призначення.

Автоматизовані системи спеціального призначення служать для обробки і аналізу інформації, що одержується від відповідних джерел, як правило, автоматично чи напівавтоматично. До їхнього числа входять системи попередження, збору й обробки даних, гідрометеорологічні системи й ін.

Технічну основу автоматизованої системи управління становлять електронні обчислювальні машини, які виконують числові й логічні операції, а також інші засоби автоматизації. Для кожної АСУ створюються автоматизовані робочі місця операторів (АРМ) і автоматизовані інформаційні робочі місця (ІРМ) колективного й індивідуального використовування для посадових осіб органів управління.

Функціонування АСУ виражається в практичному здійсненні посадовими особами своїх обов'язків з управління об'єктами, на основі переробки інформації, з використанням усього комплексу технічних засобів, що входять у дану систему.

Класифікація АСУ за ступенем мобільності засобів автоматизації

За цією ознакою розрізняють чотири класи АСУ.

І. ***Стаціонарні АСУ***. У цьому випадку елементи АСУ розміщуються в стаціонарних спорудженнях. Це найпоширеніший варіант виконання АСУ. При такому варіанті КЗА розміщуються в спеціальних приміщеннях або інженерно-будівельних комплексах, що забезпечують виконання вимог з монтажу, перемонтажу й демонтажу, а також мають необхідну вентиляцію й кондиціонування, енерго-, тепло- і водопостачання й ін. Перевага цього варіанта АСУ в тому, що КЗА виготовляють із найменш жорсткими вимогами зі стійкості до механічних і кліматичних впливів, тобто на більше дешевих елементах і конструктивних базах, що в цілому приводить до їх меншої вартості. Однак істотним недоліком АСУ із КЗА, розташовуваними в стаціонарних спорудженнях, є необхідність більших обсягів капітального будівництва, що нерідко є серйозною перешкодою, при впровадженні цих АСУ. Крім того, такі системи практично на можуть бути перебазовані.

2. ***Мобільні АСУ.*** До цього класу належать такі АСУ, елементи яких розміщуються в рухомих об'єктах. Подібні АСУ при бажанні можуть бути перебазовані на інші об'єкти аналогічного функціонального призначення. При такому варіанті виконання АСУ апаратура може розміщатися в кузовах автомашин, спеціальних причепах, напівпричепах, контейнерах, фургонах, а також на водному, залізничному й повітряному транспорті. Природно до апаратури таких АСУ пред'являються більш жорсткі вимоги у відношенні механічних і кліматичних впливів, а також до займаного обсягу. Але, умови роботи оператора в рухомих об'єктах незмірно більше

складні, ніж у стаціонарних приміщеннях. Тому розміщення засобів АСУ в рухомих об'єктах розглядається як виняткове.

3. ***Комбіновані (змішані) АСУ***. До них належать АСУ, одна частина апаратури яких розміщується в стаціонарних спорудженнях, а інша - в рухомих об'єктах. Комбіновані АСУ дозволяють у ряді випадків мати переваги й позбутися від недоліків стаціонарних і мобільних АСУ.

4. ***Рухомі АСУ***. Це АСУ, які розміщуються на об'єктах, що рухаються, таких, як літаки, вертольоти, кораблі, пароплави, автомобілі й ін. Основна вимога до подібних АСУ - забезпечення можливості роботи на ходу. Технічні засоби рухомих АСУ, в порівнянні з іншими АСУ, мають найбільш жорсткі конструктивні вимоги й, отже, за інших рівних умов є найбільш дорогими.

Класифікація АСУ за кількістю рівнів.

За ознакою ієрархії управління дометано розглядати два класи АСУ.

І. ***Однорівневі (централізовані) АСУ***. У таких АСУ є КЗА центра управління, що за інформацією від відповідних джерел здійснює безпосереднє управління об'єктами, тобто управління об'єктами виробляється прямо без проміжних інстанцій..

2, ***Багаторівневі (ієрархічні) АСУ***. У структуру ієрархічних АСУ входять КЗА для пунктів управління різних рівнів. Число рівнів управління може досягати 4-5, а в деяких випадках й більше. На КЗА центрів управління вищих рівнів у більшості випадків за отриманою узагальненою інформацією про керований процес виробляються укрупнені рішення з керування КЗА, що розташовані нижче які, в свою чергу, управляють підлеглими їм КЗА. Остання інстанція - КЗА найнижчого рівня - здійснює безпосереднє управління об'єктами. Іноді КЗА високих або середніх рівнів безпосередньо управляють найбільш важливими об'єктами. Однак у цих випадках багаторівнева структура АСУ не порушується.

Класифікація, АСУ за ступенем автоматизації завдань.

За ступені автоматизації завдань прийнято розглядати два класи АСУ.

І. ***Автоматичні системи***. В автоматичних системах всі процеси збору, обробки, аналізу, зберігання й відображення інформації, виробітку або скасування рішень з управління, доведення прийнятих рішень до виконавців, контроль виконання рішень і інші операції здійснюються автоматично без участі людини. Роль людини в таких системах зводиться до спостереження за ходом процесу автоматичного управління з використанням засобів відображення, документування й контролю технічного стану апаратури, виявленню несправностей і прийняття, за необхідністю, заходів з відновлення працездатності АСУ. Однак і ці операцій можуть виконуватися автоматично без участі оператора.

2. ***Автоматизовані системи.*** У системах цього класу частина завдань (як правило, найбільш трудомістких) вирішується автоматично за допомогою ЕОМ, а частина - за участю людини. В автоматизованих системах на людину покладають функції й завдання, які більш ефективно вирішуються не чисто формальними методами, а евристичними, шляхом інтелектуального аналізу з оцінкою сукупності всіх, часом неформалізованих факторів і обставин, з використанням досвіду й інтуїції оператора - учасника й головної особи, процесу управління. При цьому людині надається можливість приймати рішення самій або коректувати рішення, які вироблені засобами автоматики. Автоматизовані системи, у свою чергу, можна поділити на АСУ з високим, середнім і малим ступенем автоматизації завдань.

Класифікація АСУ за пропускною здатністю

Під ***пропускною здатністю*** АСУ прийнято розуміти сумарний обсяг обчислювальних робіт в одиницю часу, спрямованих на досягнення кінцевої мети АСУ. Звичайно стосовно до конкретних АСУ або сукупності АСУ однакового функціонального призначення пропускну здатність намагаються вимірювати в категоріях, що відображають реальний фізичний зміст функціонування і призначення АСУ. Однак характеристика (одиниця виміру) пропускної здатності АСУ повинна, відбиваючи всі згадані категорії, у той же час не залежати від призначення й складу конкретної АСУ. Тому, такою характеристикою дометано обирати сумарну пропускну здатність обчислювальних засобів АСУ, необхідну для реалізації покладених на систему завдань.

Як додаткову характеристику пропускної здатності АСУ можна прийняти сумарну швидкість передачі даних між елементами АСУ, необхідну для забезпечення циркуляції в АСУ необхідного потоку інформації в одиницю часу.

Класифікація АСУ за серійністю

При класифікації АСУ за ознакою серійності необхідно враховувати наступні обставини.

Наявність об'єктів, що оснащуються АСУ одного й того же самого функціонального призначення.

Ступінь адекватності об'єктів, що оснащуються АСУ, одного й того же самого функціонального призначення. Але, такі об’єкти, що мають однакове функціональне призначення, можуть відрізнятися за складом, числу й характеристикам джерел інформації, за складом, характеристикам і взаємному розташуванню об'єктів управління. Все це визначає розходження в складі технічних засобів і математичного забезпечення АСУ.

За ознакою серійності дометано виділити три класи АСУ.

1. ***Унікальні АСУ***. Це такі АСУ, які в силу тих або інших причин виробляються тільки в єдиному екземплярі.

2. ***Малосерійні АСУ***, До них відносяться такі АСУ, виробництво яких з тих або інших причин реалізується в обмеженій кількості.

Якщо вважати, що період існування таких АСУ, до їхнього морального старіння дорівнює 20 рокам, то максимальний обсяг серії не перевищує 5-7 екземплярів АСУ.

3. ***Багатосерійні АСУ***. Це АСУ, виробництво яких за час їхнього існування носить досить масовий характер, тобто реалізується в десятках, сотнях екземплярів.

Зауваження. Приналежність АСУ до того або іншого класу значною мірою визначає характер загальносистемних рішень, вибір і застосування обчислювальних засобів, комплексів технічних засобів зв'язку й передачі даних, відображення й документування інформації, особливості побудови математичного забезпечення й технології його розробки, зміст основних технічних рішень і загальну стратегію розробки, специфіку організації АСУ й забезпечення її працездатності із заданими характеристиками. Важливе значення має класифікація за часом реакції на вхідний потік інформації, тобто приналежність АСУ до того або іншого класу систем, що працюють у реальному часі.

2.3. Ознаки, функції й завдання АСУ

Для АСУ будь-якого призначення, масштабу й рівня характерний ряд ознак, які є загальними. До таких ***істотних ознак АСУ*** належать:

- наявність процесу управління й відповідної йому інформації;
- наявність певної структури системи, що реалізує процес управління;
- наявність у системі різноманітних зв'язків, різних за рівнем, масштабам і призначенню, що забезпечують взаємодію між елементами;
- цільове призначення системи (досягнення в процесі свого функціонування однієї або декількох цілей);
- складність системи управління обумовлена наявністю й складністю процесу управління в ній, числом елементів підсистем, безліччю зв'язків як між елементами, так і між підсистемою управління й об'єктом управління тощо.

АСУ відносяться до класу організаційно-технічних систем, що складаються з персоналу й КЗА його діяльності, з формування управлінських рішень на основі автоматизації процесів переробки інформації, у ході виконання встановлених функцій.

АСУ реалізують інформаційні технології у вигляді певної послідовності інформаційно-зв'язаних функцій, завдань або процедур, що виконуються в автоматизованому (інтерактивному) або автоматичному режимі. Причому всі функції системи реалізуються управляючим органом у певній часовій і логічній послідовності.

Під ***функцією АСУ*** розуміють сукупність дій АСУ, спрямованих на досягнення певної мети. Конкретний склад функцій АСУ визначають із призначення системи. Однак для будь-якої АСУ можна виділити загальні функції, класифікація яких представлена на рис.2.4.

Проста функція АСУ - це функція, яку не можна розкласти на інші функції системи. ***Складена функція АСУ*** представляє сукупність двох або більше простих функцій. Прості функції поєднуються за спільністю мети, ролі в процесі управління, використання інформації й інших ознак. Сукупність всіх функцій АСУ можна розглядати як одну складену функцію.

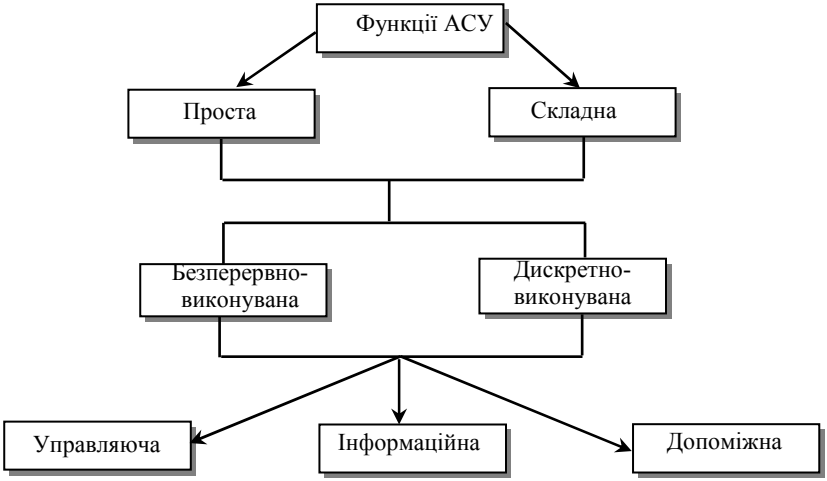


Рис.2.4. Класифікація функцій АСУ

Безперервно виконувана функція АСУ в будь-який момент часу забезпечує результат її виконання. Дискретно виконувана функція АСУ реалізується за запитом або часовим алгоритмом.

Інформаційна функція АСУ F^I включає: одержання інформації $F^I_{од}$ обробку $F^I_{об}$; відображення $F^I_{від}$ передачу інформації $F^I_{пд}$ про стан об'єкта управління й зовнішнього середовища:

$$F^{I} = \left\{ F^{I}_{од}, F^{I}_{об}, F^{I}_{від}, F^{I}_{пд} \right\}. \quad (2.1)$$

Управляюча функція АСУ F^{y} включає: приведення в готовність АСУ $F^{y}_{г}$; одержання $F^{y}_{оі}$ інформації про стан об'єкта управління й (або) зовнішнього середовища; оцінку $F^{y}_{оц}$ інформації; вибір керуючих впливів $F^{y}_{в}$ і їхню реалізацію $F^{y}_{р}$:

$$F^{y} = \left\{ F^{y}_{р}, F^{y}_{оі}, F^{y}_{оц}, F^{y}_{в}, F^{y}_{г} \right\}. \quad (2.2)$$

Допоміжна фікція $F^{д}$ АСУ включає: збір $F^{д}_{зб}$ обробку даних $F^{д}_{об}$ про стан АСУ і або подання $F^{д}_{ні}$ цієї інформації персоналу системи або здійснення $F^{д}_{ув}$ управляючих впливів на відповідні технічні й програмні засоби АСУ. Крім того, допоміжна функція АСУ включає наступні часткові функції: документування $F^{д}_{д}$ інформації, що циркулює в системі управління, синхронізації різних сигналів $F^{д}_{сн}$, тренування персоналу АСУ, обліку й планування різних ресурсів $F^{д}_{рс}$ і інші $F^{в}_{інш}$, тому складна допоміжна функція автоматизованої системи може бути представлена наступною підмножиною приватних функцій:

$$F^{д} = \left\{ F^{д}_{зб}, F^{д}_{пі}, F^{д}_{ув}, F^{д}_{д}, F^{д}_{сн}, F^{д}_{рс}, F^{д}_{інш}, F^{д}_{об} \right\}. \quad (2.3)$$

Безлічі $F^{i}, F^{y}, F^{д}$ мають близькі за змістом елементи. Тому вони можуть бути об'єднані в окремі підмножини, планування $F_{п}$, обліку $F_{обл}$, контролю $F_{к}$, аналізу $F_{а}$ і безпосереднього оперативного управління $F_{оу}$ в узагальненому функціональному графі АСУ тобто в F- структурі, яка є основою й вихідними даними для розробки ***O, I, A, P, T*** і ***Д*** структур АСУ.

З розглянутих функцій випливають відповідні завдання. Під ***завданням АСУ*** розуміється функція або частина функції АСУ, що представляє собою формалізовану сукупність автоматичних дій виконання яких призводить до отримання заданого результату.

Завдання, що розв'язуються в АСУ, класифікуються за цільовим призначенням і за характером обробки інформації в ЕОМ. ***За цільовим призначенням*** завдання підрозділяються на оперативні, обліково-планові й статистичні, а ***за характером обробки інформації*** в ЕОМ - на розрахункові і інформаційні.

Оперативні завдання передбачають визначення кількісних і якісних характеристик, необхідних для прийняття рішень при плануванні й безпосередньому керуванні об'єктами управління.

Обліково-планові завдання вирішуються в інтересах ефективної експлуатації АСУ й передбачають облік персоналу АСУ, технічних і програмних засобів і іншого майна, а також планування поставок пристроїв, комплексів, систем і іншої техніки для відновлення працездатності й технічного обслуговування АСУ.

Статистичні завдання пов'язані з обробкою статистичних даних за оцінкою результатів застосування або випробувань об'єктів АСУ, За оцінкою характеристик надійності технічних, програмних засобів і дій персоналу АСУ, а також інших експериментальних даних.

Розрахункові завдання мають на меті визначення числових значень показників, необхідних для управління об'єктами, і на цій основі прийняття обґрунтованих рішень при плануванні й застосуванні АСУ.

До ***інформаційних завдань*** відносяться завдання, пов'язані зі збором, обробкою, відображенням, документуванням і видачею даних про зовнішнє середовище, систему управління, умови застосування АСУ й т.п.

Розрахункові й інформаційні завдання становлять основу спеціального математичного й програмного забезпечення АСУ. Ці завдання поєднуються в комплекси оперативних і обліково-планових завдань, і призначені для використання органами управління відповідного рівня ієрархії.

Основними цілями застосування комплексів завдань є:

- створень органам управління умов для збору й обробки інформації необхідної при проведенні оперативного управління в реальному часі;
- підвищення розрахункової обґрунтованості прийнятих рішень при організації процесів управління об'єктами й можливості прогнозувати результати застосування АСУ;
- підвищення ефективності творчої діяльності персоналу АСУ за рахунок звільнення його від виконання операцій нетворчого характеру, трудомістких за змістом.

Залежно від етапу роботи органа управління всю сукупність завдань, розв'язуваних в АСУ реального часу, можна об'єднати у дві групи:

- завдання, що розв'язуються на етапі підготовки до застосування АСУ;
- завдання, що розв'язуються в процесі застосування АСУ.

В АСУ різного призначення на етапі підготовки до застосування вирішуються наступні основні завдання:

- збір, обробка, відображення даних про зовнішнє середовище, географічні й кліматичні умови застосування об'єктів АСУ й інших факторів;
- розрахунок необхідних обчислювальних, людських, матеріальних і інших ресурсів, необхідних для ефективного застосування, планування застосування АСУ за призначенням з урахуванням умов застосування й способу реалізації функцій;

- організація взаємодії із сусідніми, системами, що розташовані вище, й органами нижчого підпорядкування управління й побудова раціональної структури АСУ;
- планування технічного, інформаційного, програмного й іншого видів забезпечення АСУ.

На основі перерахованих завдань обґрунтовується концепція побудови АСУ.

Аналіз завдань, розв'язуваних АСУ реального часу різного призначення, показує, що комплекси засобів автоматизації одного або сусідніх рівнів найчастіше вирішують завдання аналогічного функціонального призначення й мають порівняно невеликий обсяг специфічних завдань. Тому, природно, виникає завдання розгляду можливості застосування уніфікованих апаратурних, технічних і математичних рішень. Застосування уніфікованих рішень дозволить певним чином скоротити трудомісткість робіт промислових підприємств за виготовленням серійних зразків КЗА, а впровадження уніфікованих засобів на об'єктах істотно скоротить експлуатаційні витрати. Існують наступні рівні уніфікації:

- уніфікація комплексів технічних засобів;
- уніфікація математичного забезпечення КЗА;
- уніфікація комплексів засобів автоматизації АСУ;
- уніфікація АСУ.

2.4. Основні властивості АСУ

Властивість є об'єктивною особливістю АСУ, яка може виявлятися при її створенні, експлуатації або застосуванні за призначенням. За визначенням ***властивість*** об'єкту (системи) є сторона об'єкту, яка обумовлює його відмінність або спільність з іншими об'єктами і виявляється в процесі взаємодії з ними.

Одним з основних понять, використовуваних як кваліметрією, так і теорією ефективності, є поняття якості. Властивість є деяка частина цілого, яким є ***якість***, а останнє – це загальна характеристика об'єкту, яка виявляється в сукупності його властивостей.

Якість є цілісною характеристикою функціональної єдності істотних властивостей системи, її внутрішній і зовнішній визначеності, відносній стійкості, її відмінності від інших систем або схожості з ними.

У загальному випадку якість АСУ – це властивість або сукупність властивостей системи, що обумовлюють її придатність для використання за призначенням. Залежно від призначення АСУ сукупність її властивостей, що враховуються при оцінюванні рівня якості, може бути різна.

Розрізняють якість будови системи, якість результату її функціонування і якість поведінки АСУ.

Якість будови (структури) АСУ означає, що її властивості залежать тільки від властивостей елементів, складових систему, і їх організації в єдине ціле, тобто від особливостей структури АСУ і програми її функціонування.

Якість поведінки системи – категорія вищого рівня, оскільки обумовлюється не тільки якістю системи, але і умовами, в яких вона функціонує.

Під якістю результату функціонування АСУ розуміється властивість або сукупність властивостей результату, що обумовлюють його придатність для використання за призначенням. Якість результату визначається тим, наскільки добре організована і проведена операція, в якій функціонувала АСУ, тобто якістю операції.

Таким чином, якість результату функціонування системи визначається якістю процесу її функціонування, а останнє, у свою чергу, - якістю системи, що здійснює даний процес.

Властивостей, що характеризують якість АСУ, є не просто деякою сукупністю, а сукупність, впорядковану у вигляді багаторівневої ієрархічної структури, на найвищому рівні якої знаходиться якість, а на найнижчому рівні прості властивості. Ця структура може бути зображена у вигляді дерева, цілей, функцій і властивостей.

Властивості можуть бути складними, тобто такими, що розділяються на менш складні властивості, і простими – що не розділяються в конкретних умовах (при даному рівні знань або рівні розгляду) на інші властивості.

Найбільш загальними вважаються цільові та функціональні властивості АСУ. цільові і функціональні властивості – це конкретні властивості, які показують, що повинна (може) робити система при застосуванні її за призначенням.

цільові властивості характеризують основне призначення АСУ (глобальну мету), цільовий діапазон використання (приватні цілі) і визначають можливості системи задовольняти конкретні потреби. Наприклад, до цільової властивості АСУ повітряним рухом відноситься керованість повітряними об'єктами у всьому діапазоні висот в зоні (районі) відповідальності, яка характеризує глобальну мету АСУПР. До приватних цільових властивостей АСУПР відносяться : керованість повітряними об'єктами на нижньому, середньому і великому ешелонах висот відповідно, що характеризують приватні цілі системи.

Функціональні властивості підпорядковані цільовим властивостям і виявляються при виконанні АСУ або функціональною підсистемою АСУ своїх прямих інформаційних, управлінських або допоміжних функцій як

складених, так і простих. Під ***функціональною підсистемою АСУ*** (ФП АСУ) розуміється сукупність інформаційних, технічних, програмних засобів і частини персоналу АСУ, що виділяється зі всього складу АСУ за ознакою участі у виконанні деякої (***j*** – ї) функції системи. Слід зазначити, якщо для АСУ сформульована складена функція найбільш загального вигляду (глобальна мета), то відповідна їй функціональна підсистема співпадає з системою в цілому. Тоді функціональна властивість підсистеми інтерпретується як цільова властивість АСУ в цілому.

Таким чином, цільові і функціональні властивості взаємозв'язані і взаємообернені. При відповідному рівні узагальнення (розгляді) системи вони можуть ототожнюватися.

На нижчому рівні ієрархії властивостей знаходяться ***нефункціональні властивості***, які показують, з яким рівнем якості АСУ може виконувати кожну свою функцію або сукупність функцій.

Перелік нефункціональних властивостей великий і різноманітний. Проте для всіх типів АСУ можна виділити наступні групи властивостей:

- технічні;
- ергономічні;
- економічні;
- спеціальні (тактичні для АСУ військового призначення).

До кожної групи входять прості властивості.

До найбільш важливих нефункціональних властивостей АСУ відносяться: оперативність (час реакції), продуктивність, стійкість (живучість, перешкодостійкість, надійність), економічність функціонування і ін.

Перераховані функціонально – цільові і нефункціональні властивості складають якість АСУ, яке тісно пов'язане з ефективністю застосування системи.

Для будь-яких систем характерна наявність інтегрованих властивостей, притаманних системі в цілому, але не властиві жодному з елементів окремо. До найважливіших інтегрованих властивостей належать такі властивості, як ефективність і економічність. Слід відмітити, що складні властивості є підкласом інтеграційних властивостей, які взаємозв'язані і взаємозамінні при відповідному рівні розгляду.

Таким чином, складні властивості є похідними простих властивостей. Так, економічність визначається результативністю і споживанням ресурсів системи, а ефективність – результативністю, споживанням ресурсів і оперативністю.

Властивості, що характеризують АСУ, являють собою цілісну характеристику функціональної єдності істотних властивостей системи, які можуть бути впорядковані у вигляді багаторівневої ієрархічної структури. На найвищому рівні цієї структури перебуває якість, а на

найнижчому рівні - прості властивості.

У процесі вибору варіанта побудови АСУ й розробки системи її експлуатації найбільше часто досліджують властивості, які перебувають на більше низьких рівнях ієрархії. Ці властивості об'єднуються, за загальними ознаками у такі умовні групи: тактичні, технічні, ергономічні й економічні (табл. 2.1).

Таблиця 2.1.

Основні властивості АСУ

Властивість		Визначення
Т А К Т И Ч Н І	Ефективність	Властивість АСУ, що характеризується ступенем досягнення цілей управління, поставлених при її створенні
	Готовність	Властивість АСУ, що характеризується ступенем здатності системи вирішувати завдання управління об'єктами в довільний момент часу
	Якість управління	Комплексна властивість АСУ, що обумовлена сукупністю характеристик (часових, інформаційних, імовірнісних, економічних, енергетичних і ін.) необхідних для оцінювання оптимальності управління автоматизованою системою
	Стійкість	Комплексна властивість АСУ, що характеризується живучістю, завадостійкістю й надійністю функціонування АСУ.
	Живучість	Властивість АСУ, що характеризується здатністю виконувати встановлений обсяг функцій в умовах впливів зовнішнього середовища й відмов компонентів систем у заданих межах
	Завадостійкість	Властивість АСУ, що характеризується здатністю виконувати свої функції в умовах впливу перешкод, зокрема від електромагнітних полів.
	Мобільність	Властивість АСУ, що характеризується здатністю до виконання цільових функцій в умовах багаторазових переміщень, оперативністю згортання й розгортання КЗА.

ТЕХНІЧНІ	Надійність	Комплексна властивість АСУ зберегти в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність АСУ виконувати свої функції в заданих режимах і умовах експлуатації *Примітка: Надійність АСУ включає властивості безвідмовності й ремонтопридатності АСУ, а в деяких випадках і довговічність технічних засобів АСУ*
	Продуктивність	Властивість АСУ, що характеризується здатністю системи виконувати певний обсяг роботи в одиницю часу з певною дискретністю та точністю.
	Сумісність	Комплексна властивість двох або більше АСУ, що характеризується їхньою здатністю взаємодіяти при функціонуванні. *Примітка. Сумісність АСУ включає технічну, програмну, інформаційну, організаційну, лінгвістичну й метрологічну сумісність*
	Адаптивність	Здатність АСУ змінюватися для збереження своїх експлуатаційних показників у заданих межах при змінах зовнішнього середовища
ЕРГОНОМІЧНІ	Ергономічність	Комплексна властивість АСУ, що характеризується пристосованістю технічних засобів АСУ до взаємодії з людиною *Примітки: І. Ергономічність АСУ включає керованість, обслуговуваність, засвоюваність і населеність. 2. Ергономічні властивості АСУ залежать від психологічних, фізіологічних, антропометричних гігієнічних і інших властивостей людини*
	Керованість	Властивість АСУ, що характеризується пристосованість технічних засобів системи до придбання операторами АСУ навичок у їхньому управлінні
	Обслуговуваність	Властивість АСУ, що характеризується пристосованістю технічних і програмних засобів системи до обслуговування
	Засвоюваність	Властивість АСУ, що характеризується пристосованістю системи до можливо швидкого її

		освоєння оперативним і обслуговуючим персоналом АСУ
	Населеність	Властивість АСУ, що характеризується умовами життя, діяльності, що забезпечують збереження здоров'я, працездатності персоналу АСУ й заданої ефективності її застосування за призначенням
ЕКОНОМІЧНІ	Економічність	Комплексна властивість АСУ, що характеризується економічними витратами на виготовлення й експлуатацію системи. *Примітка: Економічність АСУ включає технологічність, споживання ресурсів, трудомісткість матеріалоємність і ін. більш прості властивості.*
	Технологічність	Властивість АСУ, що характеризує відповідність конструкції технічних засобів системи вимогам економічної технології її виготовлення з урахуванням витрат праці, матеріалів і часу.
	Споживання ресурсів	Властивість АСУ, що характеризується матеріальними, людськими, фінансовими, часовими, енергетичними й іншими витратами, необхідними для досягнення необхідних цілей при експлуатації АСУ.

За допомогою технічних, ергономічних і економічних властивостей оцінюються всі види автоматизованих систем.

Кожна властивість АСУ і її складових частин може бути оцінена кількісно за допомогою відповідного показника властивості, а сукупність властивостей за допомогою показника якості.

Так наприклад, в загальному вигляді живучість АСУ визначається коефіцієнтом живучості

$$K_{ж} = 1 - P_{в}(1 - P_{від}) \qquad (2.4)$$

де $P_{в}$ - вірогідність відмови АСУ унаслідок її руйнування в результаті зовнішньої дії, ненадійності її елементів, грубих помилок персоналу АСУ при застосуванні або з інших причин;

$P_{від}$ - вірогідність відновлення працездатного стану АСУ.

В цілому живучість АСУ визначатиметься живучістю найуразливіших її елементів з погляду здатності їх протистояти дії зовнішнього середовища, а також ступенем резервування найбільш

складних, відповідальних і менш надійних елементів в процесі її функціонування.

Виділяють живучість засобів автоматизації управління (органу, що управляє) $K_{ж}^{ОУ}$ живучість об'єкту управління $K_{ж}^{УО}$, яка повинна бути не нижче потрібної, тобто

$$K_{ж}^{АСУ} \geq (K_{ж}^{УО} \geq K_{ж}^{АУ}) \geq K_{ж}^{п} \qquad (2.5)$$

Вимоги за надійністю в узагальненому вигляді залежно від призначення і моделей експлуатації АСУ задаються наступною системою вимог:

$$K_{зе} \geq K_{зе}^{п}, \quad K_{ог} \geq K_{ог}^{п}, \quad K_{г} \geq K_{г}^{п} \qquad (2.6)$$

де $K_{зе}^{Н}, K_{ог}^{Н}, K_{г}^{Н}$ - необхідні коефіцієнти збереження ефективності, оперативної готовності та готовності АСУ.

Показник $K_{зе}$ задається для АСУ з багатьма рівнями ефективності. До таких відносяться в першу чергу інтегровані, багатоцільові АСУ і ін.

Показник $K_{ог}$ задається для безперервно, а $K_{г}$ для дискретно функціонуючих АСУ в процесі експлуатації.

Мобільність АСУ оцінюється можливістю транспортувань залізничним, повітряним, морським (річковим) транспортом, а також можливістю здійснювати пересування автомобільним транспортом. Кількісно мобільність АСУ оцінюється часом згортання $\tau_{згl}^{АСУ}$, розгортанням $\tau_{рзгl}^{АСУ}$ ***l****-го* елементу (системи в цілому з урахуванням пункту управління), допустимою швидкістю переміщення своїм ходом або перевезення ***p****-м* видом транспорту $\tau_{pl}^{АСУ}$. Мобільність АСУ повинна бути узгоджена з відповідними показниками мобільності об'єктів управління, тобто

$$\tau_{рзг}^{АСУ} \geq \tau_{рзг}^{ОУ}, \ \tau_{зг}^{АСУ} \geq \tau_{зг}^{ОУ}, \ \tau_{p}^{АСУ} \geq \tau_{p}^{ОУ}. \qquad (2.7)$$

Якість управління об'єктами в АСУ в першу чергу залежить від оперативності, інформативності, продуктивності (пропускної спроможності) рішення задач управління і інших показників.

Оперативність АСУ характеризує її швидкодію, тобто можливості системи реагувати на зміну ситуації. Кількісно оперативність АСУ може бути оцінена часовими витратами органу управління при рішенні завдань в процесі управління (час реакції $\tau_{р}$). Чим менше $\tau_{р}$, тим вище швидкодія системи, тим вище її оперативність. Даний параметр враховує часові витрати в АСУ від моменту виникнення ситуації, що вимагає її втручання, до моменту надходження команд на об'єкти, що управляються.

Час реакції АСУ залежить від ступеня автоматизації процесів збору, обробки, аналізу інформації, прийняття рішення на управління, а також від

рівня підготовки персоналу АСУ. Час, який витрачається на вироблення дій, що управляють, і виконання команд (цикл управління), можна представити у вигляді суми наступних компонентів:

$$T_{упр} = T_д^{УО} + T_д^{ВО} \qquad (2.8)$$

де $T_д^{УО}$ - час дії органу, що управляє (оперативність рішення задач управління в АСУ);

$T_д^{ВО}$ - час дії виконавських органів з моменту отримання дії, що управляє, на об'єкт управління.

У загальному випадку час $T_д^{УО}$ залежить від тривалості повного циклу обробки і реалізації інформації в АСУ, оцінюється наступним співвідношенням J:

$$T_д^{УО} = \tau_{зов} + \tau_{ріш} + \tau_{пз} + \tau_к \qquad (2.9)$$

де $\tau_{зов}$ - час на збір, обробку і відображення інформації про обстановку;

$\tau_{ріш}$ - час, що витрачається на інформаційну підготовку, оптимізацію і прийняття рішення;

$\tau_{пз}$ - час на постановку завдань підлеглим об'єктам управління;

$\tau_к$ - час, що витрачається на контроль правильності виконання об'єктами управління поставлених завдань.

Якість рішення задач управління в АСУ характеризує її можливості з необхідною повнотою, достовірністю і точністю вирішувати поставлені задачі. Кількісно цей показник може виражатися значеннями помилок рішення певної задачі і вірогідністю правильного її рішення. Найбільш зручними для практичного використання є наступні показники:

$\delta_{зов}$ - точність збору, обробки і відображення інформація;

$P_{ріш}, P_{цу}$ - вірогідність вироблення правильного рішення і доведення цілі об'єктам управління відповідно. Тоді вимоги до якості рішення задач управління можуть бути сформульовані в наступному вигляді:

$$\delta_{зов} \le \delta_{доп}; \quad P_{ріш} \to 1{,}0; \quad P_{цу} \to 1{,}0. \qquad (2.10)$$

При оцінюванні якості рішенні задач управління в АСУ використовують і інші показники.

Вимоги до ергономічності $H^{АСУ}$ після завершення циклів підготовки операторів управління і обслуговування задаються в наступному вигляді;

$$H^{АСУ} = \frac{K_{гр} W_{р}}{K_{гп} W_{п}} \geq H_{тр}^{АСУ}, \qquad (2.11)$$

де $H_{тр}^{АСУ}$ - потрібна ергономічність АСУ:

$K_{гр}, K_{гп}$ - коефіцієнти готовності АСУ (КЗА) реальний і потенційний, відповідно;

$W_{р}, W_{п}$ - рівні ефективності АСУ (КЗА) реальний і потенційний відповідно.

Залежно від складності АСУ і КЗА, а також моделі їх експлуатації замість параметра $K_{гр}$ може використовуватися коефіцієнт оперативної готовності $K_{ог}$.

Економічні вимоги до АСУ задаються з урахуванням їх призначення і індивідуальних особливостей.

2.5. Характеристика технології розробки АСУ

Всі автоматизовані системи розробляються за єдиною інформаційній технології. Використання єдиної інформаційної технології дозволяє формалізувати окремі етапи й (або) стадії розробки автоматизованих систем і створити на цій основі стандартні й уніфіковані програмно-технічні (ПТК) і програмно-методичні комплекси (ПМК) і компоненти програмного, технічного й інформаційного забезпечення. Така індустріалізація процесів розробки АСУ дозволяє істотно скоротити строки впровадження системи в роботу, знизити витрати на створення й її експлуатацію.

В основі концепції створення АСУ лежить наступна методологічна схема:

процес → система, що реалізує процес → функціонування системи → вихідні ефекти.

Тому, щоб обґрунтувати необхідні вихідні ефекти, які передбачається одержувати при функціонуванні АСУ, необхідно в першу чергу провести аналіз параметрів процесу управління (часових, ресурсних і інших), визначити концепцію побудови АСУ з обліком її глобальної мети, функцій, обґрунтувати технічні, економічні, ергономічні і спеціальні вимоги до неї з урахуванням умов функціонування. Зазначене положення вважається основним при розробці АСУ.

Крім того, варто виділити наступні основні положення з розробки й функціонування АСУ, які є складеними елементами індустріальної технології створення будь-якої автоматизованої системи.

Основним документом, що визначає порядок створення й вимоги до АСУ є технічне завдання (ТЗ). Розробку АСУ здійснюють спеціалізовані науково-дослідні, проектні й конструкторські організації відповідно до ТЗ, що видається замовником.

При розробці АСУ особлива увага звертається на:

- впровадження кібернетичного, ергатичного, системного й програмно-цільового підходів у плануванні, автоматизації роботи системи управління, у процесах одержання, обробки й реалізації інформації на об'єкті автоматизації;
- інтеграцію інформаційних та економічних процесів, а також технічних, програмних і організаційно-методичних засобів;
- поглиблення взаємодії людини й обчислювальної техніки на основі діалогових методів і засобів, автоматизованих робочих місць інтелектуальних експертних систем;
- індустріалізацію процесів створення АСУ, розвиток і тиражування уніфікованих типових елементів АСУ;
- побудова інформаційного фонду у вигляді розподіленої за об'єктами і рівням ієрархії автоматизованої бази даних і знань;
- реалізацію нової інформаційної технології в управлінні й розробці АСУ на базі мереж ЕОМ з різноманітними обчислювальними засобами;
- удосконалювання структури АСУ за рахунок інтеграції й оптимізації інформаційних потоків у ***Т, І, Р*** структурах, а також за рахунок досягнення єдності організації процесів планування, обліку, аналізу, контролю й регулювання при управлінні об'єктами.

Автоматизовані системи, що функціонують із метою досягнення однакових за характером ефектів, повинні мати здатність до інтеграції й необхідну сумісність, що дозволяє здійснювати обмін інформацією між ними.

Технологія розробки АСУ є складовою частиною технології створення АСУ й представляє сукупність взаємозалежних і впорядкованих у часі організаційних, науково-дослідних, проектних, іспитових (виробничих) і інших процесів, а також методів і методик їхньої оптимізації, реалізованих у ході розробки АСУ.

Продуктом технології створення АСУ є ***Д*** - структура, тобто комплект взаємозалежних документів, на основі яких може бути реалізована система, яка розробляється.

Стадії життєвого циклу АСУ показано на рис. 2.5. При цьому ***основними етапами робіт при розробці АСУ*** є:

1) ***на стадії дослідження й обґрунтування*** розробки АСУ:

- проблемний аналіз зовнішнього середовища, оцінювання можливості реалізації й ефективності АСУ, що розробляється;

- формування основних вимог до АСУ на основі аналізу моделі експлуатації, ефектів, очікуваних від систем, і умов її створення й функціонування;
- розробка концепції створення АСУ на основі результатів наукових досліджень за обґрунтуванням альтернативних варіантів побудови АСУ з урахуванням необхідних ресурсів на їхню реалізацію;
- розробка технічного завдання на створення АСУ;

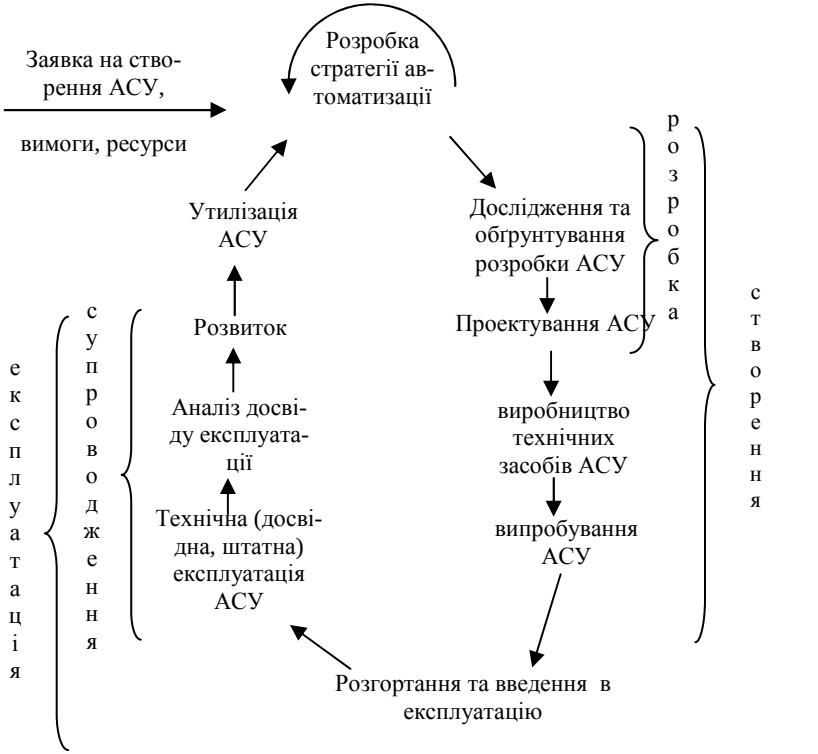


Рис. 2.5. - Стадії життєвого циклу АСУ

2) на ***стадіях розробки ескізних, технічного проектів і робочої документації***:

- розробка проектних рішень з системи і її частинах, основним змістом яких є обґрунтування ***O, F, I, A, P*** і ***T***- структур АСУ на основі призначення, функцій і вимог до системи з урахуванням ступеня

автоматизації процесу управління, потоків інформації, що циркулюють у системі;

- розробка робочої документації (***Д*** - структури) на систему і її частини, що містить всі необхідні й достатні відомості для забезпечення виконання робіт з виготовлення технічних засобів, за введенням АСУ в експлуатації, а також з підтримки рівня експлуатаційних властивостей на необхідному рівні з урахуванням документації на програмні засоби системи.

У процесі розробки АСУ вирішуються наступні центральні завдання:

1) створення засобів розробки АСУ;
2) розробка самих АСУ.

2.6. Структуризація проблеми побудови АСУ

На початкових етапах обґрунтування концепції побудови АСУ виникає необхідність виявлення й постановки проблеми побудови АСУ, тобто проведення проблемного аналізу автоматизованої системи, що реалізується на основі мети системи.

В загалі, під ***проблемою*** розуміється невідповідність (розходження) між існуючим і необхідним станом справ у якій-небудь області, тобто є необхідність вирішення складної ситуації, а метод вирішення невідомий. Геометричне тлумачення умов існування проблеми показане на рис. 2.6.

Ситуація являє собою одну з можливих комбінацій з ***m*** станів системи й ***n*** станів середовища в деякий момент часу. З малюнка видно, що проблема може мати рішення тоді, коли ***Δs*** має кінцеве значення.

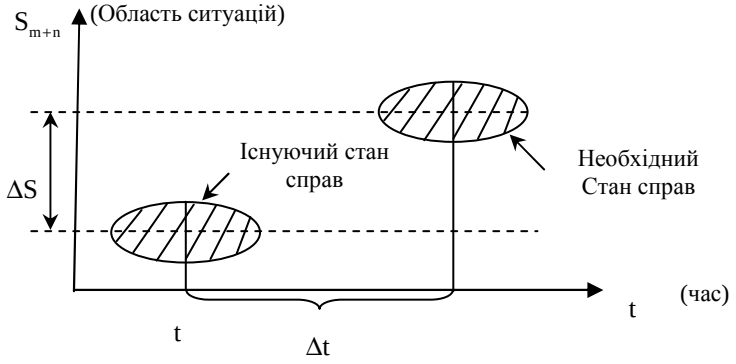


Рис. 2.6. - Геометричне тлумачення умов існування проблеми

Рішення проблеми являє собою процес ліквідації невідповідності між необхідним і існуючим станом справ у заданій предметній області. Для слабко структурованих проблем, які описуються в основному на якісному рівні, використовують системний аналіз. Сильно структуровані проблеми, які можуть бути в основному описані формальними засобами поряд із системним аналізом, використають формальні теорій систем, теорії дослідження операцій і т.п.

Проблеми можуть класифікуватися за наступними ознаками:

1) ***за ступенем формалізації***:

- слабо структуровані, коли є особиста область її формалізації;
- неструктуровані, які описуються на якісному рівні й розв'язуються на досвіді й інтуїції;
- структуровані, які вирішуються з використанням засобів теорії дослідження операцій;

2) ***за характером виявлення проблеми*** розрізняють:

- ті,що повторюються ;
- аналогічні;
- нові;
- унікальні.

3) ***за ступенем зв'язаності*** виділяють:

- комплексні;
- автономні.

Будь-яка складна проблема створення АСУ вирішується в наступній послідовності:

1. формування цілей дослідження;
2. концептуальний аналіз існуючої АСУ;
3. опис проблеми;
4. аналіз проблеми;
5. визначення шляхів рішення проблеми;
6. визначення етапів рішення проблеми.

Основним змістом етапу формування цілей дослідження є обґрунтування вимог до системи.

Концептуальний аналіз існуючої системи включає визначення: передумов створення системи; призначення й функцій, які повинна реалізовувати система при функціонуванні; ролі й місця, які вона займає у системі; що розташовані вище структури системи, зворотні зв'язки в системі, обмеження, алгоритми функціонування й стадії життєвого циклу системи.

Опис проблеми складається з виявлення проблеми й опису суті проблеми.

Аналіз проблеми полягає в структуризації, класифікації й оцінюванні наслідків розвитку проблеми.

Основним змістом структуризації є декомпозиція проблеми на прості складові й установлення зв'язку між ними. Декомпозиція будь-якої проблеми створення АСУ, вважається найвідповідальнішим етапом при виборі проектного рішення. У процесі декомпозиції розробляються відповідні дерева проблем, цілей, функцій, властивостей АСУ, які виявляються ключовим моментом у всьому аналізі автоматизованої системи.

Зауваження. Визначення шляхів рішення проблеми припускає: аналіз наявних (світових) можливостей за рішенням подібних проблем; формування варіанта нової системи; оцінювання ступеня втілення кожного варіанту системи; порівняння й вибір варіанту, відповідно до обраного критерію.

Виходячи із призначення АСУ, вирішується деяка сукупність завдань у наступній послідовності:

1) декомпозиція глобальної мети створення (розвитку) АСУ;

2) аналіз призначення АСУ й здійснюваних нею функцій;

3) виділення й аналіз істотних властивостей АСУ;

4) визначення показників існуючих властивостей функціонуючої системи з урахуванням зовнішнього середовища;

5) виявлення й аналіз проблемних питань у системі з використанням концептуальної або конкретної моделі.

Декомпозиція є основною процедурою дослідження систем і являє собою процес виділення частин з єдиного цілого, в яке здійснюється зіставлення об'єкта аналізу з деякою моделлю. Такими моделями можуть бути модель "чорного ящика", моделі складу, структури й функціонування розглянутої системи.

Закінчується проблемний аналіз формулюванням висновків про актуальність $A_i(t)$ важливості $B_i(t)$ й складності $C_i(t)$ проблеми.

Характеристикою актуальності i-ї проблеми служить деяка функція

$$A_i(t) = f_1(\Delta t; R(t)), \qquad (2.12)$$

де Δt - період часу, що приділяється для вирішення проблеми;

$R(t)$ - нормований ресурс, що виділяється на рішення проблеми.

Характеристики важливості i-ї проблеми визначається рівнем структуризації системи, що стоїть вище $U_j(t)$, кількістю вихідних зовнішніх зв'язків $K_j(t)$ і рівнем структуризації проблеми розглянутої системи $U_i(t)$, тобто

$$B_i(t) = f_2(U_j(t); K_j(t); U_i(t)). \quad (2.13)$$

Характеристику складності розглядають як деяку залежність кількості складових проблеми $K_i^n(t)$, кількості й видів внутрішніх зв'язків у проблемі $K_i^{BC}(t), V_{ij}^{BC}(t)$ кількості, видів вхідних зовнішніх зв'язків $K_i^{BHC}(t), V_{ij}^{BHC}(t)$:

$$C_i(t) = f_3(K_i^n(t); K_i^{BC}(t); V_{ij}^{BC}(t); K_i^{BHC}(t); V_i^{BHC}(t)). \quad (2.14)$$

Властивості проблеми $A_i(t)$, $B_i(t)$, $C_i(t)$ оцінюються тільки якісно і є вихідними даними для декомпозиції мети, функцій і властивостей АСУ, необхідних для вибору оптимального проектного рішення.

2.7. Прийняття проектних рішень при побудові АСУ

Процес проектування АСУ насамперед характерний тим, що на всіх його стадіях без винятку доводиться виробляти, обгрунтовувати й приймати численні рішення за принципом структурної побудови системи й засобів, принципам реалізації різних функціональних завдань, розробці математичного забезпечення й окремих технічних засобів. Ці рішення приймають як в умовах вірогідно детермінованих вихідних даних, так і при вихідних даних, що носять стохастичний характер з відомими або невідомими (або в принципі не існуючими) розподілами ймовірностей.

Припустимо, що ефективність вибору того або іншого рішення визначається деяким критерієм F і що чисельні значення цього критерію можуть бути визначені при будь-якому прийнятому рішенні для будь-якої сукупності умов, у яких здійснюється вибір. У загальному випадку всі фактори, від яких залежить ефективність вибору, поділяються на дві групи.

Перша група факторів залежить від осіб, що приймають рішення, які вони можуть вибирати за своїм розсудом, й називаються елементами рішення, або параметрами вибору $x_1,\ldots,x_n$ У цілому ж рішення характеризується вектором параметрів вибору

$$X = \|X_1, ..., X_n\|. \quad (2.15)$$

Може бути всіляка інтерпретація параметрів вибору.

Друга група факторів характеризує умови $y_1,\ldots,y_t$, за яких здійснюється вибір і на які вплив осіб, що приймають рішення обмежена, а в більшості випадків практично неможлива. Повна сукупність умов вибору характеризується вектором умов вибору

$$\boldsymbol{Y} = \|\boldsymbol{y_1 ... y_l}\|, \tag{2.16}$$

компоненти якого $\boldsymbol{y_j}$ $\boldsymbol{j = \overline{1,l}}$ являють собою характеристику $\boldsymbol{j}$ -ї умови вибору. Вектор (2.16) часто називають вектором станів зовнішнього середовища, а $\boldsymbol{y_j}$ є величини, що відбивають параметри, характеристики й стани зовнішнього середовища.

Очевидно, критерій ефективності вибору є функцією вектора параметрів вибору й вектора станів зовнішнього середовища

$$\boldsymbol{F = F(X,Y)}. \tag{2.17}$$

У загальному випадку завдання вибору рішення при створенні складної системи полягає в тому, щоб при заданих умовах вибору, тобто при заданих можливих значеннях вектора станів зовнішнього середовища ***Y***, знайти таке значення $\boldsymbol{X^*}$ вектора параметрів вибору ***X,*** яке б обертало в екстремум (максимум або мінімум) критерій ефективності вибору (2.17) при різних обмеженнях на компоненти ***X***, властивих специфіці розглянутого завдання.

Розглянемо класифікацію й зміст завдань вибору за різними характерними ознаками. Звичайно завдання вибору прийнято класифікувати за наступними трьома ознаками: за умовами вибору; за принципом вибору; за числом критеріїв, застосованих при рішенні завдань вибору.

Сукупність факторів, що визначають вірогідність результатів вибору, називається умовами вибору. Розрізняють вибір: в умовах визначеності, в умовах ризику, в умовах невизначеності.

При виборі в умовах визначеності кожному прийнятому рішенню ***X*** відповідає цілком певний результат, що виражається конкретним значенням критерію ефективності вибору ***F(X,Y)***. Це має місце при детермінованому векторі станів зовнішнього середовища ***Y***, тобто коли компоненти $\boldsymbol{y_1, ..., y_к}$ не є випадковими величинами. У загальному випадку під заданими умовами вибору $\boldsymbol{y_1, ..., y_к}$ можуть виступати не тільки числа, але й функції, зокрема обмеження, що накладають на параметри вибору $\boldsymbol{x_1, ..., x_n}$.

Приклад вибору в умовах визначеності. При побудові АСУ потрібно вибрати для центрального пункту управляючу ЕОМ з декількох типів серійних, програмно сумісних ЕОМ, з урахуванням вимог повністю відпрацьовано математичного забезпечення. У розглянутому прикладі завдання вибору полягає в тім, щоб в умовах визначеності вибрати таку ЕОМ, яка б найбільше повно в змісті обраного критерію ефективності задовольняла всім вимогам за ресурсами для реалізації заданого обсягу

математичного забезпечення.

При виборі в умовах ризику кожному рішенню відповідає безліч результатів, що характеризуються безліччю значень критеріїв ефективності вибору. Причому ця безліч результатів є випадковою, а самі випадкові значення критеріїв мають статистичну природу, тобто кожному випадковому значенню може бути поставлена у відповідності певна ймовірність. При цьому компоненти $y_1, ..., y_к$ вектора станів зовнішнього середовища Y також є випадковими величинами статистичної природи з відомим розподілом ймовірностей на безлічі векторів Y.

Прикладом вибору рішень в умовах ризику може бути те ж завдання вибору типу управляючої ЕОМ, коли вимоги до ресурсів у силу відсутності відпрацьованих програм визначаються з досить значними похибками. У такий спосіб компоненти вектора умов вибору, що характеризують необхідні значення ресурсів ЕОМ, є випадковими величинами з відомими розподілами ймовірностей і завдання, що вирішується пов'язане з вибором в умовах ризику.

При виборі ***в умовах невизначеності*** кожному рішенню так само відповідає безліч випадкових результатів, що характеризуються безліччю значень критеріїв ефективності. При цьому зазначені результати або мають статистичну природу, але визначення їхніх імовірнісних характеристик украй важко, або вони не статистичної природи, і, отже, їхнього розподілу ймовірностей принципово не існує. Це відповідає випадку, коли компоненти $y_1, ..., y_к$ вектору станів зовнішнього середовища Y є випадковими величинами, але розподілу ймовірностей цих випадкових величин із причин, викладених вище, не існує.

При побудові, наприклад, систем управління повітряним рухом (УПР) характерним є саме цей випадок вибору рішень в умовах невизначеності. Дійсно, компоненти вектора Y, такі, як число літаків у тому або іншому повітряному просторі , швидкості їхнього польоту, інтенсивність зльоту й посадки на даному етапі функціонування повітряного руху, змінюючись у часі, є величинами випадковими і визначити розподіл їх ймовірностей досить важко. Також доводиться прогнозувати еволюцію станів зовнішнього середовища на цей термін часу.

Під ***принципами вибору рішень*** розуміється математична формалізація постановки завдань вибору й методів вибору найкращих рішень (методів оптимізації) сформульованих завдань. Природно, принципи формалізації завдань вибору залежать від умов вибору. Виходячи із цього, класифікація принципів вибору тісно пов'язана з умовами, у яких здійснюється вибір рішень. Завдання вибору рішень в умовах визначеності формулюються в такий спосіб: при заданому значенні

вектора станів: зовнішнього середовища Y і можливих обмеженнях на параметри вибору необхідно знайти таке рішення X^*, що обертало б у екстремум (максимум або мінімум) критерій ефективності вибору. При виборі рішень прийнято розрізняти два види критеріїв: критерії першого виду характеризують виграш, а другого - витрати від прийнятого рішення.

Для першого критерію рішення тим краще, ніж більше значення відповідає цьому рішенню, а для другого - навпаки. Наприклад, критерії, що характеризують середньорічний економічний доход, абсолютний економічний доход за весь термін служби системи належать до критеріїв першого виду, а вартість системи, термін її окупності - до критеріїв другого виду. При виборі рішень критерії першого виду прагнуть максимізувати, а другого виду - мінімізувати. Іншими словами, у загальному випадку маємо завдання: для критеріїв першого виду необхідно знайти

$$F^* = F(X) = \max_{X \in Q} F(X,Y), \tag{2.18}$$

при обмеженнях

$$A_k(X,Y) \le \overline{A}_k, \quad k = \overline{1,\bar{k}}, \tag{2.19}$$

$$B_m(X,Y) \ge \underline{B_m}, \; m = \overline{1,\bar{m}}, \tag{2.20}$$

де $Q = \{X\}$ - безліч можливих значень векторів X; $A_k(X,Y), B_m(X,Y)$ - деякі функції від X, Y; $\overline{A_k}, \underline{B_m}$ відповідно максимально й мінімально припустимі значення функцій; $A_k(X,Y)$ і $B_m(X,Y)$.

Для критеріїв другого, виду необхідно знайти таке значення, що задовольняло б співвідношенню

$$F^* = F(X^*,Y) = \max_{X \in Q} F(X,Y), \tag{2.21}$$

при обмеженнях (2.20), (2.19).

Іншими словами, знаходять таке значення вектора параметрів, вибору X^*, яке б перетворювало в максимум критерії першого виду й у мінімум критерії другого виду.

Сформульований тут принцип вибору в умовах визначеності називається детермінованим.

Якщо процедуру вибору рішень можна представити у вигляді багатоетапної процедури, а критерій ефективності вибору - у вигляді суми значень критеріїв, взятої за кожним з етапів окремо, то для знаходження оптимального значення функції $F(X,Y)$ може бути використаний метод динамічного програмування Беллмана. У тих випадках, коли процедура вибору може бути представлена у вигляді звичайних диференціальних

рівнянь, а вектор параметрів вибору міняється залежно від часу $X(t)$, то для знаходження оптимального вибору можна застосовувати метод Понтрягіна.

Розглянемо тепер принципи вибору рішень в умовах ризику, коли відомі розподіли ймовірностей станів зовнішнього середовища. Математично завдання вибору в умовах ризику для критеріїв першого виду формулюються так: при випадкових значеннях вектора станів зовнішнього середовища з відомими розподілами ймовірностей $p(Y)$ і можливих обмеженнях на параметри вибору необхідно знайти таке рішення, що перетворювало б у максимум середнє значення критерію ефективності, тобто

$$F^* = F(X^*) = \max_{X \in Q} \sum_{Y \in G} F(X, Y)p(Y), \qquad (2.22)$$

при обмеженнях

$$\sum_{Y \in G} A_k(X,Y)p(Y) \le \overline{A_k}, \quad k = \overline{1,k}, \qquad (2.23)$$

$$\sum_{Y \in G} B_m(X,Y)p(Y) \ge \underline{B_m}, \; m = \overline{1,m}, \qquad (2.24)$$

де $G = \{Y\}$ - безліч векторів Y; $p(Y)$ - апріорний розподіл ймовірностей на безлічі векторів Y.

Для критеріїв другого виду вирішується завдання мінімізації середнього значення цих критеріїв, тобто перебуває

$$F^* = F(X^*) = \max_{X \in Q} \sum_{Y \in G} F(X,Y)p(Y), \qquad (2.25)$$

при обмеженнях (2.23), (2.24).

Залежно від виду функцій $F(X,Y), A_k(X,Y), B_m(X,Y)$ - це або завдання стохастичного лінійного програмування, стохастичного опуклого або квадратичного програмування, стохастичного динамічного програмування, або довільного виду завдання стохастичного нелінійного програмування.

У цей час існує досить велика кількість точних способів рішення сформульованих умовних екстремальних завдань перерахованими вище методами математичного програмування. Але застосування точних методів пов'язане з більшими обчислювальними труднощами, особливо при більших розмірах завдання. Застосування точних методів виправдано в тих випадках, коли самі критерії вибору й обмеження сформульовані досить суворо, тобто з високим ступенем точності відбивають реальний фізичний процес вибору рішень, а величини, що входять у критерій, і обмеження визначаються з великою вірогідністю. У завданнях вибору, з одного боку, самі критерії є досить наближеним відбиттям закономірностей при виборі, з іншого боку - складові критерію й обмежень

у ряді випадків мають невисоку вірогідність. У цих умовах застосування істотно більше трудомістких точних методів не представляється виправданим. При цьому, безумовно, більше природним і ефективним є застосування різних наближених методів рішення.

Розглянемо принципи вибору рішень в умовах невизначеності. У завданнях теорії ігор невизначеність пов'язана з поводженням супротивників, що розумно протидіють один одному. Однак при прийнятті рішень у процесі побудови АСУ невизначеність зв'язана не зі свідомою протидією супротивника, а з нашою недостатньою поінформованістю про умови, в яких відбувається вибір рішень, тобто з об'єктивною дійсністю. Ситуації, аналогічні вибору рішень при створенні систем (АСУ), часто називають "іграми із природою". "Природа" у теорії статистичних рішень розглядається як якась нейтральна сторона, "поводження" якої невідомо, але проте не містить елементів свідомої протидії. З позицій теорії рішень вектор параметрів вибору $\boldsymbol{X}$ прийнято називати стратегією вибору, а вектор станів зовнішнього середовища $\boldsymbol{Y}$ стратегією поводження зовнішнього середовища, або "стратегією природи".

Прийняття рішення представляє совою вибір одного, з кінцевої множини розглянутих варіантів: $\boldsymbol{E_1, E_2, ..., E_i, ..., E_m}$, $\boldsymbol{E_I \in E}$. Кожним варіантом $\boldsymbol{E_i}$ однозначно визначається деякий результат $\boldsymbol{l_i}$. Ці результати повинні допускати кількісну оцінку, і ми будемо для простоти ототожнювати ці оцінки з відповідними результатами, позначаючи їх тим самим символом $\boldsymbol{l_i}$.

Шукаємо варіант із найбільшим значенням результату $\boldsymbol{max_i l_i}$. При цьому ми вважаємо, що оцінки $\boldsymbol{l_i}$ характеризують такі величини як, наприклад, виграш, корисність або надійність. Протилежну ситуацію з оцінкою витрат можна досліджувати так само шляхом мінімізації оцінки.

Вибір оптимального варіанту не є однозначним, оскільки максимальний результат $\boldsymbol{max_i l_i}$ може досягатися в безлічі всіх результатів багаторазово. Але необхідність вибирати одне, з декількох однаково гарних рішень на практиці звичайно не створює додаткових труднощів.

Розглянутий випадок прийняття рішень, при якому кожному варіанту рішення відповідає єдиний зовнішній стан (і тим самим однозначно визначається єдиний результат) і який ми називаємо випадком детермінованих рішень, з погляду його практичних застосувань є найпростішим і досить частим. Зрозуміло, такі елементарні структури лежать у основі реальних процедур прийняття рішень. У більш складних структурах кожному припустимому варіанту рішення $\boldsymbol{E_i}$ можуть відповідати різні зовнішні умови (стану) $\boldsymbol{F_j}$ і результати $\boldsymbol{l_{ij}}$ рішень.

Під результатом рішення $\boldsymbol{l_{ij}}$ можна розуміти оцінку, що відповідає

варіанту E_i й умовам F_j і характеризує економічний ефект (прибуток), корисність або надійність виробу. Звичайно ми будемо називати такий результат корисністю рішення.

Варіанти рішень описується деякою матрицею рішень (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Матриця рішень e_{ij}

	F_1	F_2	F_3	..	F_J	..	Fn
E_1	e_{11}	e_{12}	e_{13}	..	e_{1j}	..	e_{1n}
E_2	e_{21}	e_{22}	e_{23}	..	e_{2j}	..	e_{2n}
E_3	e_{31}	e_{32}	e_{33}	..	e_{3j}	..	e_{3n}
E_i	e_{i1}	e_{i2}	e_{i3}	..	e_{ij}	..	e_{in}
E_m	e_{m1}	e_{m2}	e_{m3}	..	e_{mj}	..	e_{mn}

Щоб отримати однозначне й по можливості оптимальне рішення у випадку, коли якимось варіантам рішень E_i можуть відповідати різні умови F_j, можна підібрати оцінні (цільові) функції. При цьому матриця рішень зводиться до одного стовпця. Кожному варіанту E_i приписується деякий результат l_{ij}, що характеризує в цілому всі наслідки цього рішення. Такий результат ми будемо надалі позначати тим же символом l_{ij}.

Виникає, однак, проблема, який вкласти зміст у результат l_{ij}. Якщо, наприклад, наслідок кожного з альтернативних рішень характеризувати комбінацією з його найбільшого й найменшого результатів, то можна прийняти

$$l_{i\text{ч}} = \min_j l_{ij} + \max_j l_{ij} . \qquad (2.26)$$

Найкращий у цьому змісті результат має вигляд:

$$\max_i l_{i\text{ч}} = \max(\min_j l_{ij} + \max_j l_{ij}) . \qquad (2.27)$$

Формуючи в такий спосіб бажаний результат, можна виходячи з компромісу між оптимістичним і песимістичним підходами.

Розглянемо тепер деякі інші оцінні функції, а також відповідні їм вихідні позиції.

Оптимістична позиція:

$$\max_i l_{i\text{ч}} = \max_j (\max_j l_{i\text{ч}}) . \qquad (2.28)$$

З матриці результатів рішень l_{ij} (табл. 2,2) обирається варіант (рядок), що містить найбільший із всіх можливих результатів.

Позиція нейтралітету:

$$\max_i l_{iч} = \max_i \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n} l_{ij} \right). \qquad (2.29)$$

У даному випадку виходять із того, що всі відхилення результату рішення від "середнього" випадку, які зустрічаються, припустимі й обираються розміри, оптимальні із цього погляду.

Песимістична позиція;

$$\max_i l_{iч} = \max_i \left(\min_j l_{ij} \right), \qquad (2.30)$$

при цьому виходять із того, що треба орієнтуватися на найменш сприятливий випадок і приписують кожному з альтернативних варіантів найгірший з можливих результатів. Після цього обирається найвигідніший варіант, тобто очікує найкращого результату в найгіршому випадку. Для кожного іншого зовнішнього стану результат може бути тільки рівним цьому або кращим.

Позиція відносного песимізму:

$$\min_i l_{iч} = \min_i \max_j \left(\max_j l_{ij} - l_{ij} \right). \qquad (2.31)$$

Для кожного варіанту рішення оцінюються втрати в порівнянні з визначеним за кожним варіантом найкращим результатом, а потім із сукупності найгірших результатів обирає найкращий відповідно до представленої оцінної функції.

2.8. Принципи визначення вимог до АСУ

У вітчизняній і закордонній практиці розробки автоматизованих систем різного призначення використовується ряд підходів до визначення вимог. Порівняльний аналіз цих підходів показує, що вони розрізняються як принципами, технологічними схемами, так і методиками визначення вимог до автоматизованих систем. Однак загальним для підходів, які використовуються, варто вважати той факт, що обґрунтування того або іншого варіанта вимог (моделі вимог Мв), що забезпечує необхідні ефекти від застосування АСУ, супроводжується рішенням наступних завдань:

1) обґрунтування принципів визначення вимог;
2) розробка технології визначення вимог;
3) розробка особистих методик визначення вимог для конкретних типів (класів) АСУ.

Взаємозв'язок зазначених завдань і результатів їхнього рішення показані на рис. 2.7.

Процедура "оптимізації" у ланцюзі зворотного зв'язку припускає визначення найкращого варіанта принципів, технології й особистої методики за критерієм "ефективність-вартість".

При визначенні вимог до АСУ необхідно керуватися загальними системними принципами, рекомендаціями, що визначають спрямованість дій розробника системи при синтезі й аналізі моделі вимог до АСУ й особистими принципами, які дозволяють деталізувати процес обґрунтування вимог до неї.

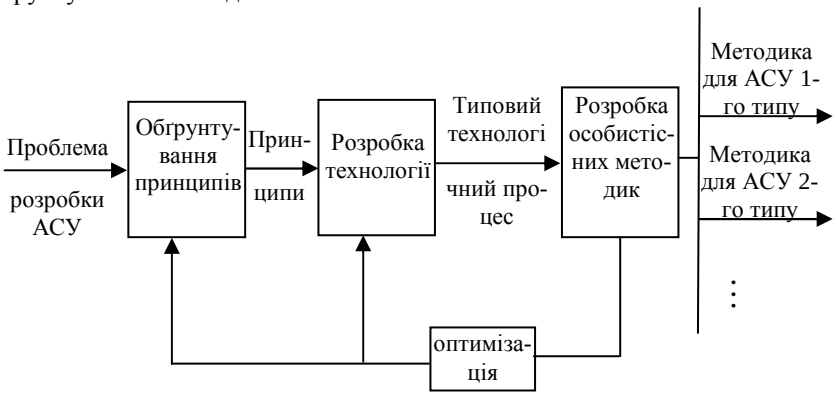


Рис.2.7. - Взаємозв'язок завдань визначення вимог до АСУ й результатів їхнього рішення

У першу чергу варто враховувати розглянуті раніше принципи системного підходу (принцип подвійності (метасистемності), принцип послідовного зняття невизначеності, принцип цілісності, принцип складності, принцип всебічності, принцип множинності, принцип динамічності, принцип історизму, принцип мети)

До основних особистісних принципів, реалізація яких дозволить більш якісно вирішити завдання визначення необхідних вимог до АСУ, варто віднести:

- ***принцип стандартизації й уніфікації***, що полягає в раціональному застосуванні типових, уніфікованих і стандартизованих технологічних схем, процедур визначення вимог;
- ***принцип забезпечення взаємно однозначної відповідності*** між вимогами й функціями АСУ і її компонентів;

- ***принцип постійного залучення*** представників майбутніх користувачів (персоналу) АСУ в процесі визначення вимог;
- ***принцип чіткої структуризації моделі вимог*** $M_в^{АСУ}$ й процесу її побудови, взаємозв'язку всіх стадій, етапів, окремих процедур, чіткої регламентації місця всіх учасників процесу створення АСУ протягом усього часу формування вимог до системи;
- ***принцип ефективного контролю*** за ходом визначення вимог з боку керівників робіт з певних критеріїв, з можливою формалізацією окремих процедур;
- ***принцип стикування з технологією створення АСУ*** й, зокрема, взаємозв'язок методики визначення вимог з іншими методиками проектування системи і її компонентів.

Найважливішою процедурою технології визначення вимог до АСУ є вибір найбільш ефективної технологічної схеми обґрунтування вимог. Відомі наступні основні схеми:

- ***каскадна***, тобто суворе детерміноване проходження стадій

обґрунтування → уточнення → деталізація вимог

за єдиним заздалегідь розробленим планом або методикою;

- ***спіральна***, що передбачає до виходу на етап остаточного, формулювання вимог, виконання декількох циклів:

обґрунтування → уточнення → деталізація вимог;

- ***комбінована***, що є комбінацією каскадної й спіральної схеми визначення вимог.

Перераховані схеми можуть мати свої варіанти й особливості. Так, наприклад, у каскадній схемі розрізняють одноступінчасту, двох і більш ступінчасті схеми.

Слід зазначити, що вибір варіанту в каскадній і іншій схемах залежить від складності АСУ, стадії її життєвого циклу, мети, завдання, вимог і інших факторів. Пропоновані технологічні схеми повинні вибиратися як на початковій стадії створення (розвитку) АСУ в цілому, так і для її складових частин. Наприклад, для обґрунтування моделі вимог автоматизованого робочого місця $M_m^{АРМ}$ персоналу АСУ найкращою є одно або двоступінчаста схема, а для визначення вимог до підсистеми відображення $M_m^{СВ}$ на стадії її створення найбільш ефективної може бути спіральна або комбінована технологічна схема. Критерії вибору тієї або іншої технологічної схеми повинні визначатися в процесі визначення вимоги до АСУ.

Розглянемо методику визначення вимог до АСУ, яка призначена для виявлення й первинного формулювання загальних системних вимог до системи, що розробляється відповідно до цілей її застосування за призначенням. Така методика переслідує наступні цілі:

І) виявити вимоги до АСУ з урахуванням потреб замовника і її загального функціонального призначення;

2) описати вимоги в якісній і кількісній формі;

3) створити основу для прийняття проектних рішень при створенні або розвитку АСУ;

4) розробити технічне завдання, що містить повний і точний перелік тактичних, технічних, ергономічних, економічних і спеціальних вимог до нової системи і є основою для подальших проектних робіт;

5) зосередити увагу розробників АСУ на визначенні вимог до системи, що розробляється на ранніх стадіях.

Визначення вимог є ітеративним процесом, у ході якого, вимоги багаторазово уточнюються й можуть зводитися в спеціальний проектний документ - каталог вимог. Вимоги варто описувати в термінах характеристик, які вимірюються і представлені досить докладно для того, щоб зменшити невизначеність при виборі проектних рішень, скоротити дублювання інформації яка міститься в різних проектних документах.

У завданні вимог повинні брати участь замовники (користувачі), проектувальники та інші фахівці.

Повна визначеність вимог досягається після встановлення функціональних вимог до АСУ й припустимих значень прийнятих особистісних і комплексних критеріїв $\boldsymbol{I}$.

Якщо припустимі значення критеріїв $\boldsymbol{I_{mi}}$, що характеризують одиничні властивості або сукупність властивостей, визначені то вимоги до якості АСУ і її компонентів виражаються у вигляді системи нерівностей

$$\boldsymbol{M_m}: \begin{cases} \boldsymbol{I_1 \le I_{m_1}} \\ \boldsymbol{.....} \\ \boldsymbol{I_p \ge I_{m_p}} \end{cases}. \qquad (2.32)$$

Таким чином, модель вимог $\boldsymbol{M_в^{АСУ}}$ до АСУ виявляється описаною в термінах критеріїв якості, що обмежують ступінь відхилення кількісних показників властивостей АСУ від заданих.

Кількісні вимоги в моделі $\boldsymbol{M_в^{АСУ}}$ випливають із мети й функцій (функціональних вимог) АСУ.

Як було визначено раніше, основні властивості АСУ можна розділити на наступні групи:

1) тактичні, що включають ефективність застосування, готовність, якість управління, стійкість, живучість, завадостійкість, мобільність, маневреність і ін.;

2) технічні, що включають надійність, продуктивність, сумісність, адаптивність і ін.;

3) ергономічні, що включають ергономічність, керованість, обслуговування, засвоюваність, населеність і ін.;

4) економічні, що включають економічність, технологічність, споживання ресурсів і ін.;

5) спеціальні, які властиві окремими АСУ або її компонентам у зв'язку зі специфічними функціями, реалізованими в процесі функціонування.

Послідовність завдання вимог до АСУ і її компонентів повинна здійснюватися з обліком наступного причинно-наслідкового ланцюга:

Мета → функції → властивості → показники властивостей → → критерії якості (вимоги) → модель вимоги (2.33)

Процес завдання вимог може бути розділений на взаємопогоджувані етапи, на яких розробляються наступні моделі вимог:

1) для АСУ в цілому $M_m^{АСУ}$;

2) для функціональних підсистем АСУ $M_m^{ФУ}$;

3) для видів забезпечення (інформаційного, організаційного, математичного, лінгвістичного, методичного, програмного, технічного, ергономічного, правового забезпечення

$$M_m^{ВЗ} = M_m^{ІЗ}, M_m^{ОЗ}, M_m^{МЗ}, M_m^{ЛЗ}, M_m^{МЗ}, M_m^{ПЗ}, M_m^{ТЗ}, M_m^{ЕЗ}, M_m^{ПрЗ};$$

4) для комплексів засобів автоматизації АСУ різного призначення й рівня ієрархії $M_m^{КЗА}$;

5) для комплексів технічних засобів, що входять до складу КЗА (управляючого обчислювального комплексу, засобів відображення, передачі даних, документування, тренажу, командно-сигнальних і інших технічних засобів):

$$M_m^{КТЗ} = M_m^{УОК}, M_m^{ЗВ}, M_m^{ПД}, M_m^{ДК}, M_m^{ТР}, M_m^{КСС}$$

6) для персоналу АСУ, що складається з оперативного, обслуговуючого й ремонтного персоналу:

$$M_m^{ПЕР} = M_m^{ПЕР.ОП}, M_m^{ПЕР.ОБ}, M_m^{ПЕР.Р}$$

Ланцюг (2.33) має спільність і застосовна для етапів I, 2,...,6 процесу завдання, вимог.

Вимоги до АСУ (рис.2.8, 2.9) і її компонентів умовно можна розділити на два класи:

- функціональні $M_{ВФ}^{АСУ}$;
- нефункціональні $M_{ВН}^{АСУ}$)

Функціональні вимоги характеризують конкретні властивості, що описують як повинна робити АСУ або її компоненти. До цього класу належать, наприклад, вимоги;

- до взаємодії з іншими АСУ;

- до даних, що циркулюють у системі;
- до вихідних даних, що надходять до зовнішніх споживачів інформації і інші вимоги.

Рис. 2.8. - Класифікація функціональних вимог до АСУ і її складових частин

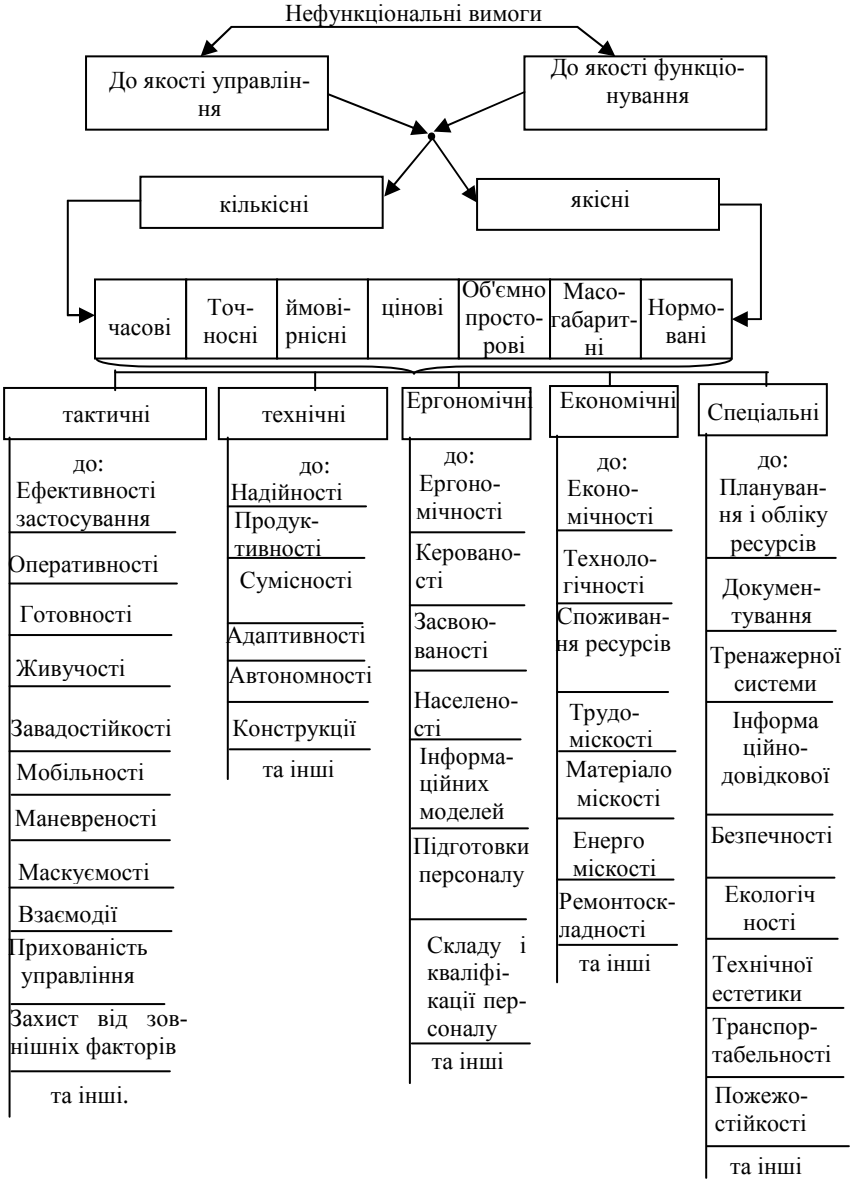


Рис. 2.9. - Класифікація нефункціональних вимог до АСУ і її складових частин

Нефункціональні вимоги описують, з яким рівнем якості АСУ або її компоненти повинні виконувати кожну функцію або групи функцій. Нефункціональні вимоги можуть ставитися як до всієї системи, так і до її окремих функцій або компонентів і відбиватися у відповідних моделях вимог

$$M_{ВН}^{АСУ} = \{M_{ВН}^{АСУ}, M_{ВН}^{ФП}\}$$

Таким чином, повна модель вимог до АСУ може бути надана в наступному вигляді:

$$M_{В}^{АСУ} = M_{ВФ}^{АСУ} \vee M_{ВН}^{АСУ} . \quad (2.34)$$

Будь-яка властивість АСУ проявляється тільки в процесі реалізації якої-небудь функції при досягненні заданої мети. Отже, відповідно до ланцюга існують аналогічні взаємозв'язки й у вимог, які можна представити у вигляді ієрархічної структури.

Через те, що $M_{ВФ}^{АСУ}$ й $M_{ВН}^{АСУ}$ спрямовані на досягнення конкретної мети, яка стоїть перед системою, то дометано поєднувати їх за допомогою функціонально-цільових структур у вигляді тривимірних зображень:

Мета → функції → властивості,

які відображаються у структуру:

мета → функціональні → нефункціональні вимоги

як показано на рис. 4.6.

Площини **мета-функція, мета - властивість** і **функція - властивість** дозволяють проводити декомпозицію мети на необхідні функції й необхідні властивості, як представлено на рис. 2.10а. Стрілки показують, що для досягнення мети 2 необхідно реалізувати функції 1, 2 АСУ. При цьому обов'язково повинні виявитися властивості 1, 3 і 4.

У більш компактній формі взаємозв'язок, наприклад, мети 2, функціональної вимоги 1 і нефункціональної вимоги ***X***, можна представити у вигляді сумарного вектора $\overline{ОА}$ тривимірного простору, показаного на рис. 2.1.б. Вектор $\overline{ОБ}$, має аналогічну геометричну інтерпретацію.

Представлені на рис. 2.10 векторно-матричні структури зручні при комп'ютерному виборі вимог за критерієм

ефективність → вартість → ризик

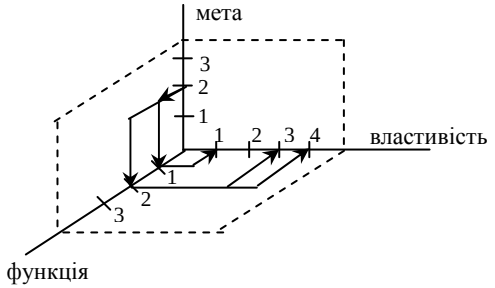
і можуть бути покладені в основу методики визначення вимог до АСУ в цілому і її компонентах окремо.

Попередній базовий варіант вимог до АСУ визначається на стадії дослідження й обґрунтування розробки системи (рис. 2.11) шляхом виконання наступних основних робіт:

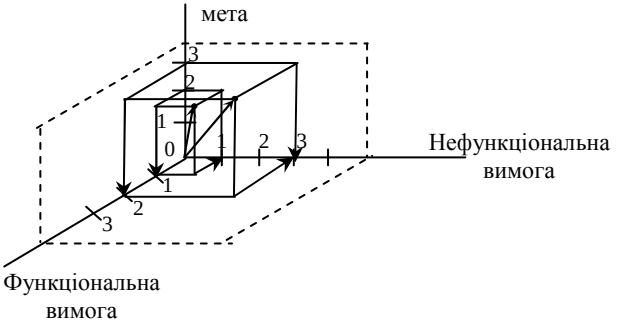
1) аналіз стану умов застосування, прогноз розвитку інноваційних

технологій в галузі й аналіз економічної доцільності створення (розвитку) АСУ;

2) підготовка, аналіз вихідних даних, необхідних для завдання вимог, вибір технологічної схеми визначення вимог і обгрунтування базового варіанта вимог (розробки моделі $M_{ВФН}^{АСУ}$) АСУ;



а)



б)

Рис. 2.10. - Функціонально-цільові структури (а) і профілі якості функціонування (б) АСУ

3) розробка стратегії автоматизації системи управління й моделі інформаційних потоків ($M_{ІП}^{АСУ}$), необхідних для вибору загальносистемних проектних рішень і уточнення вимог до АСУ у цілому і її компонентів;

4) декомпозиція глобальної мети системи на особистісні цілі функціонування, функції й завдання і їхній структурний аналіз, які

необхідні для формування вимог до функціональних підсистем, видам забезпечення, КЗА, КТЗ, персоналу АСУ й іншим елементам системи управління;

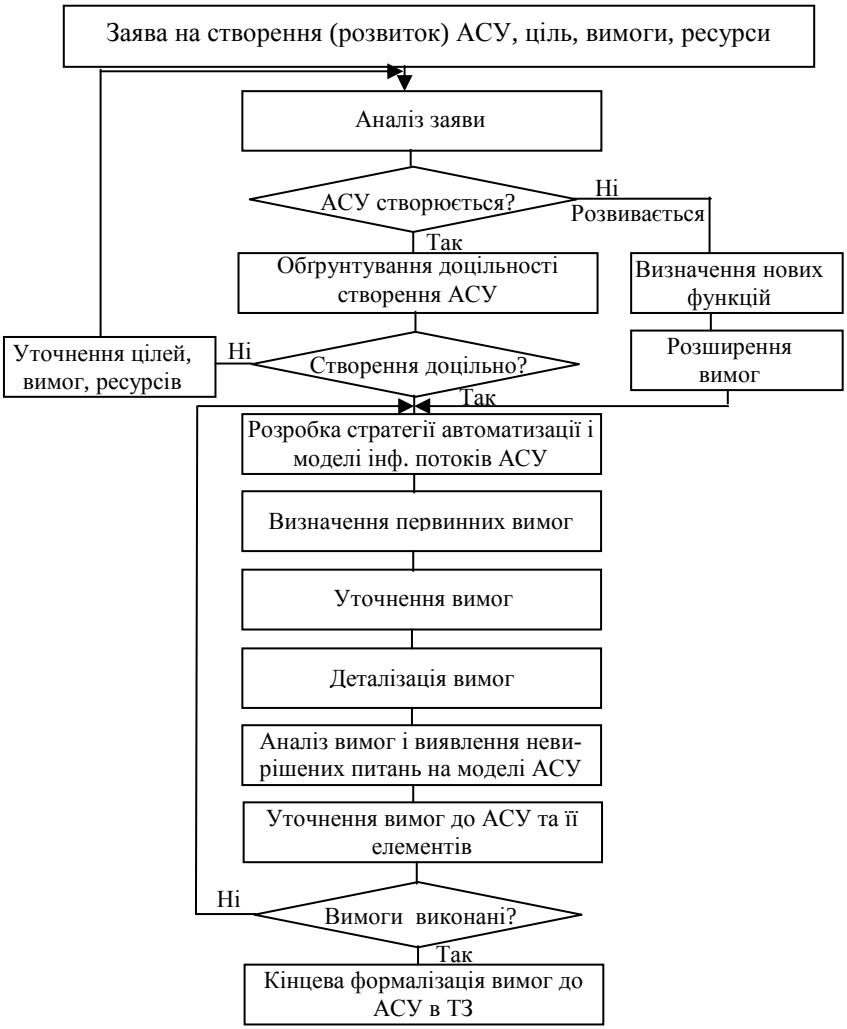


Рис. 2.11. - Загальний порядок завдання вимог до АСУ

5) формулювання попередніх (первинних) базових технічних, ергономічних, економічних і спеціальних вимог до АСУ і її компонентів;

6) виявлення й аналіз проблемних питань в АСУ з використанням її моделі;

7) уточнення моделі вимог ($M_B^{АСУ}$) і включення її - у технічне завдання.

Завдання вимог до АСУ і її компонентів включає:

1) збір і аналіз вихідних даних, необхідних для визначення вимог;

2) вибір номенклатури й структури функціональних і нефункціональних вимог;

3) обґрунтування критеріїв якості, що забезпечують реалізацію заданих функцій і завдань із урахуванням мети (цілей) функціонування системи;

4) формування для компонентів системи організаційних, інформаційних, технічних і інших вимог і забезпечення їх у процесі застосування АСУ за призначенням;

5) установлення порядку підтвердження вимог за стадіями створення компонентів АСУ.

При визначенні вимог до АСУ обираються й узгоджуються між замовником і розроблювачем АСУ:

1) очікуваний характер процесу управління об'єктами, зовнішнє оточення АСУ і їхні основні параметри;

2) перелік очікуваних ефектів від результатів функціонування АСУ в цілому і її компонентах;

3) типову модель і систему експлуатація АСУ стосовно до обраних процесів управління об'єктами;

4) схеми й модель інформаційних потоків стосовно до реалізованої функції або сукупності функцій, що забезпечують мету застосування АСУ за призначенням, номенклатуру, структуру вимог і відповідні критерії якості функціонування АСУ;

5) вимоги й (або) обмеження за технологічними, експлуатаційними, конструктивними способами забезпечення надійності функціонування системи з урахуванням економічних обмежень.

2.9. Питання до розділу 2

1. Які основні завдання покладають на систему створення АСУ.
2. Що є головною особливістю процесу створення АСУ.
3. Назвіть стадії створення АСУ.
4. Дайте визначення поняттю загальносистемне проектування.
5. Наведіть узагальнений алгоритм процесу створення АСУ.

6. Дайте визначення поняттю методологія створення АСУ.
7. Дайте визначення поняттю технологія створення АСУ.
8. Поясніть сутність загальних принципів створення АСУ.
9. Якими видами структур користуються при формальному описі АСУ.
10. Які проблемні науково - технічні завдання вирішуються у процесі вибору варіанта побудови й застосування АСУ.
11. Які основні наукові теорії і методи використовуються при побудові АСУ
12. Наведіть класифікація АСУ за реактивністю.
13. Наведіть класифікація АСУ за територіальною ознакою.
14. Наведіть класифікація АСУ за характером процесу, що управляється.
15. Наведіть класифікація АСУ за ступенем мобільності засобів автоматизації.
16. Наведіть класифікацію АСУ за числом рівнів.
17. Наведіть класифікацію АСУ за ступенем автоматизації завдань.
18. Наведіть класифікацію АСУ за серійністю.
19. Наведіть істотні ознаки АСУ.
20. Дайте визначення поняттю складна функція АСУ.
21. Наведіть класифікацію і поясніть основні функції АСУ.
22. Наведіть і поясніть завдання, що розв'язуються в АСУ.
23. Наведіть класифікацію і поясніть основні властивості АСУ.
24. Наведіть і поясніть методологічну схему, що лежить в основі концепції створення АСУ.
25. Наведіть і поясніть основні стадії життєвого циклу АСУ.
26. За якими ознаками може класифікуватися проблема створення АСУ.
27. Наведіть і поясніть основні групи факторів, від яких залежить ефективність вибору рішення з побудови АСУ.
28. Поясніть і дайте характеристику завданням вибору рішення в умовах: визначеності, ризику, невизначеності.
29. Дайте визначення поняттю оптимістична позиція при виборі рішення за принципом побудови АСУ.
30. Дайте визначення поняттю песимістична позиція при виборі рішення за принципом побудови АСУ.
31. . Дайте визначення поняттю позиція нейтралітету при виборі рішення за принципом побудови АСУ.
32. Наведіть і поясніть технологічні схеми обґрунтування вимог до АСУ.
33. Дайте визначення поняттю функціональні вимоги до АСУ.

Розділ 3

Методологічні підходи до розробки АСУ

Розглянуто методологічні засоби дослідження та розробки АСУ, зокрема, системний, кібернетичний та ергатичний підходи. У межах ергатичного підходу розглянуто загальні принципи інженерно-психологічного проектування, організація взаємодії між людиною і технічними засобами, зокрема, розподіл функцій між оператором і комп'ютером. Обґрунтовано необхідність і розглянуто біологічні аспекти використання ергатичного підходу до побудови АСУ. Також розглянуті основні поняття і положення притаманні морфологічному, інформаційному, функціональному й структурно-функціональному опису АСУ. Наведена агрегатна схема опису функціонування АСУ та, основні підходи до концептуального моделювання АСУ

3.1. Системний підхід до побудови АСУ

Підхід до проблеми управління як до процесу, що враховує взаємозв'язок частин системи або її окремих підсистем, є основною рисою системного підходу до розробки АСУ. Головним в системному підході є зосередження уваги на побудові системи в цілому на відміну від побудови її окремих частин.

Системний підхід починається з визначення цілей для всієї системи. При цьому аналізують дані про об'єкт і наявні знання про зовнішнє середовище, розробляють організаційно - функціональні і інформаційно-алгоритмічні структури, формують підсистеми і інші компоненти АСУ, як складові частини системи в цілому. Потім, на основі сформульованих критеріїв окремі підсистеми синтезують в систему. Необхідно відзначити, що системний підхід при проектуванні АСУ реалізовується лише у тому випадку, коли виявлені всі зв'язки і залежності, об'єднуючі її окремі підсистеми в єдине ціле.

Розглянемо системність як категорію теоретичної і практичної діяльності людини. Системність виступає як загальна властивість матерії, фор-

ма, її існування, а отже, невід'ємна властивість людської практики, включаючи мислення. Відомі форми існування матерії - час, простір, рух, структурованість - є окремими проявами, аспектами системності світу. Основними ознаками системності знань, теоретичній і практичній діяльності вважаються:

- структурованість системи;
- взаємозв'язана складових її частин;
- залежність організації всієї системи певній меті.

Успішність всякої діяльності залежить від рівня її системності. Виділяють три рівні системності праці:

- механізація;
- автоматизація;
- кібернетизація.

Можливості механізації обмежені участю людини. Автоматизації підлягають тільки алгоритмізовані процеси. Слід зазначити, що алгоритмізація будь-якого виду діяльності є важливим способом підвищення системності. Кібернетизація полягає у включенні в технологічний процес інтелекту - природного або штучного. Основна ідея вирішення проблеми побудови АСУ із застосуванням кібернетичного підходу полягає у тому, щоб в тих випадках, коли автоматизація (формальна алгоритмізація) неможлива, використовувати здатність людини орієнтуватися в незнайомих умовах і знаходити рішення задач, що слабо формалізуються. При цьому людина повинна виконувати ті операції в загальному алгоритмі управління об'єктами, які не піддаються формалізації (прийняття управлінських рішень, порівняння некількісних варіантів, експортна оцінка і т.п.). Саме на цьому принципі будуються АСУ, в яких формалізовані операції виконують ЕОМ, а неформалізовані операції - людина.

Центральною концепцією системного підходу є поняття системи, яка визначається як сукупність взаємозв'язаних елементів, що відособлена від зовнішнього середовища і взаємодіє з нею як ціле. Основними ознаками системи вважаються:

- цілісність;
- структурованість (наявність частин і зв'язків між ними);
- підлеглість всій організації систем деякій меті;
- відносна відособленість від навколишнього середовища;
- наявність зв'язків з середовищем.

Всі штучні системи створюються для досягнення певної мети. Тому цільове призначення системи вважається початковою і головною її властивістю, оскільки вона є засіб досягнення мети. Будь-яка система характеризується структурою, станом і поведінкою.

Найвідповідальніший етап створення АСУ полягає у формулюванні проблемної ситуації, який починається з постановки проблеми, що підлягає вирішенню, при цьому проблема визначається як не вирішене раніше завдання що вимагає її рішення певними способами. Наприклад, проблема створення нової АСУ або її розвитку.

У процесі обґрунтування варіанта побудови АСУ використаються різні методологічні засоби, до яких належать методологічні підходи, принципи, концепції, методи й методики дослідження й розробки АСУ. Безпосередньо об'єктом дослідження й розробки АСУ є ***F, O, I, A, P, T***, *і* ***Д*** - структури автоматизованих систем, а предмет становлять закономірності й процеси побудови цих структур і аналіз функціонування АСУ в цілому. Сукупність питань розробки ***F, O, I*** структур становлять основи побудови інформаційного забезпечення, а розробка ***A, P***, *і* ***T*** - структур становлять основи побудови математичного, програмного й технічного забезпечення АСУ відповідно. Тому методичні засоби дослідження й розробки АСУ забезпечують рішення перерахованих раніше головних завдань створення АСУ.

Методологія дослідження й розробки АСУ обґрунтовується з урахуванням призначення системи й стратегії автоматизації (автоматизованого управління).

Стратегії автоматизації в АСУ на множині евристичних і програмно - реалізованих операцій управління Р описує функціонал

$$\boldsymbol{U = \psi\left[S(A,Y,B); P; M; K; \tau_p \right]}, \qquad (3.1)$$

де ***U*** - система управляючих впливів для виконання операцій управління;

S - проблемна ситуація, що містить інформацію про минулі *A*, дійсних *Y* і можливі майбутні *B* стани об'єкта управління;

M - модель об'єкта управління (інформаційна, що представляється на засобах відображення й концептуальна, формується людиною в процесі осмислення проблемної ситуації);

K - метаова модель об'єкта в задумі користувача АСУ, до досягнення якої він прагне;

τ_p - дискретний інтервал часу динамічного процесу управління (час реакції системи управління);

Функція прийняття рішення, що належить до конкретної стратегії ***Ψ***, являє собою частково-формалізовану систему логічних правил управління об'єктом. Ці правила реалізуються в людино-машинній системі формування управляючих впливів. Тому в стратегії автоматизації визначається, які операції управління виконуються людиною, програмно-технічним комплексом або ними спільно. Крім того, зазначаються й розподіляються між

людиною й технікою такі функціональних операцій, як синтезуючи, аналізуючи, прогнозуючи операції, а також операції оцінки якості впливу й т.п.

Методологічний підхід являє собою сукупність, методологічних засобів, які визначають основні напрямки дій (досліджень), які використовуються для підготовки й обґрунтування рішень за складними науково-технічними і практичними питаннями. Існують різні, підходи до побудови АСУ, серед яких найбільш загальними вважається системний, кібернетичний і ергатичний (біологічний). Розглянемо основні положення зазначених підходів.

Системний підхід являє собою напрямок методології наукового пізнання й практичної діяльності, при якому всі зв'язки, елементи, функції й проблеми розглядаються у вигляді взаємозалежного цілого.

Системний підхід - це деякий загальнометодологічний принцип. Його апаратною реалізацією є системний аналіз, що образно можна назвати технологією системного підходу. Якщо завданням системного підходу є вираження на рівні спеціальної методології принципів, понять і методів системних досліджень, то ***системний аналіз*** є сукупність методичних засобів реалізації системного підходу при підготовці й обґрунтуванні рішень за складними проблемами різного характеру й, зокрема, за проблемами побудови АСУ. Варто відзначити, що термін "Системний аналіз" не є коректним, оскільки слово "аналіз" суперечить поняттю цілісності, що міститься в терміні "система". Його можна замінити терміном "Дослідження систем".

Головне досягнення у використанні системного аналізу складається в розробці методів переходу від неформальних завдань до формальних, від концептуальних моделей і моделей типу "чорного ящика" до моделей типу "білого ящика", тобто до формалізованих за допомогою певних математичних засобів моделям;

Із практичної сторони системний аналіз є теорія й практика поліпшення втручання в проблемні ситуації. З методологічної сторони системний аналіз є прикладна діалектика. Головне в системному аналізі АСУ полягає в тому, що він дозволяє розділити складну проблему побудови АСУ на прості складові завдання (обґрунтування ***F, O, I, A, P, T і Д*** структур АСУ), які вже мають відпрацьовані методи рішення, а з іншого боку удержати їх разом як єдине ціле.

Наукову основу системного аналізу АСУ становлять:

- загальна теорія систем і системний підхід;
- методи й прийоми дослідження операцій, що дозволяють виробляти кількісні рекомендації, необхідні при плануванні й організації цілеспрямованих дій у процесі розробки й застосування АСУ;

- методи аналізу АСУ, що дозволяють оцінити їхнє поводження в різних умовах і визначити значення показників їхньої якості;
- методи синтезу структур АСУ.

Завданнями системного аналізу вважаються розробка методів і засобів:

1) визначення мети (вимог), що повинна досягти функціонуюча система;

2) виділення істотних властивостей системи, визначення характеристик цих властивостей і їхніх кількісних значень;

3) виявлення особистих проблем, пов'язаних з їхньою класифікацією;

4) концептуального моделювання системи як засобу рішення проблеми побудови АСУ;

5) удосконалювання методології проведення системного аналізу:

Компонентами системного аналізу є:

1) мета, яку повинна досягти система;

2) варіанти систем, за допомогою яких можливе досягнення мети;

3) ресурси, необхідні для забезпечення функціонування того або іншого варіанта системи;

4) критерій, за яким оцінюються варіанти побудови системи й здійснюється вибір оптимального з них;

5) модель, що відбиває цілі, варіанти побудови, ресурси і критеріїв вибору системи.

Алгоритми дослідження систем (алгоритми системного аналізу) можуть бути різними. Залежно від ступеня складності аналізованої проблеми використовуються лінійні алгоритми й більше складні алгоритми, що містять цикли, випадковий пошук, адаптації, самоорганізації й т.п., які конструюються в ході дослідження систем. Конкретна послідовність етапів системного аналізу носить індивідуальний характер, визначається ведучим дослідження системним аналітиком. Однак можна виділити наступний перелік процедур системного аналізу автоматизованої системи:

1) визначення сукупності засобів опису досліджуваної системи, достатньої для вирішення проблеми створення АСУ;

2) формулювання загальних і особистих проблемних завдань;

3) виявлення цілей;

4) формування критеріїв;

5) генерування альтернатив (варіантів);

6) побудова й використання моделей;

7) оптимізація систем;

8) вибір найкращих альтернатив;

9) декомпозиція;

10) агрегування;
11) дослідження інформаційних потоків у системі;
12) дослідження ресурсних можливостей;
13) спостереження й експерименти над досліджуваною системою;
14) реалізація й впровадження результатів аналізу.

Наведений перелік є узагальненим і може мати іншу послідовність, якщо кожну зазначену операцію розділити на більше дрібні процедури. Це дозволяє створювати алгоритми системного аналізу, що мають різний ступінь деталізації.

У рамках системного підходу й системного аналізу використають методи аналізу проблем, методи топологічного, структурного й параметричного аналізу АСУ і її складових частин. При рішенні завдань синтезу структур АСУ розрізняють топологічний, структурний, параметричний синтез АСУ або їхні комбінації. Завдання, пов'язані з оптимізацією за деяким критерієм топології, структури або параметрів відповідної структури АСУ, називають завданнями топологічної, структурної або параметричної оптимізації відповідно.

Системний підхід поєднує сукупність загальних принципів, рекомендацій, що визначають спрямованість наукової й практичної діяльності при синтезі й аналізі складних об'єктів і, зокрема, при синтезі й аналізі АСУ. При цьому керуються наступними ***принципами системного підходу:***

1) ***принцип мети,*** що орієнтує дослідника на першочерговість аналізу цілей системи, що досягають при її функціонуванні;

2) ***принцип подвійності*** (метасистемності), при якому об'єкт розглядається як система, з одного боку, і як підсистема, системи (метасистеми) більш високого рівня, з іншої сторони;

3) ***принцип цілісності***, що визначає будь-який об'єкт як щось ціле, а не випадковий набір елементів;

4) ***принцип складності***, що припускає розглядати об'єкт як сукупність елементів, що перебувають у складних зв'язках між собою й елементами зовнішнього середовища;

5) ***принцип всебічності***, що враховує всі істотні системоутворюючі зв'язки в об'єкті, а також всі фактори, що впливають на ефективність її функціонування;

6) ***принцип множинності***, який припускає, що для повного опису об'єкта необхідна множина моделей, кожна з яких описує одну сторону об'єкта на якомусь рівні подання;

7) ***принцип динамічності,*** за яким об'єкт варто досліджувати (створювати) з урахуванням динаміки його розвитку;

8) ***принцип історизму***, що дозволяє проводити дослідження минулого системи, аналізуючи передумови появи системи, щоб розкрити закономірності її розвитку.

9). ***принцип схожості***, визначає наявність узагальнюючих ознак і характеристик у систем вирішальних однотипні завдання.

Зв'язку між принципами системного підходу показані на рис. 3.1.

Суть системного підходу загалом зводиться до розгляду двох аспектів:

1) розуміння об'єкта дослідження як системи;

2) розуміння процесу дослідження як системного за своєю логікою й використовуваних засобах.

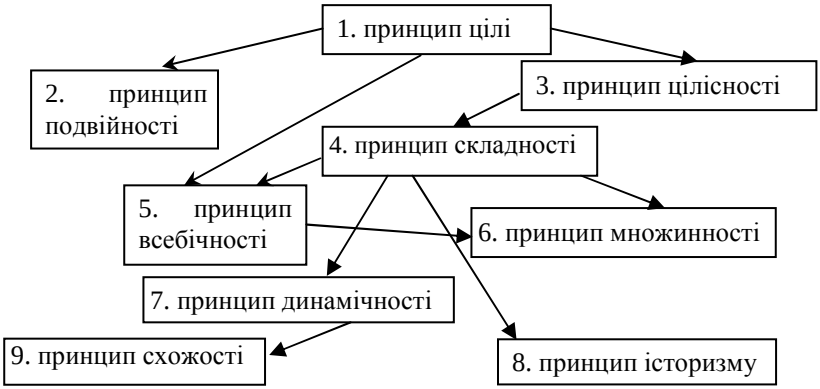


Рис. 3.1. - Зв'язки між принципами системному підходу

При розгляді першого аспекту керуються наступними положеннями:

- система реалізує процес, причому мета процесу первинніше цілей системи;
- необхідне виділення істотних властивостей системи, що залежать від цілей дослідження;
- складні системи представляють, як правило, багаторівневу, структуру;
- система реалізує певні функції, які обумовлені метою створення системи:
- кожний елемент системи піддається кількісним і якісні змінам, тобто перебуває в розвитку.

Другий аспект системного підходу відбиває процес дослідження системи як деяке сполучення аналізу й синтезу, а також перехід від конкрет-

ного до абстрактного й назад. Реалізація цього аспекту полягає в тому, що в процесі досліджень створюється модель реального об'єкта або системи (рис.3.2). Вона є основним інструментом досліджень, що дозволяє виділити основні властивості системи, провести синтез її моделі й на основі дослідження моделі й аналізу отриманих результатів одержати додаткові знання про розглянуту систему. Нові відомості про систему дозволяють поліпшити показники властивостей системи з урахуванням мети її функціонування.

Модель системи визначається трійкою:

<об'єкт-мета-засоби моделювання (у тому числі середовища)>

У рамках системного підходу виділяють функціональний, структурний, структурно-функціональний, комплексний і інший підходи, які взаємозв'язані між собою в єдине ціле в інтересах рішення загального завдання побудові АСУ, на основі інформаційних процесів і потоків у системі.

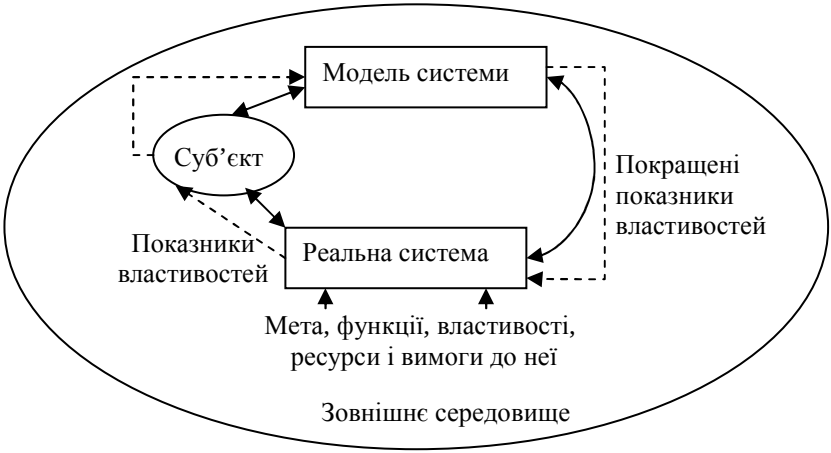


Рис. 3.2. Схема, що відображає модель системи як багатомісне відношення

Функціональний підхід заснований на тому, що АСУ яка створюється розглядається не у своїй конкретній реальній формі, а як комплекс функцій, які вона виконує або повинна виконати при функціонуванні.

Змістом ***структурно-функціонального підходу*** є пізнання фундаментальної властивості АСУ будь-якого рівня ієрархії, що проявляється в причинно-наслідковому взаємозв'язку структури системи і її адекватної функції.

Комплексний підхід припускає одночасний облік всіх аспектів, особливостей і факторів, які прямо або побічно впливають на рішення проблеми розробки або експлуатації АСУ.

Системний підхід не виключає перенесення центру уваги на окремі підсистеми після розробки загальних вимог до системи і мети управління. Відповідно до цього виробилися два послідовні етапи проектування АСУ:

- макропроектування, коли розглядається цілісна система, виходячи із загальних цілей управління;

- мікропроектування, коли здійснюється реалізація окремих підсистем на конкретних технічних засобах.

Оптимальне поєднання цих двох підходів найважче здійснити при проектуванні великих систем управління, до яких відносяться, зокрема, і АСУ електростанцій.

Принципові особливості АСУ, які необхідно враховувати у ході розробки і впровадження будь-якої нової технічної системи.

1. До завершення повної реалізації проекту можливість випробувань АСУ, що функціонує на об'єкті практично виключена. Всі невдалі рішення і помилки, які не вдалося врахувати і передбачати в ході розробки, починають позначатися тільки при випробуваннях системи і введенні її в експлуатацію. Тому надзвичайно важливого значення набуває початкова стадія робіт із створення АСУ, на якій визначаються і закладаються всі принципові основні рішення.

2. В процесі розробки АСУ повинна наперед плануватися її еволюція. Досягнення нової мети управління, що виникає при функціонуванні АСУ, може бути забезпечене тільки в тому випадку, якщо при побудові підсистем передбачена можливість їх розвитку як за вертикаллю, тобто в сенсі інтеграції в рамках єдиної АСУ окремих підсистем, які раніше мали самостійне значення, так і за горизонталлю, тобто в сенсі розширення круга завдань, які вирішуються окремими підсистемами.

3. АСУ тісно пов'язана із зовнішнім середовищем, а також іншими системами, що робить вплив на алгоритмічне і програмне забезпечення АСУ, а часто і на мету і критерії ефективності, примушуючи перебудовувати внутрішній зміст системи. У зв'язку з цим з самого початку розробки АСУ в неї повинні бути закладені властивості адаптивності, гнучкості в перебудові.

4. Введення в експлуатацію АСУ зазвичай починається з рішення окремих задач, причому ці завдання, як правило, найбільш прості за змістом і незначні інформації, що за об'ємом переробляється. У міру освоєння системи і накопичення необхідного досвіду відбувається поступове нарощування потужності АСУ, яке розтягується на тривалі терміни і неминуче приводить до розширення і зміни прийнятого раніше складу і об'ємів за-

вдань.

5. В процесі впровадження АСУ роль людини набуває домінуючого значення. При створенні АСУ слід враховувати такі чинники, як психофізичні можливості людини, матеріальні і моральні стимулюючі дії на результати його праці, суб'єктивні впливи, умови роботи і т.п.

6. В процесі створення АСУ витрати на проведення необхідних досліджень, проектування системи, розробку програмного забезпечення, підготовку персоналу і т.п. значно перевищують вартість комплексу технічних засобів, їх монтажу і наладки.

3.2. Кібернетичний підхід до побудови АСУ

В основу кібернетичного підходу до побудови систем покладене поняття управління і все, що з ним зв'язане. Тому системи, в яких протікають процеси управління, звичайно називають кібернетичними, або інформаційними системами управління. Їм властиві наступні особливості:

1) інформаційні зв'язки між елементами системи відіграють визначальну роль у збереженні її цілісності;

2) інформація, що надходить у систему (або утримується в ній), використовується для цілей управління;

3) кожна система має одну або кілька цілей, які правило, рознесені за часом;

4) системи здатні переходити в різні стани без порушення цілісності не миттєво, а з деякої інерційністю;

5) для кожної системи існує декілька стратегій поводження, серед яких існує найбільш ефективна для конкретної ситуації й цілі застосування;

6) для систем управління характерні певні структури, що відбивають контури управління;

7) системи є відкритими, тобто вплив середовища на систему або навпаки можуть мати різну природу й відповідні наслідки;

8) системи оперативного управління (наприклад, АСУ АЕС) можуть функціонувати: у конфліктних ситуаціях, що порушує функціонування елементів; в умовах неповної, недостовірної інформації, що знижує якість виробітку управляючих впливів;

9) системам оперативного управління мають складний і динамічний характер функціонування.

Перераховані особливості обов’язково враховуються при створенні АСУ.

Основні функції управління (планування, облік, контроль, аналіз і оперативне управління), зв'язок яких показано на рис. 3.3, реалізуються

системою за цикл управління $T_{цу}$, який можна характеризувати наступними інтервалами часу:

1) збір, обробка, передача, нагромадження, відображення інформації $t_{оо}$;

2) аналіз інформації t_a, вибір варіантів управління (планування) $t_п$;

3) вибір найкращого рішення (прийнятих рішення) $t_{пр}$, доведення управляючих впливів до об'єкта управління й реалізація рішення $t_{рр}$;

4) контроль результату управління об'єктом $t_к$.

Таким чином, час циклу управління

$$T_{цу} = t_{соо} + t_a + t_п + t_{пр} + t_{рр} + t_к \qquad (3.2)$$

залежить від швидкості протікання зазначених процесів.

Варто відмітити, що при створенні або вдосконалюванні систем управління параметр $T_{цу}$ повинен бути не більше необхідного часу реакції системи $\tau_р$, обумовленого часом протікання процесу управління:

$$T_{цу} \le \tau_р \qquad (3.3)$$

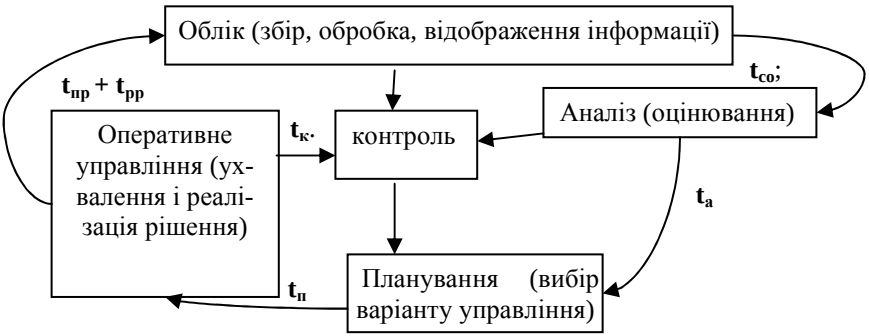


Рис. 3.3. - Зв'язок функцій управління системи в циклі управління об'єктом

Провідною функцією управління є планування. ***Функція планування*** реалізується, виходячи з відомого стану зовнішнього середовища й об'єкта управління шляхом визначення плану досягнення мети системою управління, тобто прийнятих рішення на управління об'єктом.

Функція обліку реалізується шляхом збору, накопичення, часткової обробки інформації про стан об'єкта управління й зовнішнього середовища й при необхідності відображення потрібної інформації.

У процесі ***контролю*** визначається факт відхилення між плановим і фактичним станом органів управління, При реалізації функції контролю виявляються причини й можливості усунення невідповідності, що виник-

ла.

У процесі реалізації ***функції аналізу*** оцінюється (обчислюється) відхилення й виробляється варіант коригуючого управляючого впливу для приведення об'єкта до визначеного стану.

У процесі реалізації ***функції оперативного управління*** здійснюється вибір найкращого рішення доведення управляючих впливів до об'єкта управління й реалізація рішення.

Основними атрибутами управління вважаються:

- мета управління;
- інформація стану;
- алгоритм управління;
- функція управління.

Постановка завдання виробітки управляючих впливів в АСУ дозволяє говорити про нову, автоматизовану інформаційну технологію управління, основні етапи якої можна представити наступним чином. Кінцевий користувач вирішує свої задачі на ЕОМ за допомогою цілого ряду посередників: математиків - аналітиків, які розробляють математичну модель завдання, що вирішується кінцевим користувачем; програмістів, складових програму рішення задачі; операторів, що запускають завдання на рішення. Як видно, відбувається послідовна трансляція завдання з природної мови на мову математичних моделей, потому на мову програмування і, нарешті, на мову кодів ЕОМ.

За допомогою інформаційної технології вирішуються наступні завдання:

- розробка методів і засобів доступу до ресурсів ЕОМ в цілях спрощення технології представлення користувачеві інформаційно-обчислювальних послуг;
- підвищення інтелектуальності доступу користувача до ресурсів обчислювальних машин;
- створення нових засобів інформаційної технології: професійних ЕОМ, локальних мереж ЕОМ, організаційно-технічних комплексів і т.п.;
- концентрація інформації у вузлах прийняття рішень;
- персоналізація обробки даних і вдосконалення управління організаційно-технічними системами.

В даний час діалоговий або інтелектуальний інтерфейс, тобто засоби спілкування ЕОМ і кінцевих користувачів, можна розглядати як основу для реалізації нової інформаційної технології, схема якої приведена на рис. 3.4

Приведена схема дозволяє вивести з контуру користування ЕОМ математиків, аналітиків і прикладних програмістів, у функції яких входять

розвиток і підтримка системи для забезпечення кінцевого користувача необхідним сервісом застосування ЕОМ.

Інтелектуальний інтерфейс дозволяє фахівцям, не виходячи за межі мови своєї наочної області мати наступні можливості:

- здійснювати пошук в базах даних (знань) необхідної документальної і фактографічної інформації, виходячи при необхідності в бібліотечні мережі і в мережі розподілених баз даних;

- використовуючи сконцентровані в ЕОМ знання про наочну область, здійснювати розпізнавання і діагностику процесів в складних системах, формулювати плани дій, висувати і перевіряти гіпотези, виявляти закономірності в результатах спостережень, здійснювати логічний висновок;

- вирішувати проектні, планові і управлінські задачі за їх описах незалежно від складності математичних моделей цих завдань. При цьому кінцевому користувачеві повинна бути представлена можливість контролювати в діалоговому режимі всі стадії обчислювального процесу.

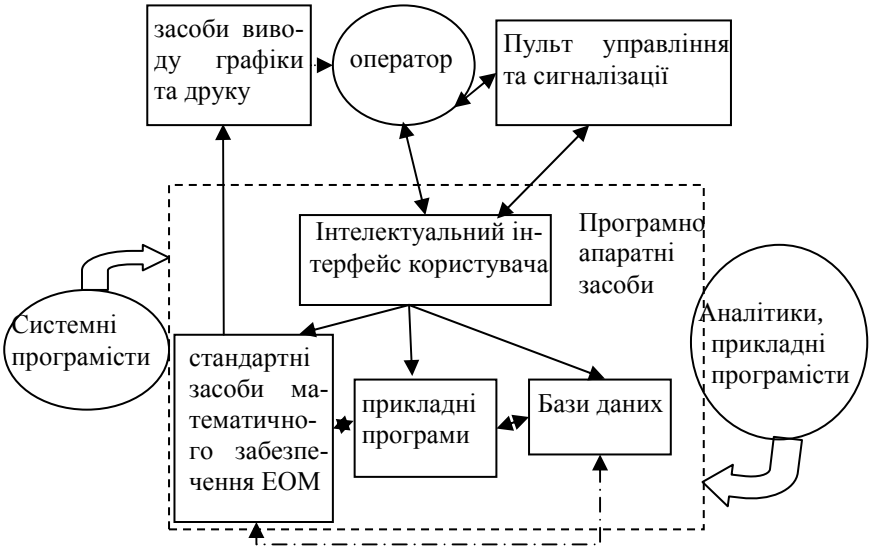


Рис. 3.4. Застосування інформаційних технологій в АСУ

Одна з причин низької ефективності існуючих традиційних засобів АСУ при обслуговуванні процесів прийняття рішення вважається їх недостатня пристосованість до особистого стилю мислення і діяльності особи, що приймає рішення.

Нова інформаційна технологія дозволяє виправити таке положення дій за рахунок застосування системи підтримки прийняття рішення, що забезпечує адаптацію принципів управління функціонуванням АСУ, що реалізовуються, в умовах динамічного середовища, , що характеризується різним ступенем невизначеності. Ефективність прийняття рішень залежить від повноти і достовірності знань про стан об'єктів управління і про умови функціонування органів управління.

Система підтримки прийняття рішень не виробляє остаточних рішень, а надає цю можливість людині за рахунок представлення інформації у формі, що забезпечує швидке сприйняття і аналіз одержаних даних. Наприклад, у вигляді таблиць, графіків, монограм, карт і т.п.

На рисунку 3.5 наведена схема кібернетичної моделі управління об'єктом, яка відбиває основні етапи проходження й перетворення інформації при виконанні оперативним персоналом управляючих функцій у будь-якій замкнутій системі управління. Кібернетична модель формалізує опис інформаційних процесів , що протікають в системі управління і дозволяє зв'язати в єдину систему функціонування людини-оператора й технічних засобів АСУ. При цьому основою інтеґрації окремих частин у єдину систему служать система зв'язку й інформаційні потоки в ній.

Управляючий процес починається зі збору інформації про стан об'єкта управління й зовнішнього середовища в сучасний момент часу й передачі її в пункт прийнятих рішення (етап 1).

Результатом виконання етапів І і 2 є формування інформаційної моделі (ІМ) поточної ситуації (стан навколишнього середовища, об'єкта управління, і його оточення). Ця ІМ повинна з достатнім ступенем адекватності передати людині топологічні, метричні й фізичні властивості предметної області, у якій людина (персонал АСУ) веде управління. На основі ІМ у свідомості людини виникає концептуальна модель (КМ) предметної області. Використовуючи КМ і дані ЇМ, людина, що виконує управлінські функції, виявляє проблемну ситуацію, що виникла (етап 3). До вироблення управляючих рішень в АСУ людина переходить у тому випадку, якщо відхилення в проблемній ситуації досягнуть істотних значень (етап 4), Вироблення управляючих впливів складається з етапу формування альтернативних варіантів рішень (етап 5), обґрунтування й вибір оптимального за деяким критерієм варіанта рішення (етап 6), При цьому він базується на ІМ і КМ майбутньої ситуації (майбутнього стану об'єкта управління й зовнішнього середовища). КМ майбутньої ситуація є основною при формуванні критерію ефективності управління. Етап 7 необхідний для перетворення форми управлінського рішення у форму управляючого впливу, тобто у форму, яку сприймає об'єкт управління.

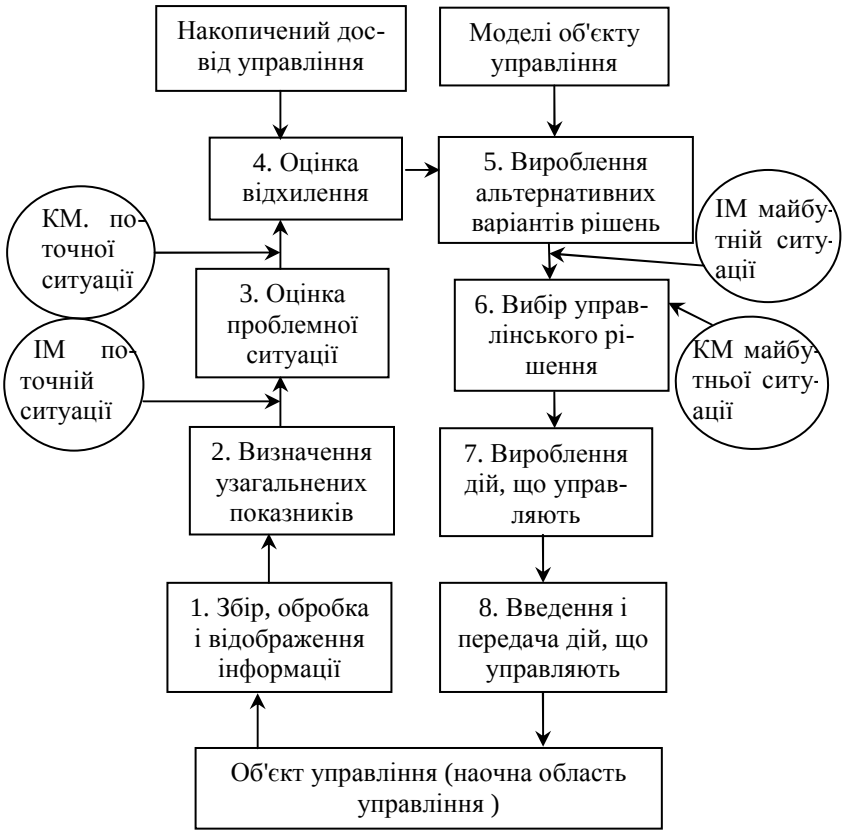


Рис. 3.5. - Кібернетична модель управління об'єктом

Зі схеми видно, що можливо різні рівні автоматизації процесу управління від повністю автоматизованої технології управління, коли функції людини обмежуються тільки установкою нових критеріїв якості управління (їхніх чисельних значень) й спостереженням за правильністю функціонування, до практично неавтоматизованої системи, коли весь процес (від спостереження за поводженням об'єкта до вироблення управляючого впливу) здійснюється людиною, хоча й з можливим використанням засобів технічної й програмної підтримки його діяльності. Всі проміжні етапи автоматизації (переклад тих або інших етапів процесу управління, або окремих операцій на апаратно-програмним комплексом АСУ) являють собою автоматизовані інформаційні технології управління з тим або ін-

шим ступенем автоматизації.

Включення людини в контур управління вимагає рішення питань, пов'язаних з організацією взаємодії людини з технічними засобами АСУ, викликає необхідність розробки інтерфейсу взаємодії з використанням засобів і методів ергономіки.

Розглянута кібернетична модель управління (функціонування АСУ) дозволяє вирішити багато питань дослідження й розробки АСУ, При цьому використаються різні принципи кібернетичного підходу до побудови АСУ, Найбільш загальними є наступні принципи: зворотного зв'язку, сумісності, координації, розвитку, ефективності, послідовного зняття невизначеності й інших.

Складовою частиною кібернетичного підходу до побудови АСУ вважається ***інформаційний підхід***, що дозволяє акцентувати увагу на комунікативній і управлінській функціях інформації й дати уяву про організацію системи управління за рахунок виділення інформаційних процесів і потоків інформації, що циркулюють у системі в ході одержання, обробки, зберігання й реалізації інформації про зовнішнє середовище й самої АСУ, які забезпечують цілеспрямоване її поводження.

В інформаційному підході при розгляді питань, пов'язаних з добуванням (одержанням) інформації людиною або машиною, розрізняють:

- ***синтаксичний підхід***, спрямований на структурний аналіз інформації;
- ***семантичний (змістовний) підхід***, у рамках якого аналізується значеннєвий зміст інформації;
- ***прагматичний (корисний) підхід***, у якому оцінюється корисність і цінність інформації, яка одержується.

Подібні підходи розвиваються в рамках семіотики - науки про знакові вираження, що включає як складові частини розділи синтактики, семантики й прагматики.

3.3. Ергатичний підхід до побудови АСУ

Теорія ергатичних систем, що займається питаннями структур АСУ і узгодження їх з можливостями людини, вирішує в основному задачі, що відносяться до кібернетичних аспектів ергономіки. ***Ергономіка*** - наукова дисципліна, що вивчає функціональні можливості людини в трудових процесах та виявляє закономірності створення оптимальних умов для високопродуктивної праці і забезпечення необхідних зручностей, сприяючих розвитку здібностей працівника. Визначимо також поняття ***ергатичної системи*** – це складна система управління, складовим елементом якої є людина – оператор або група операторів. Отже, необхідність використання

принципу ергатичності при побудові АСУ обумовлена вимогою органічного об'єднання людини з технічними елементами в цілісну функціонально єдину систему.

Очевидно, що людина-оператор є замикаючою ланкою системи управління, тобто суб'єктом управління, а АПК (апаратно-програмний комплекс) АСУ є інструментальним засобом реалізації його управлінської (оперативної) діяльності, тобто об'єктом управління. За визначенням професора В.Ф.Венди, АСУ являє собою гібридний інтелект, у якому оперативний (управлінський) склад і АПК АСУ є рівноправними партнерами при рішенні складних завдань управління.

3.3.1. Використання ергатичного підходу до побудови АСУ

Необхідність використання ергатичного підходу до побудови АСУ обумовлена наступними причинами:

1) в контурі управління об'єктом включена людина, тому ефективність застосування АСУ залежить від ступеня узгодження «психофізіологічних, антропометричних, біомеханічних і інших характеристик людини з технічним середовищем у процесі обробки й реалізацій інформації;

2) удосконалювання автоматизованого управління об'єктами можливо при подальшому впровадженні штучного інтелекту в технічних і програмних засобах АСУ, за рахунок адекватної імітації функцій мозку й аналізаторів (зорового, слухового й інших) людини, необхідних для прийняття ефективного рішення за управлінням.

Із зазначених причин випливає вимога органічного об'єднання людини з технічними елементами в функціонально єдину ергатичну систему.

Даний підхід вимагає фактично сумісності людини й АСУ на рівні тих принципів і властивостей, які виробилися у живих організмів і людини в процесі багатовікової еволюції. Мета ергатичного підходу складається в перекладанні цих принципів на системні поняття теорії управління.

Особливості вибору структур АСУ і її елементів полягає в тому, що будь-яка автоматизована система поєднує різнорідні за фізичними властивостях елементи - людини й технічні засоби, (живе й штучне). Дане положення вимагає наявності в загальному критерії якості АСУ двох систем часткових критеріїв - системних, що відбивають технічний аспект синтезу структур АСУ, і психофізіологічних, що відбивають особливості функціональної взаємодії людини й машини. Зневага кожної із цих груп критеріїв спричиняє зниження потенційних функціональних можливостей принципово закладених в ***I , A, P,*** і ***T*** - структурах АСУ.

Включення людини в контур управління об'єктом у системі людина-

машина, як показано на рис.3.6, вимагає розгляду характеристики людини з погляду використання її як елемента системи, що працює разом з технічними засобами.

Засоби відображення інформації системи дозволяють представити в поточний момент часу необхідну інформацію про стан зовнішнього середовища й АСУ у вигляді інформаційної моделі, яка характеризується вектором параметрів $\boldsymbol{X_1}$. Склад, обсяг і темп пред'явлення інформації у векторі $\boldsymbol{X_2}$ залежить від психофізіологічних можливостей людини (перцептивних, когнітивних, сенсорно-моторних). Якщо реальний процес управління протікає в інтервалі часу, порівнянному із граничними часовими можливостями людини за переробкою інформації, то частина інформації, необхідної для виробки управляючих впливів, обробляється автоматично без участі людини й утримується у векторі $\boldsymbol{X_2}$. Тому склад і характер управляючих (коригуючих) впливів, здійснюваних людиною (вектор $\boldsymbol{P}$), визначається часом протікання процесу управління й можливостей людини й залежить від вимоги (3.3). Вектори $\boldsymbol{U}$ і $\boldsymbol{X}$ мають той же зміст, що й на рис.1.1. Крім того, АСУ має засоби управління, на які впливає людина, цілеспрямовано змінюючи стан системи. Відповідно органи почуттів людини дозволяють сприймати інформацію про зовнішнє середовище й стан АСУ. На основі інформаційної моделі й необхідних образів, що витягаються, з пам'яті в процесі мислення, під час підготовки до прийняття рішення людина формує образно-концептуальну модель, що є основою для прийнятих рішення за управлінням об'єктами АСУ.

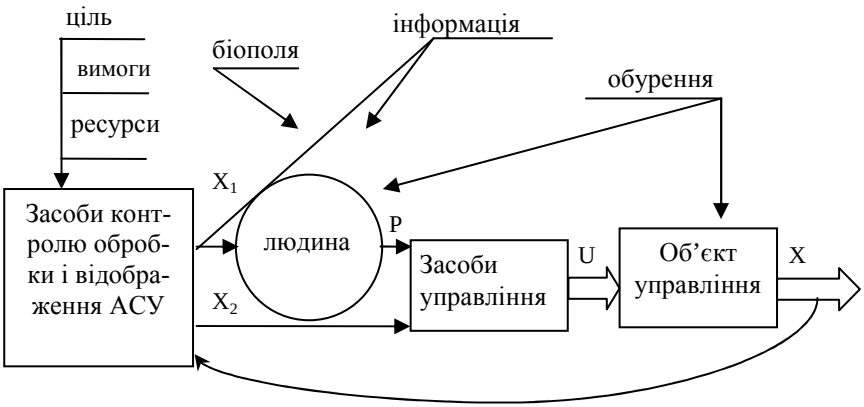


Рис. 3.6. - Структура системи «людина-машина»

Розробка високоефективних АСУ вимагає всебічного й глибокого вивчення можливостей людини й, зокрема, дослідження сутності, властивостей, а також фізіологічних і психологічних засобів зв'язку людини з технічними засобами.

Традиційними напрямками теорії ергатичних систем є:

- наукова організація праці, що базується на інженерній психології, фізіології праці й т.п.;
- оцінювання надійності, точності й стабільності роботи людини-оператора;
- дослідження впливу психічної напруженості, втоми, емоційних факторів і особливостей нервово-психічної діяльності людини-оператора;
- естетичне оформлення знарядь праці (засобів відображення й органів управління);
- промислова соціологія.

Зауваження. Зазначені напрямки вирішують важливу, але лише особисту проблему побудови АСУ, що фактично пов'язана з питаннями оптимізації трудової діяльності людини в певних умовах функціонування системи при управлінні об'єктами різних типів. Таким чином, теорія ергатичних систем, що займається питаннями структур АСУ й узгодження їх з можливостями людини, вирішує в основному завдання, які відносяться до кібернетичних аспектів ергономіки.

Необхідно відзначити, що навіть при повній заміні контролерів-спостерігачів і виконавців автоматичними пристроями діяльність людини в АСУ залишається дуже напруженою і відповідальною. Вона повинна постійно знаходитися в робочій зоні операторського пункту (диспетчерській) і взаємодіяти з різними інформаційними і командними пристроями. Сприймаючи інформацію, що поступає з вимірювальних приладів, мнемосхеми, дисплеїв і інших пристроїв, людина зобов'язана безпомилково аналізувати її, своєчасно приймати рішення за управлінням і виконувати їх за допомогою різного роду командних пристроїв (кнопок, перемикачів, клавіатури).

Характеристики людини - оператора як ланки системи "людина-машина"

Людина може працювати в режимі прийому-передачі, тобто сприймати сигнали від іншої людини або устаткування й передавати їх іншим людям або машинам. Діапазон функціонування людини за кожним з видів сигналів (світлових, звукових) лежить в порівняно вузьких межах. При передачі сигналів людині доводиться уникати навіть часткового їх перекриття. Діапазон чутливості у звуковій області 16-20000 Гц, а в області еле-

ктромагнітного спектру 4000-7000А. Здатність сприймати послідовність сигналів - до 10 сигналів у секунду. Але пропускна спроможність людини легко вичерпується. Чутливість людини (зір і слух) близька до теоретичних можливостей фізичної системи. Мінімальна потужність звуку, що викликає реакцію людини, складає $1 \cdot 10^{-17}$ Вт. Це лише трохи перевищує енергію, що звільняється від зіткнення молекул повітря при їхньому хаотичному броунівському русі. Найгучніший звук, яка людина може сприймати без шкоди для собі, несе енергію в 10^{10} разів більшу. Око реагує на такі малі кількості енергії, як 4 - 5 квантів, а щонайбільша сприймана інтенсивність світла більше в 10^8 разів.

Середня швидкість виконання простих операцій навіть без попереднього тренування складає близько 2 рухів в секунду. Загальне запізнювання в передачі інформації людиною залежно від умов може досягти 1-1,5 секунди і більш. Таким чином, процес створення АСУ вимагає обліку особливостей, що полягають в тому, що більшою мірою технічні, інформаційні і програмні засоби АСУ потрібно конструювати "під людину" а не навпаки.

Людина як ланка переробки інформації, природно, поступається за швидкодією засобам обчислювальної техніки. Але в той же час він може виконувати недоступні обчислювальним машинам операції: швидке орієнтування при неповній інформації про події, рішення задач евристичними методами і т.п. Людина може сприймати потоки інформації, значно перевищуючі його можливості за її переробкою, і відбирати з неї головну, основну для собі в даний момент інформацію й обробляти саме її. Тому людина є необхідним учасником складних і високоорганізованих систем управління. Людина може приймати рішення, що засновані на минулому досвіді, на характері зорових або слухових сигналів. Може вирішувати проблеми методом логічної індукції, чого поки не можуть комп'ютери. Швидкість обробки інформації (пропускна спроможність головного мозку) 3 - 50 біт у секунду. Максимальна швидкість видачі інформації до 40 біт у секунду. Жоден комп'ютер не може порівнятися з людиною у виконанні якісних нечислових розрахунків, у відновленні в пам'яті узагальнених образів минулого досвіду для вирішення виникаючих проблем.

За надійністю людина формально також значно поступається технічним засобам. Проте, із-за ряду істотних переваг перед технічними пристроями (можливість контролю обстановки своїми органами почуття, прогнозування подій, здібність до навчання і аналізу, висока адоптація до зміни умов і ін.) робота людини в системі управління корінним чином покращує її надійність.

Найважливішою складовою діяльності оператора за управлінням є прийом інформації про об'єкт управління. Основними психічними проце-

сами, що беруть участь у прийомі інформації, є відчуття, сприйняття, подання й мислення. Аналіз цих процесів, розкриття їхньої природи й закономірностей необхідні для рішення завдання раціональної побудови інформаційної моделі реальної обстановки.

Прийом інформації людиною-оператором необхідно розглядати як процес формування перцептивного (почуттєвого) образа, під яким розуміється суб'єктивне відбиття у свідомості людини властивостей діючого на нього об'єкта.

Інформація, що представляє на засобах відображення, через рецептори (органи почуттів) людини надходить у центральну нервову систему. На основі сприйняття інформаційної моделі у свідомості оператора формується концептуальна модель (англ. concept - поняття, подання).

Концептуальна модель порівнюється з деяким еталоном, що зберігається в пам'яті оператора, який відбиває необхідний стан об'єкта управління. На основі порівняння сформованого оперативного образа з еталоном оператор приймає рішення щодо управління об'єктом. Прийняте рішення реалізується органами руху або мови, з їхньою допомогою здійснюється вплив на органи управління. У результаті дії управляючого впливу відбувається необхідне перетворення стану об'єкта управління. На цьому закінчується ***цикл управління***, під яким розуміється проміжок часу від моменту зміни стану об'єкта, що управляється до моменту перекладу його в нове (необхідне) стан. Загальна схема прийому й перетворення інформації людиною в системі людина-машина в управляючі впливи показана на рис.3.7.

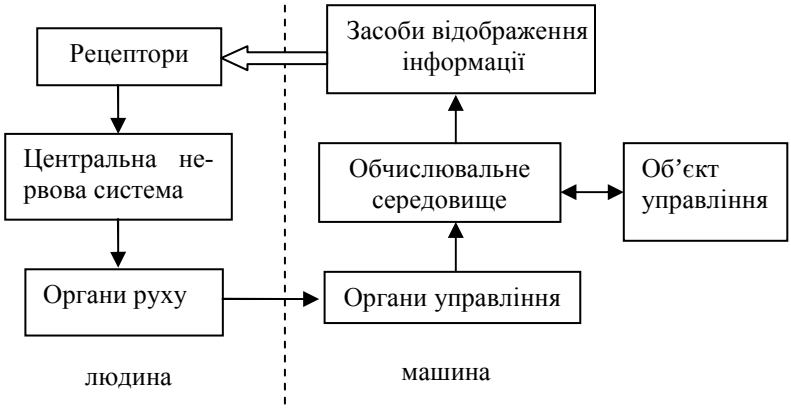


Рис. 3.7 - Тракт проходження інформації в системі «людина-машина»

Розглянемо основні психічні процеси, що протікають у ході прийому

інформації оператором.

Відчуття є початковим етапом усякого пізнання. ***Відчуттям*** називається найпростіший процес, що полягає у відбитті окремих властивостей або явищ матеріального світу, а також внутрішніх станів організму при безпосередньому впливі подразників на відповідні рецептори. Існують відчуття кілька видів: зорові, слухові, шкірні, нюхові, смакові й ін.

Сприйняття являє собою процес відбиття у свідомості людини предметів або явищ при їхньому безпосередньому впливі на органи почуттів, у ході якого відбувається впорядкування й об'єднання окремих відчуттів у цілісні образи предметів і подій.

Сприйняття становить основу процесу прийому інформації й характеризується такими властивостями, як цілісність, свідомість, вибірковість, константність. Перераховані властивості формуються в процесі становлення перцептивного образа.

Фізіологічною основою формування перцептивного образа є робота аналізаторів. ***Аналізаторами*** називаються нервові "прилади", за допомогою яких людина здійснює аналіз роздратувань. Любою аналізатор складається із трьох основних частин (рис.3.8): рецептора, нервових зв’язків і центра в корі більших півкуль головного мозку.

Основною функцією рецептора є перетворення енергії діючого подразника в нервовий процес. Вхід рецептора пристосований до прийому сигналів певної модальності (виду) - світлових, звукових і інших.

Найбільше значення для діяльності оператора має зоровий аналізатор, за ним слідують слуховий і тактильний (дотикальний) аналізатори.

Основними характеристиками будь-якого аналізатора є пороги - абсолютний (верхній і нижній), диференціальний і оперативний. Поняття кожного із цих порогів може бути введене стосовно енергетичних (інтенсивність), просторових (розмір) і часових (тривалість впливу) характеристик сигналу.

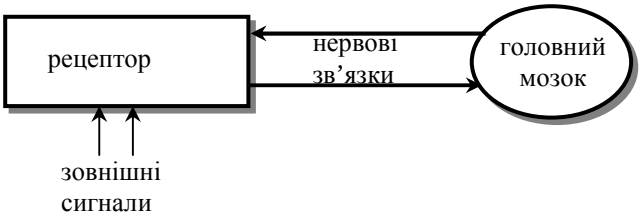


Рис. 3.8. - Функціональна схема аналізатора

Мінімальна величина подразника, що викликає тільки-но помітне ві-

дчуття, зветься нижнім абсолютним порогом чутливості, а максимально припустима величина - називається верхнім порогом чутливості (це поняття вводиться за відношенням лише до енергетичних характеристик).

За допомогою аналізаторів людина може не тільки відчувати той або інший сигнал, але й розрізняти сигнали.

Для характеристики розрізнення вводиться поняття ***диференційного порога*** (лат. differentia - розрізняти), під яким розуміється мінімальне розходження між двома подразниками (сигналами) або між двома станами одного подразника, що викликають тільки-но помітне розходження відчуттів. Експериментально встановлено, що величина диференціального порога пропорційна вихідній величині подразника:

$$\frac{dI}{I} = K = const\,, \qquad (3.4)$$

де I - вихідна величина сигналу (подразника);

d - величина диференціального порога;

K - константа, яка дорівнює 0,0.1 для зорового аналізатора, 0,10 - для слухового й 0,30 для тактильного.

На підставі вираження (3.4) може бути встановлена залежність між величиною сигналу й величиною викликаного їм відчуття:

$$S = k\,lnI + C\,, \qquad (3.5)$$

де S - величина відчуття;

k і C – константи.

Залежність зветься основним психофізіологічним законом, або ***законом Вебера-Фехнера.*** Відповідно до цього закону, інтенсивність відчуття прямо пропорційна логарифму сили подразника. Закон справедливий тільки для середньої ділянки діапазону чутливості аналізатора.

Розглянемо основні принципи ергатичного підходу до побудови АСУ.

Загальний принцип вимагає, щоб при синтезі АСУ в першу чергу були враховані основні принципи, що надають системі наступні властивості: активність, функціональний і технологічний гомеостазис; автономність; стаціонарність; найменша взаємодія; сумісність; раціональність.

Під гомеостазисом розуміється властивість організму підтримувати свої параметри й фізіологічні функції в певному діапазоні, що засноване на стійкості внутрішнього середовища організму за відношенням до обурюючої дії зовнішнього середовища. Він властивий як природним, так і штучним системам і, зокрема, АСУ.

Основні принципи, побудови ергатичних систем.

1. ***Принцип активності*** ергатичних систем. Він полягає в тому, що ергатична система (ЕС) повинна бути активною. Цей принцип вважається головним, тому що відбиває властивість живого організму робити акти й рухи, що не належать до класу актів і рухів типу стимул-реакція. Властивість активності визначає властивість системи бути багатоцільовою у змісті можливості досягнення будь-якої мети з деякого набору цілей S_j. Індекс j належить деякій множині I, тобто $j \in I$. Тому при розробці АСУ повинна бути визначена множина цілей S_j, здійснення яких пропонується системі, що створюється.

2. ***Принцип функціонального гомеостазиса***. Відповідно до даного принципу ЕС повинна забезпечити стабільність (у певних межах) свого функціонального поводження при рішенні кожної зі своїх часткових або загальних завдань.

3. ***Принцип технологічного гомеостазиса*** являє собою часткове формулювання принципу 2. Цей принцип припускає, що ЕС повинна підтримувати свої істотні змінні в припустимих межах.

4. ***Принцип автономності*** ергатичних систем. Відповідно до даного принципу макропроцес функціонування багатомірної ергатичної системи повинен бути утворений із сукупності автономних мікропроцесів функціонування автономних підсистем.

Принцип автономності відіграє найважливішу роль при синтезі ***I, A , P, T*** - структур АСУ, відповідно до яких створюються автономні пункти обробки інформації, алгоритми й програмні модулі рішення функціональних завдань, підсистеми й комплекси технічних засобів, за допомогою яких реалізують окремі функції АСУ.

5. ***Принцип стаціонарності*** в ергатичній системі говорить, що ЕС повинна забезпечити людині стаціонарність її функціонального поводження (у процесі реалізації функції ергатичної системи) при рішенні будь-якого конкретного завдання з урахуванням психофізіологічних і інших можливостей людини.

Такі властивості ергатичних систем як живучість, завадостійкість і т.п., що випливають як із принципу стаціонарності, так і принципу автономності, є наслідком дії принципу найменшої взаємодії, тобто наслідком еволюційного процесу реорганізації управляючого середовища (при видозміні об'єкта управління) з метою успішного виконання поставленого перед всією системою завдання.

Зміст принципу стаціонарності полягає в наступному. Нехай якимось чином за невідомих причин видозмінився об'єкт управління, отже, міняються й характеристики середовища управління. Тоді, для успішного ви-

конанням всієї ЕС поставленого перед нею завдання людина повинна змінити характер своєї діяльності, пристосуватися (переучитися) до нових властивостей середовища управління, тобто в підсумку змінити своє функціональне поводження.

6. ***Принцип найменшої взаємодії***. Він припускає, що ергатична система повинна забезпечити максимальний або заданий рівень ефективності функціонування системи при мінімальній дії людини усередині системи.

Однієї з характеристик дії людини в системі служить характеристика напруженості роботи, обумовлена, наприклад, за узагальненою робочою характеристикою

7. ***Принцип функціональної сумісності*** людини з ергатичною цілеспрямованою системою. Цей принцип припускає, що функціональні можливості людини в замкнутої ЕС повинні допускати цілеспрямовані дії всієї системи.

9. Принцип цільової сумісності передбачає, що мета людини й мета всієї ергатичної системи, що включає й сукупність людей-операторів (наприклад, АСУ), повинні бути несуперечливі.

Принцип сумісності першого роду передбачає, що критерій якості, який визначає функціональне поводження людини, що перебуває усередині цілеспрямованої ергатичної системи, і функціональне поводження самої системи, повинні збігатися.

Принцип сумісності другого роду передбачає, що критерій якості, який визначає функціональне поводження людини в ергатичній системі, повинен бути, частиною загального критерію якості, що визначає функціональне поводження всієї системи.

Перераховані особисті принципи виражають лише необхідні умови, при виконанні яких можна чекати функціональної сумісності людини із цілеспрямованою системою. Достатні умови сумісності людини з технічним середовищем ЕС містяться в обліку функціональних можливостей людини, які в загальній формі виражаються через так звану ***узагальнену робочу характеристику*** (УРХ) людини-оператора. За визначенням, УРХ відбиває функціональний зв'язок між часом τ існування квазистійкого функціонального стану людини з складом операторської діяльності, що визначена в системних термінах, які зв'язуються з конкретними типами засобів відображення інформації і з конкретними типами об'єктів управління; ефективності функціонування системи при мінімальній дії людини усередині системи.

10. ***Принцип раціональності ЕС***. Він затверджує, що з декількох ергатичних систем, призначених для рішення одного класу завдань, кращою є та, котра за інших рівних умов має більші можливості до існування в агресивному середовищі.

Принцип раціональності відбиває чинність закону природного відбору життєздатних систем. При цьому область можливого прояву активності ергатичних систем, яка отримана при довільній протидії середовища, є найбільш повним відображенням можливостей системи протидіяти агресивному середовищу й боротися за своє існування.

Реалізація даних принципів в ***F*** , ***O*** , ***I*** , ***A*** , ***P*** , ***T*** і ***Д*** - структурах, що забезпечують функціональну органічну єдність, з одного боку, і вимагаєму технічними умовами ефективність функціонування АСУ, з іншого боку, вирішується в рамках ергатичного підходу системними засобами теорії управління. Зазначене дозволяє затверджувати, що ергатичний і кібернетичний підходи до побудови АСУ необхідно застосовувати комплексно й у єдності. Зв'язати обидва підходи в єдине ціле дозволяє системний підхід до побудови АСУ, що займає серед них провідну й інтегруючу роль.

3.3.2. Організація взаємодії людини та технічних засобів

При розгляді питань ефективного застосування творчих можливостей людини як головної ланки системи управління перш за все виникає завдання оптимального розподілу функцій між людиною і машиною.

На автоматичні пристрої АСУ покладаються, перш за все, дії, що повторюються, рутинні, пов'язані з досягненням простих цілей управління, таких як регулювання технологічних параметрів на заданому рівні або за заданою програмою, автоматичний захист заформалізованих алгоритмах. Із зростанням можливостей машин і ступеня вивчення технологічних процесів на автомати покладаються складніші, майже "творчі" дії, пов'язані з оптимізацією технологічного процесу на тих або інших стадіях його протікання (обчислення техніко - економічних показників, розрахунок оптимальних траєкторій в перехідних режимах і інші функції, що піддаються формалізації).

На людину в цих системах покладаються функції, які або поки взагалі не можна доручати автоматам (немає формалізованого опису функції, немає апаратури, здатної її виконати), або автоматичне виконання яких поки не виправдане економічно. Крім того, людина завжди виконує функцію резерву на випадок відмови автоматів.

Взаємодія людини і техніка може бути організована по-різному залежно від завдань, поставлених перед системою, можливостей вибраних апаратурних засобів і ролі, покладеної на людину в даній системі управління. За ***роллю, покладеною на людину,*** всі АСУ умовно можна розділити таким чином:

1) системи, в яких людина-оператор, здійснюючи функції управління, є в той же час виконавчим елементом і навіть джерелом енергії, що

безпосередньо впливає на технологічне устаткування об'єкту;

2) системи, в яких людина-оператор управляє зовнішніми джерелами енергії, добиваючись оптимального функціонування об'єкту, тут існує істотна залежність між інтенсивністю результуючої дії джерела енергії на процес від ступеня дії людини, що управляє;

3) системи автоматичного управління, що виконують функції управління відповідно до деякого наперед заданого закону функціонування; людині відводиться роль ланки, що здійснює спостереження за ходом процесу і що вводить коректуючи дії;

4) системи, в яких людина-оператор, окрім виконання функцій спостереження за поведінкою систем, вводить в неї необхідну інформацію.

Всі реальні АСУ, як правило, є комбінації систем розглянутих видів.

За ***способом представлення інформації для сприйняття*** її людиною системи управління умовно діляться таким чином:

1) у яких інформація видається людині в абстрактній формі (у вигляді цифр, формул, показань стрілочних контрольно-вимірювальних приладів і т. п.);

2) у яких інформація відтворюється в графічній формі (у вигляді графічних функціональних залежностей, діаграм на реєструючих приладах і т. п.);

3) з представленням інформації в образотворчій формі (у вигляді мнемосхем, схем територіального розташування і т. п.);

4) у яких інформація видається у вигляді буквено-цифрових позначень, текстів (на світлових табло, електронно-променевих трубках, стрічках автоматичних друкуючих пристроїв і т. д.).

Відмітимо, що в більшості реальних АСУ використовують не одну, а дві-три або навіть всі чотири форми представлення інформації людині.

Загальна ефективність функціонування АСУ, на приклад виробництвом, як відомо, залежить від досконалості технологічного устаткування і системи автоматизації, рівня професійної майстерності оператора, взаємної пристосованості людини і машини як ланок єдиної системи управління. Останнє означає, зокрема, що інформацію про стан управляємого об'єкту слід представляти оператору в такій формі, яка якнайповніше відповідає закономірностям сприйняття і подальшої переробки її людиною. У зв'язку з цим конструювання засобів представлення інформації на основі тільки технічних передумов не може забезпечити надійної і високоефективної роботи оператора. Тут необхідне залучення даних інженерної психології, ергономіки, фізіології, гігієни. Важливе значення має також застосування спеціальних методів художнього конструювання і технічної естетики.

Людину в АСУ найчастіше називають оператором або диспетчером.

Людина може бути диспетчером за відношенням до підлеглого йому оператора і, у свою чергу, оператором за відношенням до вищестоящого диспетчера. Зазвичай вважають, що ***оператор*** управляє технологічним процесом безпосередньо або за допомогою спеціальних засобів. В той же час ***диспетчер*** за допомогою своїх технічних засобів і через інших людей направляє хід такого виробництва, впливаючи на нього побічно, наприклад, шляхом оперативного перерозподілу ресурсів, завдань і т.п.

Проектування операторських і диспетчерських пунктів АСУ вимагає комплексного розгляду всіх чинників, що впливають на людину в процесі її діяльності, всіх елементів і характеристик систем. Раціональна організація праці операторів АСУ є одним з найважливіших факторів, що визначають ефективне функціонування системи в цілому. У переважній більшості випадків управлінська праця - опосередкована діяльність людини, оскільки в умовах АСУ він веде управління, «не бачачи» реального об'єкту. Між реальним об'єктом управління й людиною-оператором перебуває ***інформаційна модель об'єкта*** (засобу відображення інформації). Тому виникає проблема проектування не тільки засобів відображення інформації, але й засобів взаємодії людини-оператора з технічними засобами АСУ.

За важливістю сигнали, що виникають в АСУ, можна розбити на наступні групи: аварійні; важливі технологічні відхилення; інші технологічні відхилення; пониження техніко-економічних показників. Подача інформації операторові винна ураховувати важливість сигналів. Це може бути забезпечено різними способами:

- часовою затримкою другорядних сигналів у буферному накопичувачі за наявності більш важливих сигналів;
- територіальним розділенням сигналів за важливістю;
- придушенням другорядних сигналів більш інтенсивними важливими сигналами.

Для оптимального розподілу функцій між людиною-оператором і АПК необхідно враховувати наступних показників.

Показники, за якими людина перевершує комп'ютер:

- виявлення корисних сигналів з низьким енергетичним рівнем;
- чутливість до широкого діапазону стимулів;
- розпізнавання образів і їхнє узагальнення;
- виявлення сигналів при високих рівнях шумів;
- здатність з великих обсягів інформації згадувати корисні відомості в потрібний момент;
- здатність судити про події при неповній інформації;
- використання евристичних методів розв'язання завдань;
- здатність кваліфіковано реагувати на непередбачені й маловірогідні події;

- проявляння оригінальності в розв'язанні проблем;
- здатність ураховувати минулий досвід і змінювати спосіб дії;
- здатність продовжувати дії в умовах перевантаження.

Показники, за якими комп'ютер перевершує людину:

- точне виконання одноманітних операцій протягом довгого часу;
- здатність швидко реагувати на управляючі сигнали;
- зберігання й використання великих і надвеликих (відносно можливостей людини) обсягів інформації;
- виконання складних обчислень з великою швидкістю й точністю;
- чутливість до впливів, що лежать за межами чутливості людини (інфрачервоне випромінювання, висока температура та ін.)**;**
- одночасне виконання різноманітних дій;
- дія в умовах, шкідливих або взагалі нестерпних для людини.

Залежно від задачі оператор може виконувати наступні дії:

- перерахунок сигналів в інформаційному полі;
- пошук і виділення інформації за заданим еталоном або алгоритмом;
- виявлення змін в інформаційному полі;
- встановлення об'єктів до черги для обслуговування.

Інтерфейс взаємодії людини з технічними засобами АСУ складається з АПК і протоколів взаємодії. Апаратно-програмний комплекс забезпечує виконання функцій:

- перетворення даних, що циркулюють в АПК АСУ, в інформаційні моделі, які відображаються на моніторах (СВІ- системах відображення інформації);
- регенерація інформаційних моделей (ІМ);
- забезпечення діалогової взаємодії людини із ТЗ АСУ;
- перетворення впливів, що надходять від Л-О (людини-оператора), у дані, які використовуються системою управління;
- фізична реалізація протоколів взаємодії (узгодження форматів даних, контроль помилок і т.п.).

Призначення протоколів полягає в тому, щоб забезпечити механізм достовірної й надійної доставки повідомлень між людиною-оператором і СВІ, а отже, між Л-О й системою управління. ***Протокол*** - це правило, що визначає взаємодію, набір процедур обміну інформацією між процесами, що виконуються паралельно в реальному часі. Ці процеси (функціонування АПК АСУ й оперативна діяльність суб'єкта управління) характеризуються, по-перше, відсутністю фіксованих часових співвідношень між появою подій і, по-друге, відсутністю взаємозалежності між подіями й діями при їхньому появленні.

Функції протоколу пов'язані з обміном повідомленнями між цими процесами. Формат і зміст цих повідомлень утворюють логічні характеристики протоколу. Правила виконання процедур визначають ті дії, які виконують процеси, що спільно беруть участь у реалізації даного протоколу. Набір цих правил є процедурною характеристикою протоколу. Використовуючи ці поняття, ми можемо тепер формально визначити протокол як сукупність логічних і процедурних характеристик механізму зв'язку між процесами. Логічне визначення становить синтаксис, а процедурне - семантику протоколу.

Генерування зображення за допомогою АПК дозволяє одержувати не тільки двовимірні спроектовані на площину зображення, але й реалізувати картинну тривимірну графіку з передачею текстури поверхні зображення.

Залежно від виду відтвореного зображення варто виділити вимоги до алфавіту ІМ. Використовуваний алфавіт характеризує тип моделі, її зображальні можливості. Він визначається класом розв'язуваних завдань, задається числом і типом знаків, кількістю градацій яскравості, орієнтацією символів, частотою мерехтіння зображення й ін. Алфавіт повинен забезпечувати побудову будь-яких інформаційних моделей у межах відображуваного класу. Необхідно також прагнути до зменшення надмірності алфавіту.

Способи формування знака класифікуються відповідно до використовуваних елементів зображення й діляться на моделюючі, синтезуючі й генеруючи. Виконання вимог адекватності, ізоморфізму, подібності просторово-часової структури об'єктів управління, що відображаються й навколишнього середовища визначає ефективність моделі.

Інформаційна модель включає велику кількість елементів і є для оператора джерелом інформації, на основі якої він формує образ реальної обстановки, як правило. З огляду на різний семантичний характер використовуваних елементів, інформаційну модель можна представити як сукупність взаємозалежних елементів.

Кількість груп елементів інформаційної моделі визначається ступенем деталізації опису станів і умов функціонування об'єкта управління. Як правило, елемент інформаційної моделі пов'язаний з яким-небудь параметром об'єкта управління. Інформаційна модель графічного типу може розглядатися як складне графічне зображення. Елементи інформаційної моделі тут виступають як елементи зображення.

При організації процесу переробки інформації в системах відображення будемо використовуються наступні поняття. ***Статична інформація*** - відносно стабільна за змістом інформація, використовувана як основа. Наприклад, координатна сітка, план, зображення місцевості й т.п. ***Динамічна інформація*** - інформація, змінна в певному інтервалі часу за змі-

стом або положенню на екрані. Реально динамічна інформація часто є функцією деяких випадкових параметрів. Такий розподіл вважається умовним.

Системи відображення інформації АСУ використають особливу область растрової графіки - синтез зображення в реальному часу. Основним показником, що характеризує подібні системи, є ***продуктивність,*** тобто кількість графічних примітивів, оброблюваних за час формування кадру. Підвищення продуктивності таких систем дає можливість відображати за час розкадрування більший обсяг інформації, що приведе до можливості рішення якісно нових завдань. Синтез зображення полягає у формуванні послідовності кадрів зображення в результаті виконання алгоритму візуалізації. Вихідними даними є параметри, що надходять в реальному часу.

Загальні принципи побудови систем відображення інформації в АСУ

Принципи компонування пристроїв відображення інформації:

- ***принцип функціональної організації*** - передбачає угрупування пристроїв за функціями управління, за технологічними операціями або технологічним устаткуванням;
- ***принцип значущості*** - передбачає угрупування й розташування елементів за їхньою важливістю для управління процесом;
- ***принцип розташування*** - передбачає розміщення приладів залежно від їхніх конструктивних особливостей і специфіки методів управління;
- ***принцип частоти використання*** – передбачає, що найбільш часто використовувана апаратура повинна розміщуватися ближче за всього й у зонах, найзручніших для сприйняття оператором;
- ***принцип послідовності й логіки дій*** – передбачає, що розміщення апаратури необхідно виконувати відповідно до порядку протікання процесу, який потребує автоматизації, або до послідовності дій оператора в процесі управління.

Принципи компонування мнемосхем і (або) сигнальної інформації на екранах моніторів:

- ***принцип лаконічності*** - передбачає обмеження елементів на мнемосхемі тільки найнеобхіднішими й достатніми для інформування оператора про стан об'єкта управління й вибору їм оптимального способу впливу на процес;
- ***принцип узагальнення й уніфікації*** - передбачає виключення з мнемосхеми всіх неістотних особливостей об'єкта й уніфікації мнемосхем одного класу і їхніх елементів;

- ***принцип автономності*** - передбачає розділення на мнемосхемі самостійно (автономно) управляємих вузлів і агрегатів;
- ***принцип акцентування*** - передбачає виділення формою, кольором, розмірами найістотніших елементів контролю й управління;
- ***принцип „просторової відповідності”*** - передбачає розташування елементів відображення інформації відповідно до реального розміщення елементів процесу, що відображуються;
- ***принцип використання звичних асоціацій*** - передбачає створення знаків, символів, звукових сигналів, що асоціюються з предметами, які відображуються, і явищами (за формою, звуком і т.п.)

Принципи забезпечення готовності (пильності) оператора

Проектувальник повинний забезпечити операторові або диспетчерові таке оточення, яке буде створювати мінімальну вірогідність зниження рівня готовності оператора до оперативних дій. Для цього рекомендується дотримуватися наступних принципів:

- оператор не повинен працювати в ізоляції від інших людей;
- навколишнє середовище повинне бути комфортним у частині шуму, температури, вологості, освітлення, вібрацій;
- зона появи сигналів повинна бути обмежена;
- сигнали повинні мати велику амплітуду за розмірами, інтенсивністю, тривалістю;
- у період довгої відсутності сигналів передбачаються штучні сигнали;
- там, де це можливо, повинні використовуватися попереджувальні сигнали;
- передбачаються засоби, підтверджуючі виявлення сигналів оператором, і що забезпечують йому впевненість у правильному виявленні сигналу або його відсутності;
- якщо можливо, сигнали повинні діяти до тих пір, поки їх не виявить оператор;
- затемнення в приміщенні, де потрібна від оператора висока пильність, не створюється;
- не припускається постійна дія монотонних подразників, що заколисують оператора;
- не припускається тривалість безперервної операції, що вимагає від оператора високої пильності більше 30 хвилин, у цьому випадку необхідно передбачати невелику перерву.

Основним завданням ергономічного забезпечення є оптимізація взаємодії між людиною й машиною не тільки в період експлуатації, але й при виготовленні, і при утилізації технічних компонентів. При систематизації

підходу до проектування інтерфейсу користувача, можна виділити деякі основні функціональні завдання й принципи побудови АСУ, які повинна вирішувати система.

Завдання максимального взаєморозуміння - людина-оператор не повинна займатися пошуком інформації, інформація не повинна вимагати перекодування або додаткової інтерпретації користувачем.

Користувач повинен **запам'ятовувати як можна меншу кількість інформації**, тому що це знижує властивість людина-оператор приймати оперативні рішення.

Принцип мінімального робочого зусилля - людина-оператор повинна виконувати тільки ту роботу, що необхідна й не може бути виконана системою, не повинне бути повторень уже зробленої роботи й т.п.

Принцип максимальної концентрації людини-оператора на розв'язування завдання й локалізації повідомлень про помилки.

Принцип обліку професійних навичок людини-оператора. Це значить, що при розробці системи, формуванні концептуальної моделі взаємодії людини й технічних засобів АСУ для людського контингенту визначається рівень усвідомлення й оволодіння алгоритмами функціонування підсистеми «людина - технічний засіб» і оволодіння професійними навичками взаємодії з ЕОМ.

3.4. Питання до розділу 3

1. Дайте визначення поняттю системний підхід.
2. Наведіть основні ознаки системи.
3. Наведіть компоненти системного аналізу.
4. Наведіть перелік процедур системного аналізу автоматизованої системи.
5. Наведіть принципи системного підходу.
6. Наведіть аспекти системного аналізу.
7. Дайте визначення поняттю функціональний підхід до побудови АСУ.
8. Дайте визначення поняттю комплексний підхід до побудови АСУ.
9. Дайте визначення поняттю структурно-функціональний підхід до побудови АСУ.
10. Наведіть принципові особливості АСУ, які необхідно враховувати у ході розробки і впровадження будь-якої нової технічної системи.
11. Дайте визначення поняттю кібернетичний підхід до побудови АСУ.
12. Наведіть і дайте характеристику основним функціям управління.
13. Наведіть основні атрибути управління.

14. Дайте визначення і характеристику поняттю інтелектуальний інтерфейс.

15. Дайте визначення і характеристику поняттю нова інформаційна технологія.

16. Наведіть і дайте характеристику кібернетичної моделі управління об'єктом.

17. Дайте визначення і характеристику поняттю інформаційний підхід до побудови АСУ.

18. Дайте визначення поняття ергономіка.

19. Дайте визначення поняттю ергатичний підхід до побудови АСУ.

20. Дайте визначення поняттю ергатична система.

21. Якими чинниками викликана необхідність використання ергатичного підходу до побудови АСУ.

22. Наведіть і дайте характеристику структури ергатичної системи.

23. Дайте характеристику можливостей людини - оператора як ланки системи людина-машина.

24. Наведіть загальну схему прийому й перетворення інформації людиною в системі людина-машина.

25. Дайте визначення поняття диференційного порогу.

26. Сформулюйте основний психофізіологічний закон.

27. Дайте визначення поняття гомеостазис.

28. Наведіть і дайте характеристику основним принципам, побудови ергатичних систем.

29. Наведіть класифікацію АСУ за роллю, покладеної на людину.

30. Наведіть класифікацію АСУ за способом представлення інформації для сприйняття її людиною.

31. Наведіть показники, за якими людина перевершує комп'ютер.

32. Наведіть показники, за якими комп'ютер перевершує людину.

33. Наведіть і дайте характеристику принципам компонування пристроїв відображення інформації.

Розділ 4

Склад і типова структура АСУ

Розглянуто склад і типову структуру АСУ. Наведено характеристику багаторівневих ієрархічних систем управління, а також принципи описання та аналізу інформаційних процесів в АСУ. Розглянуто технічне, інформаційне, математичне й програмне забезпечення, а також питання щодо основних рішень організаційного, методичного, лінгвістичного та правового забезпечення АСУ.

4.1. Склад і характеристика багаторівневих ієрархічних систем управління

Склад і функціональна структура будь-якою АСУ вибираються так, щоб система забезпечувала:

- управління технологічними об'єктами відповідно до прийнятого критерію функціонування;
- виконання всіх покладених на неї функцій відповідно до призначення і мети управління;
- необхідні показники і характеристики точності, надійності і швидкодії;
- ергономічні вимоги, що пред'являються до способів, форми надання інформації оператору, розміщення технічних засобів і т.п.;
- взаємозв'язане функціонування з системами управління суміжних рівнів ієрархії і іншими АСУ, тобто володіти властивістю технічної і інформаційної сумісності;
- можливість подальшої модернізації і розвитку.

Відповідно до викладених вимог до АСУ, прийнято вважати, що до складу будь-якої АСУ повинні входити наступні ***основні компоненти*** (рис. 4.1): оперативний персонал, інформаційне, організаційне, програмне і технічне забезпечення.

Відзначимо, що розробка програмного забезпечення проводиться на основі математичного забезпечення, яке в склад АСУ не входить.

Як було визначено раніше, процес функціонування АСУ за суттю є процесом цілеспрямованого перетворення вхідної інформації. У АСУ це

перетворення, що включає: збір обробку і аналіз вхідної інформації, прийняття рішення за управлінням і його реалізація. Ці дії виконуються спільно двома компонентами: оперативним персоналом і комплексом засобів автоматизації (КЗА).

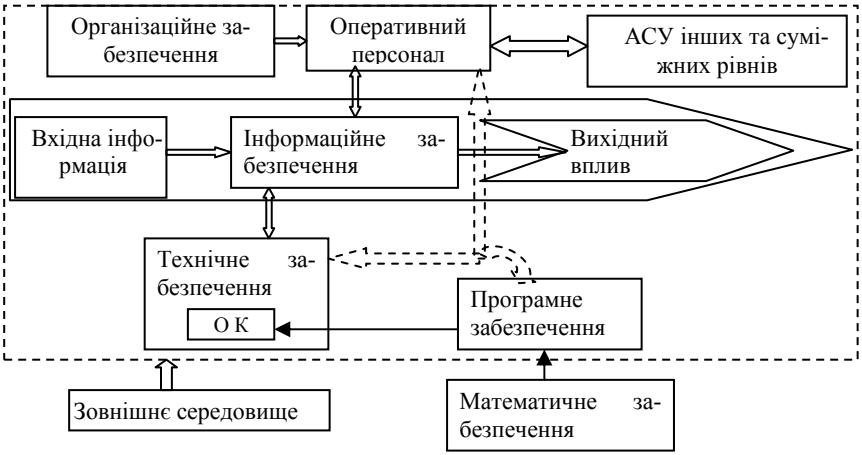


Рис. 4.1. Схема взаємодії основних компонентів АСУ.

У загальному випадку КЗА АСУ являє собою сукупність всіх компонентів АСУ, за винятком людей і об'єкта управління. Під компонентом АСУ розуміється виділена за певною ознакою або сукупністю ознак частина АСУ, що розглядається як єдине ціле.

У вузькому змісті КЗА АСУ є сукупність взаємозалежних компонентів і комплексів програмного, технічного й інформаційного забезпечення яка розроблюється і виготовляється як продукція науково-технічного й виробничо-технічного призначення, з необхідною експлуатаційною документацією. Проектні рішення за програмним, технічним й інформаційним забезпеченням реалізують у вигляді взаємозалежної сукупності компонентів і комплексів, що входять до складу АСУ. Проектні рішення заі ншим видам забезпечення входять до складу АСУ у якість організаційно-методичних і експлуатаційних документів або, реалізуються у компонентах програмного, технічного або інформаційного забезпечення.

При функціонуванні КЗА використаються наступні засоби: інформаційні, програмні, технічні, організаційні, методичні, лінгвістичні, математичні, метрологічні, ергономічні, правові й інші, склад яких визначається в процесі створення системи, як компоненти відповідних, однойменних

видів забезпечення АСУ.

Між всіма компонентами АСУ в процесі її функціонування відбувається інтенсивна взаємодія: організаційне і програмне забезпечення визначають поведінку і взаємодію оперативного персоналу і обчислювального комплексу. Крім того, персонал активно взаємодіє з технічним забезпеченням і при необхідності корегує програмне забезпечення. Всі ці взаємодії усередині системи, а також її взаємодія із зовнішнім середовищем носять, в основному, інформаційний характер, оскільки зводяться до передачі і прийому інформації у вигляді різних сигналів, даних, повідомлень і т.п.

Безліч прийнятих форм масивів даних, переліків і шкал використовуваних сигналів, кодів і правил їх розшифровки, утворює основний компонент АСУ, який зветься інформаційним забезпеченням. Важлива роль цього компоненту полягає в тому, що саме через нього, а точніше - з його допомогою здійснюються всі процеси обміну інформацією як всередині АСУ, так і із зовнішнім середовищем.

Оперативний персонал АСУ складається з технологів - операторів (диспетчерів), що здійснюють контроль і управління об'єктом, і експлуатаційного персоналу, що забезпечує правильність функціонування всіх технічних і програмних засобів системи.

Склад оперативного персоналу конкретної АСУ і встановлені взаємини між її працівниками визначають ***організаційну структуру системи***. Елементами такої структури є окремі посадовці - виробничі або адміністративні працівники, що здійснюють в тій чи іншій мірі управління даним технологічним об'єктом. Основні зв'язки між елементами організаційної структури відповідають відносинам оперативної підпорядкованості вказаних працівників. При необхідності на схемі організаційної структури відображають також територіальне розміщення оперативного персоналу АСУ і його взаємодія з персоналом інших систем і (або) рівнів управління.

Як було визначено у першій главі усяка система управління, у тому числі й АСУ, складається з об'єкта, що управляє (підсистеми, що управляє), і об'єкта управління, об'єднаних у порядку підпорядкованості в єдине ціле зв'язками (контурами управління) для досягнення цілей управління.

Структура АСУ являє собою сукупність і характер стійких зв'язків і відносин між частинами системи, що забезпечують її цілісність і тотожність самої собі. Структура характеризує внутрішню будову системи.

Найпростішою структурою АСУ вважається система, що складається з одного к об'єкту, що управляє й одного об'єкта управління. Більш складні структури створюються тоді, коли АСУ має у своєму складі за двох і

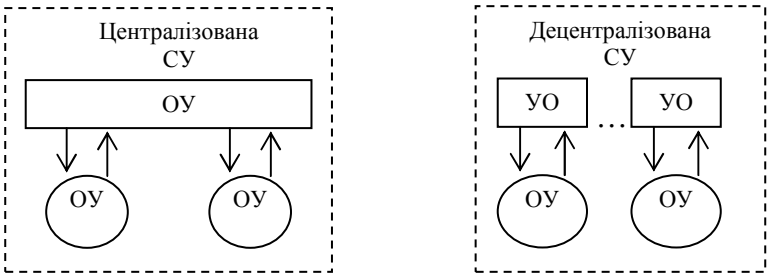
більше об'єкта управління й підсистем управління (підсистем, що виконують функцію прийняття рішень), Управління в таких системах може здійснюватися такими способами: децентралізованим; централізованим; змішаним.

Структури АСУ, що реалізують зазначені способи управління, називають децентралізованими, централізованими й ієрархічними відповідно.

При ***децентралізованому управлінні*** виробка управляючих впливів і їхня реалізація здійснюються окремими підсистемами, що виконують функцію прийняття рішень, незалежно друг від друга. Це сукупність самостійних підсистем з одноконтурним управлінням (рис.4.2,а.).

При ***централізованому управлінні*** виробка управляючих впливів здійснюється одним об'єктом, що управляє (УО), який виконує функцію прийняття рішень за управлінням двома й більше об'єктам (ОУ). Така система є багатоконтурна (рис. 4.2,б). Основні переваги й недоліки розглянутих систем викладені в табл. 4.1.

При ***змішаному способі управління*** об'єктами, тобто при сполученні децентралізованого й централізованого управління, створюються ієрархічні АСУ. ***Ієрархічна система управління*** - це централізована система управління, підсистема прийняття рішень якої розподілена за декількома підлеглими рівнями, кожний з яких виконує частину функції прийняття рішень.



а) б)

Рис. 4.2. - Системи управління: а) централізована, б) децентралізована

Змішаний принцип управління реалізується з використанням багаторівневих ієрархічних систем (рис.4.3), які мають наступні істотні особливості:

1) послідовне вертикальне розташування підсистем, що становлять дану систему, які реалізують функцію прийняття рішення за управлінням

об'єктами;

2) пріоритет дій або право втручання підсистем верхнього рівня в діяльність підсистем нижнього рівня;

3) залежність дій підсистем верхнього рівня від фактичного виконання нижніми рівнями своїх функцій.

В ієрархічній системі виділяють ряд рівнів, причому кожний включає кілька підсистем зі своїми контурами управління. Між об'єктами системи може бути три ***типи відносин***:

1) підпорядкування;
2) підпорядкованості;
3) взаємодії.

Таблиця 4.1.

Основні переваги й недоліки різних принципів управління

Принцип управління	Переваги	Недоліки
Децентралізований	1. Об'єкт, що управляє максимально наближений до об'єкта управління для полегшення обміну інформацією 2. Скорочується обсяг інформації між елементами системи 3. Мала інерційність і висока гнучкість	Немає погодженості в управляючих впливах, що утрудняє досягнення загальної мети
Централізований	1. Можливий швидкий обмін інформацією між елементами системи 2. У об'єкті, що управляє зосереджують всі управляючі впливи й тому принципово можливо оптимальне управління	1. Більша; інерційність через велику кількість оброблюваної інформації 2. Складність об'єкта, що управляє

При ***відношенні підпорядкування*** підсистема більш високого рівня впливає на підсистеми нижчестоящого рівня й змінює її стан.

Відношення підпорядкованості - характерно тим, що будь-яка підсистема може піддаватися управлінню з боку інших підсистем, розташованих на більш високому рівні ієрархії.

Відношення взаємодії властиво підсистемам одного рівня ієрархії, які обмінюються між собою інформацією. Інформація в ієрархічній сис-

темі, що надходить на вищі рівні ієрархії від нижчестоящих, узагальнюється. Інформація, що надходить із верхніх рівнів на нижні, навпаки - конкретизується. Об'єкти самого нижчого рівня одержують найдетальнішу інформацію.

Таким чином, в ієрархічних структурах управління засноване на тому, що кожна з підсистем реалізує свою мету в рамках відносної самостійності, причому мета кожної підсистеми вв'язана, з метою всієї системи.

Основними характеристиками ієрархічних систем є: ступінь централізації; ступінь управляємості; ступінь трудомісткості.

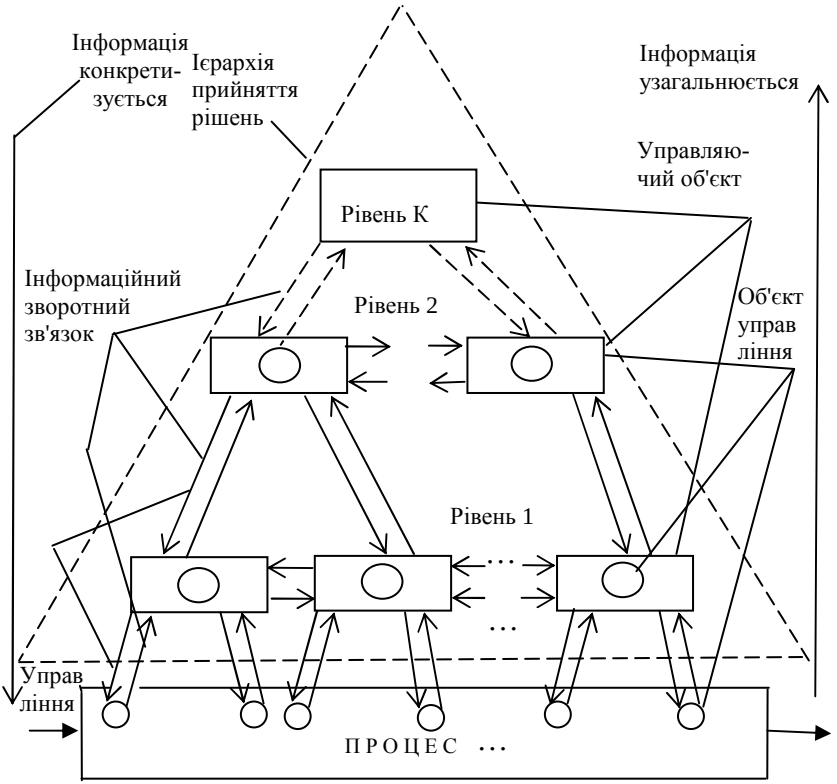


Рис. 4.3. - Багаторівнева ієрархічна система управління

Ступінь централізації визначається як відношення обсягів оброблюваної інформації на суміжних рівнях ієрархії

$$K_{i,i+1} = \frac{I_i}{I_{i-1}} \qquad (4.1)$$

Збільшення ступеня централізації приводить до збільшення ступеня управляємості об'єктів. Зменшення значення параметра $K_{i,i+1}$ на верхніх рівнях приводить до збільшення децентралізації управління в системі. Важливо відзначити, що максимальні централізація й децентралізація однаково не вигідні. Тому найкращі ефекти при управлінні об'єктами можуть бути досягнуті при деяких раціональних рівнях централізації й децентралізації.

Ступінь управляємості характеризує можливості управляючого об'єкта за управлінням й може задаватися:

- максимально припустимим обсягом інформації I_i ;
- числом розв'язуваних завдань для об'єкта управління;
- числом підлеглих об'єктів управління, причому це число повинне перебувати в межах 4-7, тому що при значному збільшенні числа об'єктів управління ефективність застосування системи управління знижується.

Ступінь трудомісткості характеризує витрати ***W*** на управління в конкретній системі й виміряється в людино-годинах.

Важливим фактором при виборі числа рівнів ієрархії ***S*** системи управління є пропускна здатність ***C*** тракту передачі інформації від нижчестоящого на вищестоящий рівень. Тому кількість рівнів ієрархії також обмежено і є функцією від пропускної здатності, тобто $S = f(C)$.

Таким чином, вибір раціональної структури системи управління і її параметрів залежить від багатьох факторів, основними з яких вважаються обсяг інформації, число розв'язуваних системою завдань (цілей), джерел інформації й об'єктів управління, пропускна здатність каналу передачі даних, а також витрати на управління.

Тому при обґрунтуванні варіанта побудови системи управління враховують, у першу чергу, якість управління в системі, що визначається двома комплексними характеристиками:

1) обґрунтованістю управляючих впливів (рішень);

2) своєчасністю управляючих впливів (рішень) прийнятих органом управління.

Слід зазначити, чим більше інформації ***I*** одержує об'єкт, що управляє, тим вище обґрунтованість рішення, але це приводить до витрати необхідних ресурсів ***Wз***. Тому існує межа, за якою витрати на отримання інформації стають не дометаним за відношенням до цінності інформації, що отримується.

Однією з умов оптимальності управління є оптимальна інформова-

ність органа управління. Рівень інформованості може змінюватися нескінченно, як показано на рис. 4.4 ,а. Якщо повністю відсутня інформація, то рішення буде необґрунтованим і втрати W_n в ефективності функціонування будуть максимальні. Отже, перша умова оптимального управління визначається мінімумом I_0 суми двох витрат:

$$W_o^I = min(W_n(I) + W_з(I)), \; T = const, \qquad (4.2)$$

де T - час виробки й реалізації управляючого впливу.

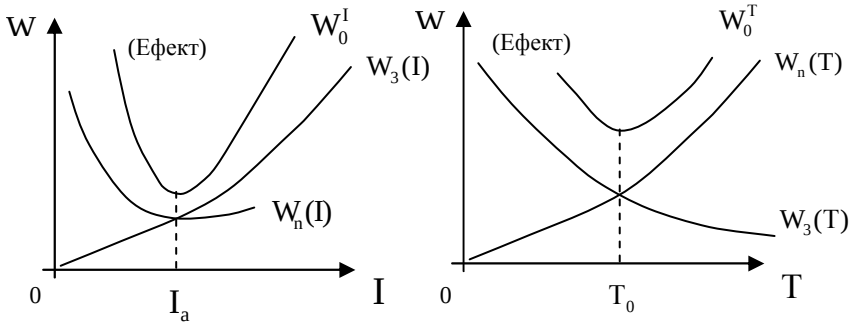


Рис. 4.4. - Інтерпретація умов оптимальності управління а) повноти інформації й б) своєчасності виробки рішення

Друга умова оптимальності пов'язана з параметром T, тому що збір, обробка, інформації, а також виробка і реалізація управляючого впливу пов'язані з часовими витратами.

Зазначений, параметр T зв'язують також із втратами в ефективності управління $W(T)$ і витратами на управління $W_з(T)$ за час T. З урахуванням зазначених факторів друга умова оптимальності визначається виразом

$$W_o^I = min(W_n(I) + W_з(I)), \; I = const. \qquad (4.3)$$

Інтерпретація умов (4.3) показана на рис.4.4,б.

Реально повинні враховуватися дві умови

$$W_{опт} = min(W_0^I + W_0^T) \qquad (4.4)$$

Таким чином, між повнотою інформації й своєчасністю виробки рішень (управляючих впливів) існує протиріччя, яке необхідно враховувати при синтезі структури ієрархічної багаторівневої системи управління.

4.2. Опис та аналіз інформаційних процесів в АСУ

Функціональні завдання АСУ, що обробляють інформацію, породжують потоки даних які циркулюють як поза системою, так і усередині неї. Послідовна зміна в часі інформації (даних) в АСУ при її одержанні, передачі, перетворенні, зберіганні й використанні за призначенням породжують інформаційні процеси в АСУ. У свою чергу, завдання залежать від реалізованих в АСУ функцій, а функції визначаються цілями застосування системи. Отже, має місце наступний взаємозалежний і погоджений ланцюг основних атрибутів процесу управління об'єктами, в АСУ:

Мета → функції → завдання → потоки інформації → інформаційні процеси

Розрізняють вхідну, вихідну, оперативну й нормативну інформацію АСУ. Інформація, що надходить в АСУ у вигляді документів, повідомлень, даних, сигналів і необхідна для виконання функцій системи називається ***вхідною інформацією АСУ***.

Інформація, яка одержана в результаті виконання функцій системи й видавана на об'єкт її діяльності або інші системи називається ***вихідною інформацією АСУ***.

Оперативна інформація відбиває на даний момент часу стан зовнішнього середовища й об'єкта, на який спрямована діяльність АСУ.

Нормативно-довідкова інформація - це інформація, запозичена з нормативних документів і довідників і використовувана при функціонуванні АСУ.

Персонал АСУ оперує з оперативною інформацією, що представляє собою інформаційне - утворення, яке сприймається, актуалізується або запам'ятовується в певний момент часу.

При функціонуванні АСУ виділяють зовнішні й внутрішні об'єкти, які є джерелами й споживачами інформації. До зовнішніх об'єктів АСУ відносять (рис. 4.5):

- КЗА ***i+1****-го* рівня управління;
- взаємодіючі КЗА ***i****-го* рівня управління;
- підлеглі КЗА ***i-1****-го* рівня управління.

До внутрішніх джерел і споживачів інформації АСУ відносять:

- об'єкти управління;
- персонал АСУ, що бере участь у процесі управління об'єктами;
- додаткові джерела інформації.

Функціональні підсистеми КЗА й частина персоналу АСУ, що беруть участь у виконанні деякої функції або сукупності функцій системи

(підсистема обробки даних, відображення, передачі даних, документування й ін.).

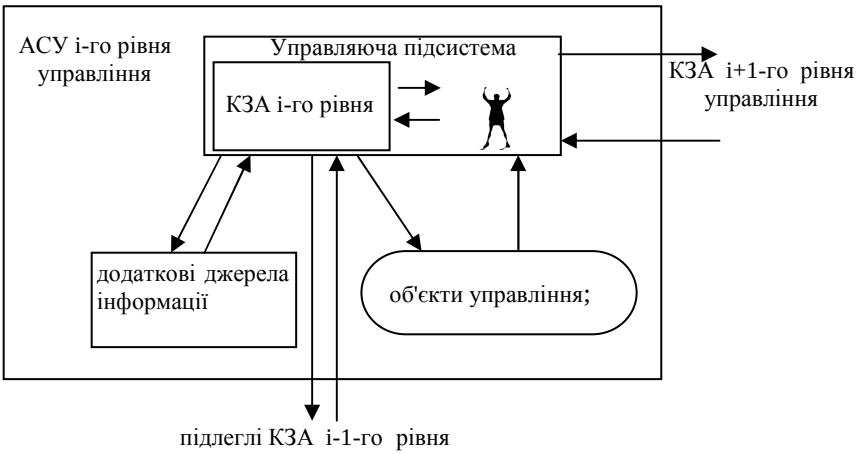


Рис. 4.5. - Склад джерел і споживачів інформації в АСУ

Потоки інформації, що циркулюють між зовнішніми й внутрішніми споживачами й джерелами інформації, поєднуються за функціональними ознаками в контури управління.

У найпростішому випадку елементарний інформаційний ланцюг складається з одного джерела інформації, одного споживача інформації і інформаційних каналів. Такі інформаційні ланцюги завжди замкнуті на джерело інформації за допомогою каналів прямого й зворотного зв'язку.

Цілеспрямована сукупність інформації, що включає особистісні процеси її одержання, передачі, перетворення, зберігання, використання й т.п., у загальному випадку утворюють інформаційний процес АСУ, структура якого показана на рис. 4.6.

При отриманні і реєстрації первинна інформація про стан об'єкту, що управляється й середовища фіксується й перетворюється до виду, що допускає сприйняття її іншими процесами.

Розглянемо основні аспекти аналізу й формалізації інформаційних процесів в АСУ, які необхідні для синтезу варіантів її побудови.

Аналіз і формалізація інформаційних процесів в АСУ

Розрізняють наступні аспекти аналізу інформаційних процесів: змістовний; формальний; комунікаційний; часовий.

Змістовний аспект аналізу інформаційних процесів в АСУ найбільш важливий, котрий включає структурні, семантичні, статистичні й

прагматичні напрямки.

Структурний напрямок розглядає виділення й побудову масивів інформації, їхній взаємозв'язок, об'ємні характеристики, а також питання забезпечення безпеки інформації. Структуризація інформаційних масивів здійснюється за наступними ознаками: за змістом; за формою подання; за мінливістю; за частотою використання; за способом одержання; за обсягом й зв'язком з іншими масивами.

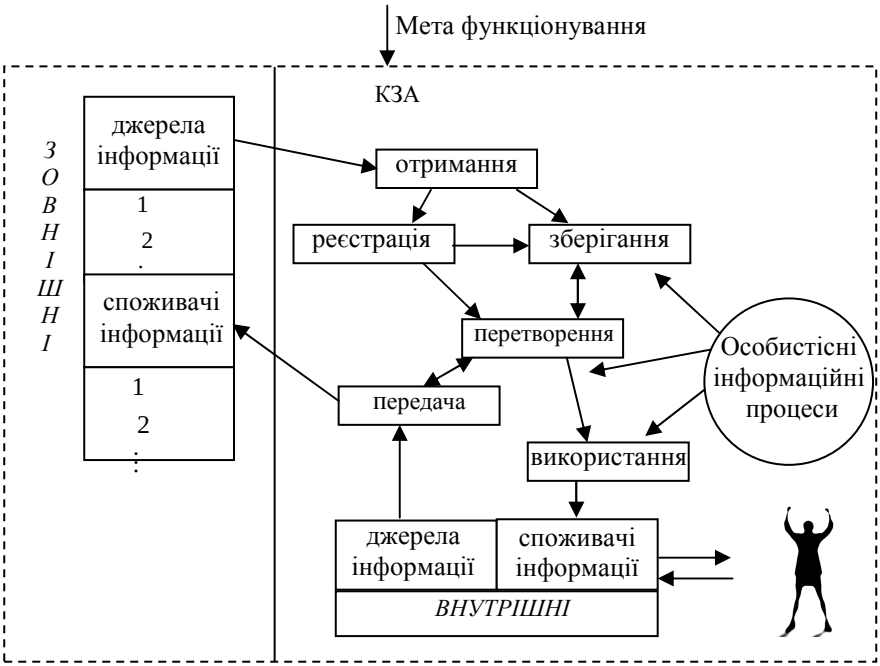


Рис. 4.6. – Структура інформаційного процесу в АСУ

Семантичний напрямок ураховує значеннєвий зміст інформації.

Статистичний напрямок дає уявлення про статистичні характеристики інформації, що циркулює в АСУ.

Прагматичний напрямок ураховує цінність і корисність інформації. Міру цінності визначають як різниця

$$I_ц = lgP_1 - lgP_0 = lg\frac{P_1}{P_0}, \qquad (4.5)$$

де P_0 - імовірність досягнення мети системою до одержання інфор-

мації;

P_1 - імовірність досягнення мети системою після одержання інформації.

Якщо $P_1 = P_0$, то $I_ц = 0$ - інформація нічого нового не несе. При $P_1 > P_0$, $I_ц > 0$, нове повідомлення несе коштовні відомості, а при $P_1 < P_0$ $I_ц < 0$, інформація містить дезінформацію.

Формальний аспект аналізу інформаційних процесів включає питання кодування, декодування, формування, документування, зберігання й видачі інформації споживачу для її використання за призначенням.

Комунікаційний аспект включає напрямок, об'ємно-часові характеристики потоків інформації й маршрутизацію потоків повідомлень.

Часовий аспект включає питання з актуалізацією й старінням інформації.

Розглядаючи в комплексі змістовний, формальний, комунікаційний і часовий аспекти аналізу інформаційних процесів, досліджують питання, пов'язані з повнотою і вірогідністю інформації, а ці параметри визначають адекватність управління об'єктами в АСУ.

Формалізація проводиться після розробки моделі інформаційних потоків АСУ. Формалізація здійснюється за рахунок використання математичного апарату, що дозволяє абстрагуватися від деяких особливостей інформаційного процесу й дозволяє виконувати рішення конкретного завдання стандартними засобами цієї формальної системи.

Будь-яка інформаційна одиниця ***I,*** що володіє споживчою вартістю, характеризується: змістом ***S***, формою подання ***F***, просторовим розташуванням ***L*** і часом ***T***, тобто:

$$I = f\{S, F, L, T\}$$

При надходженні від джерела до споживача здійснюється перетворення складових ***S, F, L*** і ***T***. У результаті перетворення ***S*** з'являється нова інформація, пов'язана із семантичною обробкою. Перетворення форми ***F*** виконується в процесі кодування й декодування інформації. Перетворення інформації в просторі ***L*** і часі ***T*** здійснюється в процесі її передачі від джерела до споживача. Таким чином, операція перетворення інформації породжує комунікативну функцію інформаційного процесу в системі, який протікає з певною метою ***C*** при певних витратах ресурсу ***R***, тобто

$$I_{вых} = Q(I_{вх}, C, R). \qquad (4.6)$$

Схематично операція перетворення в загальному вигляді представлена на рис.4.7.

В АСУ оператор ***Q-*** дозволяє описати наступні особистісні процеси:

- процес збору інформації про стан системи (органа управління, об'єкта управління) і зовнішнього середовища;
- процес виробки й прийняття рішення;
- процес доведення управляючих впливів.

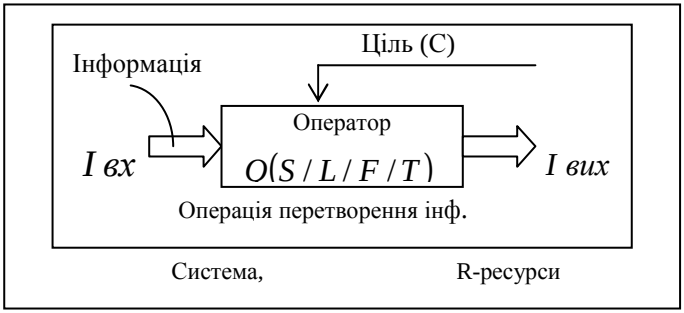


Рис. 4.7. - Схема перетворення інформації

На етапі структурного синтезу АСУ перераховані особистісні процеси діляться на прості процеси, які необхідні для визначення й деталізації автоматизованих функцій і завдань системи. Для полегшення цієї процедури розробляється модель інформаційних потоків, основу якої становлять формалізовані графічні документи у вигляді схем інформаційних потоків. Зазначені потоки описуються методами теорії графів.

Схеми інформаційних потоків будуються таким чином, щоб з їхньою допомогою можна було б досить наочно представити всі завдання обробки даних і інформаційні зв'язки між ними.

Зауваження. Важливо відзначити, що модель інформаційних потоків розробляють паралельно з логічною моделлю даних, які уточнюють із урахуванням обраного варіанта ступеня автоматизації процесу управління й змісту вимог до АСУ.

Джерелом інформації в системі є документи, дані й сигнали. Взаємодія елементів у системі призводить до того, що одні дані формуються на підставі інших, тобто відбувається рух інформації з метою одержання, певного функціонального результату. Як для системи в цілому, так і для будь-якої підсистеми всі дані можуть бути класифіковані на:

1) вихідні - вступники в систему;
2) зовнішні - результати переробки вихідних;
3) проміжні - результати переробки вихідних, які використаються для обчислення зовнішніх документів, але самі із системи не видаються.

4.3. Інформаційне забезпечення АСУ

З погляду філософії ***інформація –*** найбільш загальне поняття разом з матерією**.** Можна сказати, що вона відображає організацію матерії. При цьому інформація не тільки пасивно характеризує структуру матерії, але і здатна активно створювати і відтворювати цю структуру. Інформація в широкому сенсі визначається як ступінь неоднорідності поширення матерії в просторі й часі. У техніці широкого поширення набув термін ***дані***. Так прийнято називати інформацію, представлену у формалізованому вигляді (кінцевою безліччю символів) і призначену для обробки її технічними засобами (наприклад ЕОМ) або вже оброблену ними. Дані не призначені безпосередньо для людини як одержувача інформації. Осмислення даних людиною відбувається тільки після їх відповідної обробки і уявлення у формі, зручній для сприйняття.

Інформація завжди має фізичний носій – ***сигнал.*** Таким чином, сигнал - це фізична (наприклад, в нашому випадку електрична) величина, що змінюється, однозначно відображає повідомлення, що передається і придатна для передачі. Сигнал завжди є функцією часу. Крім сигналу в АСУ виділяють ***повідомлення***, під якими розуміється сукупність відомостей у вигляді закінченого блоку даних, які представляють при функціонуванні АСУ, призначених для прийняття рішення, і маючих самостійне значення.

Функціонування АСУ здійснюється шляхом обміну даними, командами, сигналами або документами в автоматичному або автоматизованому режимах між елементами системами.

Дамо визначення і сформулюємо загальні завдання інформаційного забезпечення. ***Інформаційне забезпечення АСУ*** представляє сукупність форм документів, класифікаторів, нормативної бази й реалізованих рішень за обсягами, розміщенню й формам існування інформації, застосовуваної в АСУ при її функціонуванні.

У процесі розробки інформаційного забезпечення АСУ вирішуються наступні ***основні завдання***:

1) Визначення складу вхідних сигналів і даних, з зазначенням: найменування вимірюваної величини, одиниці виміру, діапазон виміру, вимоги до точності й періодичності виміру, тип й значення сигналу, кодове позначення й значності реквізитів вхідних даних, найменування й кодові позначення документів або повідомлень, що містять ці дані.

2) Визначення складу вихідних сигналів (документів), з зазначенням їхніх найменувань, призначення, одиниць виміру й діапазонів зміни, способу подання й користувачів інформації, перелік вихідних документів із

вказівкою їхніх найменувань, кодових позначень, переліку й реквізитів і користувачів інформації.

3) Опис інформаційного забезпечення з зазначенням:

- складу інформаційного забезпечення з формуванням найменування й призначення всіх баз даних і наборів даних;
- принципів організації інформаційного забезпечення системи, обґрунтування вибору носіїв даних і принципи розподілу інформації за типами носіїв, опис рішень, які забезпечують: інформаційну сумісність АСУ з іншими системами управління за джерелами, споживачах інформації, за використанням в АСУ уніфікованих систем документації;
- організації збору й передачі інформації, з зазначенням переліку джерел і носіїв інформації, інтенсивності й обсягу потоків інформації; опису загальних вимог до організації збору, передачі, контролю й коректування інформації;
- правил побудови системи класифікації й кодування;
- організації й опису структури і функціонування позамашинної і машинної інформаційних баз, характеристики їх складу й обсягу, характеристики даних, що втримуються в кожній базі даних.

4) Опис організації інформаційної бази, що містить опис логічної (склад даних, їхніх форматів і взаємозв'язків між даними) і фізичної (розташування даних на конкретних машинних носіях) структури - тільки для машинної інформаційної бази.

5) Опис масиву інформації, що містить найменування масиву, позначення масиву, найменування носіїв інформації, перелік реквізитів, оцінку обсягу масиву та інші характеристики масиву.

6) Розробка інструкції з формування й ведення бази даних (набору даних).

Склад інформаційного забезпечення

Основу інформаційного забезпечення АСУ становить **інформаційна база**, що представляє сукупність упорядкованої інформації, використовуваної при функціонуванні АСУ. Розрізняють позамашинну і машинну інформаційні бази АСУ, складові частини яких показані на рис.4.8.

Позамашинна інформаційна база АСУ - це частина інформаційної бази системи, що представляє собою сукупність документів, призначених для безпосереднього сприйняття людиною без застосування обчислювальної, техніки.

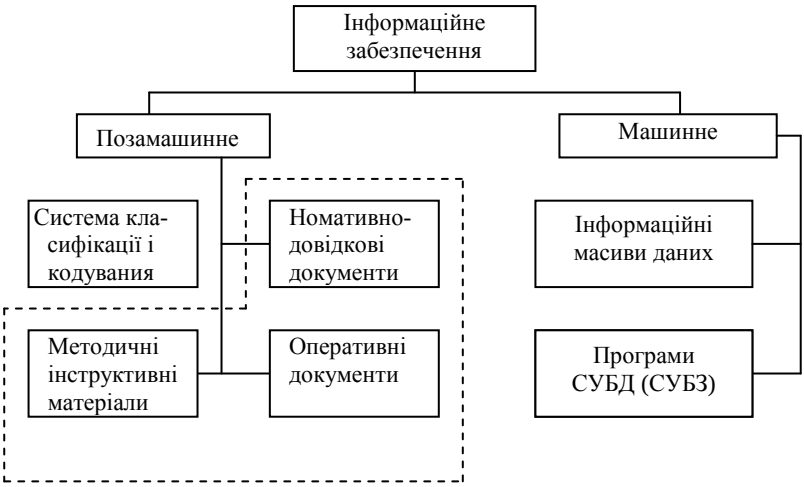


Рис. 4.8. - Склад інформаційного забезпечення АСУ

Основу позамашинної інформаційної бази становлять:

- єдина система класифікації й кодування інформації (класифікатори);
- уніфікована система документації (УСД), що являє собою раціонально-організований комплекс взаємозалежних документів, що відповідають єдиним правилам і вимогам і містять інформацію, яка необхідна для управління об'єктом із застосуванням засобів автоматизації й зв'язку.

Єдина система класифікації й кодування застосовується для однозначного й компактного опису, більших обсягів інформації з метою уніфікації й полегшення сполучення різних засобів автоматизації й АСУ між собою, створення більше простих умов практичного використання АСУ й підготовки фахівців для їхньої експлуатації.

Класифікація інформації - поділ деякої безлічі об'єктів на підмножини відповідно до прийнятих ознак і методів класифікації.

Ознака класифікації - це деяка характеристика об'єктів, за якою здійснюється класифікація. Наприклад, при класифікації повітряних об'єктів такими ознаками можуть бути: радіус (дальність) дії, швидкість і висота польоту, аеродром посадки й т.п.

Метод класифікації визначає порядок поділу безлічі об'єктів на підмножини. Звичайно застосовується два методи класифікації - ієрархічний і фасетний (або їхня комбінація).

Ієрархічна система класифікації заснована на встановленні між

класифікаційними угрупованнями відносини підпорядкування. Це означає, що всі безлічі об'єктів M розбивається задеякій ознаці на непересічні підмножини - класи $M_1, M_2, ..., M_n$. Кожний клас M_i, у свою чергу, за іншою ознакою ділиться на підкласи $M_{i1}, M_{i2}, ..., M_{ik}$.

Прикладом ієрархічної системи класифікації є так називана універсальна десяткова класифікація (УДК), використовувана в бібліотеках для класифікації фонду книг, журналів, статей і інших документів за галуззями знань.

Безліч значень класифікаційних ознак і відносин між ними утворить граф типу дерева, вершинами якого є значення ознак, а ребрами - відношення "бути підмножиною".

Ієрархічна система класифікації забезпечує віднесення об'єкта класифікації строго до одного класифікаційного угруповання на кожному рівні класифікації. Для забезпечення цієї умови при побудові системи класифікації повинні дотримуватися наступні правила:

1) розподіл кожної, угруповання на більше дрібні виконується тільки за однією ознакою;

2) одержувані на кожному рівні значення властивостей класифікаційних угруповань не повинні перетинатися.

Фасетна система класифікації будується в такий спосіб. Для об'єктів безлічі E, що класифікуються вибирається набір істотних властивостей (атрибутів) $A_1, A_2, ..., A_n$ за якими буде виконуватися класифікація. Нехай $\{a_{i1}, a_{i2}, ..., a_{in}\}$ безліч значень атрибута A_i. Якщо значення A_i мають кількісний характер, то безліч значень може бути розбита на окремі діапазони. Сукупність отриманих діапазонів або просто значень A_i утворить фасет $j(A_i) = j_i$.

При побудові фасетної системи класифікації не повинні повторюватися значення ознак у різних фасетах. З безлічі можливих значень ознак у якості значень відбираються тільки ті, які відповідають розв'язуваним завданням.

Кодування інформації - утворення й присвоєння, об'єкту класифікації (підмножині об'єктів) або ознаці класифікації деякого кодового позначення відповідно до прийнятого методу кодування. Кодування об'єктів може здійснюватися методами порядкового, серійно-порядкового, послідовного й паралельного кодувань.

Результати класифікації й кодування відбиваються в класифікаторах, що містять систематизований перелік найменувань об'єктів класифікації, ознак класифікації і їхніх кодових позначень.

До уніфікованої системи документації пред'являють наступні основ-

ні вимоги: мінімально можлива кількість типів і форм документів і їхня погодженість між собою; відповідність завданням, розв'язуваним у процесі управління об'єктами; зручність роботи з документами; можливість безпосередньої обробки документів засобами автоматизації.

Слід зазначити, що методичні документи розробляються в основному в рамках методичного забезпечення, а організаційні в рамках організаційного й частково правового забезпечення. Тому організаційне, методичне й правове забезпечення реалізуються в інформаційному забезпеченні.

У системі документації під ***документом*** розуміється всякий матеріальний носій даних, пов'язаних з функціонуванням АСУ, що має юридичну чинність. За змістом документи діляться на керівні (організаційно-розпорядницькі, планові, методичні, інструктивні й інші}, інформаційно-звітні (довідкові, облікові, звітні й інші), проектні (технічне завдання на АСУ, технічний проект, робоча, експлуатаційна документація) й інші.

Машинна інформаційна база АСУ - це частина інформаційної бази системи, що представляє собою сукупність використовуваної в АСУ інформації яка зберігається на носіях даних.

Масиви даних, використовуваних в АСУ, з метою організації їхньої централізованої обробки поєднуються в бази даних (БД), сукупність яких утворить ***інформаційний фонд*** (ІФ)**.** Інформаційний фонд так само, як і БД, як правило, включає архіви (рис. 4.9).

База даних являє собою пойменовану сукупність систематизованих даних, що відноситься до певної предметної області: дані про зовнішнє середовище, дані про АСУ, нормативно-довідкові дані й інші.

С творення ІФ у вигляді завчасно уведених у пам'ять ЕОМ даних дозволяє підвищити якість застосування засобів автоматизації за рахунок зменшення надмірності потоку вводу даних, автоматизації процесів їхньої підготовки й централізованого використання, для всієї безлічі завдань, розв'язуваних АСУ. Робота з даними ІФ здійснюється за допомогою системи управління базами даних (СУБД) та знань (СУБЗ).

Система управління базами даних являє собою сукупність язикових і програмах засобів, призначених для створення, ведення й спільного використання БД багатьма користувачами. Програмні засоби СУБД автоматизують такі процеси, як організація даних (уведення, контроль і розміщення даних у пристроях пам'яті ЕОМ), ведення БД (відновлення, зміна, розширення складу, реорганізація, виключення даних і т.п.), обробка запитів до БД і інформаційна обробка даних (пошук, вибірка, формування й видача) відповідно до запитів, а також забезпечують в АСУ захист даних від руйнування й несанкціонованого доступу.

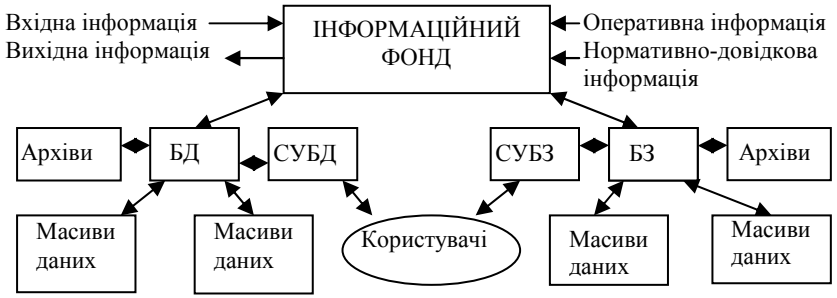


Рис. 4.9. Структура інформаційного фонду

Основу лінгвістичних засобів СУБД становлять інформаційні мови. За галуззю застосування СУБД діляться на спеціалізовані й універсальні, а відносно інформаційних мов на відкриті й замкнуті.

При поданні в АСУ даних про об'єкти предметної області виникає завдання наділення цих об'єктів деякими "іменами", навколо яких далі повинні групуватися дані, що описують властивості об'єктів. Процедура присвоювання описуваним об'єктам імен називається кодуванням. Сформоване в процесі кодування "ім'я" об'єкта називається кодом. Код об'єкта повинен задовольняти в загальному випадку двом вимогам:

1) ідентифікувати відповідний об'єкт;
2) крім ідентифікації самого об'єкта ідентифікувати, тобто вказати й деякий клас або класи об'єктів до яких належить відповідний об'єкт.

Якщо при кодуванні вирішується тільки перше завдання, то відповідний метод кодування називається ідентифікаційним , якщо ж вирішуються й перше й друге завдання - класифікаційним методом кодування.

Сутність ***ідентифікаційного методу*** полягає в тому, що кожному об'єкту, що кодується привласнюється значення коду, що забезпечує тільки ідентифікацію об'єкта. Для реалізації ідентифікаційного методу використаються порядковий або серійний коди, іноді використаються умовні алфавітні позначення.

Результат кодування безлічі об'єктів оформляється у вигляді таблиці, називаної кодифікатором. Кодифікатор описує однозначну відповідність між безліччю об'єктів, що кодуються і їхніх кодів.

Класифікаційні методи кодування застосовуються для кодування безлічі об'єктів, що володіють багатьма властивостями або ознаками. Ці методи припускають попередній поділ безлічі об'єктів, що кодуються на класи або підмножини. Така процедура називається класифікацією. Сис-

тема правил, відповідно до яких виробляється поділ вихідної безлічі об'єктів на підмножини відповідно до встановлених ознак подібності або розходження об'єктів, називається системою класифікації. підмножини, Сукупність прийнятої системи класифікації й використовуваного типу коду називається класифікаційною системою кодування.

У всіх випадках результат кодування можна розглядати як установлення однозначної відповідності між безліччю кодуємих об'єктів ***E*** и безліччю кодів ***Y***.

Алфавітом коду називається сукупність знаків; використовуваних при формуванні кодів об'єктів. До складу алфавіту коду можуть входити букви, цифри, службові знаки. Сукупність знаків, що утворять елемент безлічі ***Y***, тобто код, називається кодовим словом. Число знаків у кодовому слові називається основою коду. Код з алфавітом, складеним тільки із цифр, називається цифровим, код, алфавіт якого містить і цифри й букви, називається змішаним.

Структура коду визначає склад і розташування інформації про властивості об'єкта, що кодується, яка втримується в кодовому слові. До основних видів кодів, застосовуваних для зазначених цілей, належать так називані порядкові, серійні, позиційні й змішані коди.

Порядковий код відповідає такій схемі кодування, коли об'єкту, що кодується як значення коду ставиться у відповідність його порядковий номер у послідовності цих об'єктів. Попередньо об'єкти кодування впорядковуються відповідно до деякого принципу (наприклад, у порядку виробництва об'єктів, надходження для експлуатації й т.п.). Порядковий код несе інформацію тільки про положення об'єкта, що кодується в послідовності безлічі об'єктів. Код не дозволяє судити про яких-небудь властивості об'єкта й робити угруповання об'єктів, за їхніми ознаками.

Серійний код є власне кажучи модифікацією порядкового коду, що забезпечує, крім однозначної ідентифікації об'єктів, їхнє розходження за однією якою-небудь властивістю. Основою серійного коду є безліч значень порядкового коду $\{1,2,3,...\}$. Зазначена безліч кодів ділиться на серії $\{1,2,...,m\},\{m+1,m+2,...,n\},\{n+1,n+2,...\}$. Безліч об'єктів, що кодуються розбивається відповідно до значень деякої їхньої загальної властивості на підмножини, кожна з яких кодується відповідною серією значень коду.

Наприклад, автомобілі прийнято кодувати серіями в залежності від модельного ряду. Таким чином, за кодом (номером) серії автомобіля можна визначити його приналежність до певної моделі – ВАЗ 21-01, ВАЗ 21-09.

Серійний код досить простий для побудови й використання й дозволяє розрізняти об'єкти, що кодуються за однією якою-небудь ознакою. Однак при використанні коду необхідно знати початок і кінець кожної

серії, і відповідність серій сукупностям безлічі об'єктів, що кодуються.

Позиційний код припускає наявність попередньої класифікації об'єктів за їхніми властивостями. В окремому випадку класифікація є ієрархічною, коли вся безліч об'єктів, ділиться на класи, класи - на підкласи й т.п. Для визначення приналежності об'єкта до відповідного класу, підкласу й т.п. у структурі кодового слова виділяється, певне число розрядів, достатнє для вказівки номерів або кодів всіх класів, підкласів і т.п.

Наприклад, навчальні групи в вищих навчальних закладах кодуються тризначними групами, де перша група означає факультет, друга – шифр спеціальності на факультеті, третя рік набору студентів (номер курсу).

Позиційне кодування дозволяє описати всі бажані ознаки й характеристики об'єктів, що кодуються. Однак зі збільшенням числа відображуваних у коді властивостей об'єктів відповідно росте підстава коду, тобто довжина кодових слів.

Змішані або комбіновані коди представляють комбінацію з декількох розглянутих вище типів кодів. Наприклад, структура кодового слова при позиційно-порядковому кодуванні складається із двох частин: перша частина представляє позиційний код групи об'єктів, друга частина - порядковий код об'єкта, що представляє його порядковий номер у групі.

Наприклад, для кодування службових приміщень часто використається позиційно-порядковий код, оскільки перша цифра номера приміщень збігається звичайно з номером поверху, а наступні цифри представляють порядковий код. У випадку, якщо є не одне, а кілька будинків (корпусів), у структуру коду вводиться позиція, що вказує номер або код корпуса.

4.4. Математичне й програмне забезпечення АСУ

4.4.1. Математичне забезпечення АСУ

Відповідно до загальноприйнятої термінології під ***математичним забезпеченням АСУ*** розуміється сукупність математичних методів, моделей і алгоритмів, використовуваних при розробці і функціонуванні таких систем, для вирішення завдань обробки інформації. Відзначимо, що математичне забезпечення АСУ разом з побудованим на його основі програмним забезпеченням дорівнює, а іноді і перевищує за вартістю комплекс використовуваних технічних засобів.

Вихідними даними для розробки математичне забезпечення АСУ служать результати, отримані при обґрунтуванні інформаційного забезпечення, і в тому числі параметри ***F, O і I*** структури АСУ.

У результаті розробки математичне забезпечення АСУ складається схема ***А*** структури всіх КЗА, застосовуваних у складі системи, з необхідними характеристиками, які визначаються на основі необхідних математичних моделей і методів. Основним змістом ***А*** структури є:

1) алгоритми рішення інформаційних, управлінських і допоміжних завдань, об'єднаних інформаційними зв'язками в єдину структуру, які забезпечують необхідні цілі управління об'єктами;

2) опис алгоритмів вищевказаних завдань із зазначенням: призначення й характеристики, використовуваної інформації, результатів рішення, математичного опису, алгоритму рішення.

Алгоритми являють собою підклас імітаційних моделей, що володіють властивостями, що забезпечують можливість їх безпосередньої практичної реалізації за допомогою засобів обчислювальної техніки.

Алгоритм - це сукупність, приписань для одержання рішення завдання за допомогою кінцевого числа операцій. Він задає кінцеву послідовність дій, які треба виконувати при вихідних даних, що змінюються для одержання необхідного результату. У складі МЗ КЗА алгоритми виступають як способи рішення завдань на ЕОМ.

Алгоритми можуть представлятися в графічній (у вигляді схеми), табличній, текстовій або змішаній формі, виходячи із сутності описуваного алгоритму й можливості формалізації його опису:

Формалізований опис алгоритму містить:

1) математичне формулювання;
2) опис вхідних, вихідних, нормативно-довідкових даних;
3) список позначень елементів предметної області із вказівкою їхніх найменувань, одиниць виміру, діапазону зміни значень;
4) обмеження, що визначають припустимі варіанти реалізації операції;
5) критерії оптимальності для операції оптимізації.

Математичні методи являють собою різні способи використання математичного апарата тих або інших математичних теорій. У складі МЗ КЗА математичні методи виступають в- якості засобів побудови математичних моделей.

Математична модель являє собою опис розглянутої системи або процесу мовою математичних співвідношень. До складу математичне забезпечення КЗА входять математичні моделі, реалізовані у вигляді алгоритмів.

Під завданням, розв'язуваного на ЕОМ, розуміють методику одержання необхідних вихідних даних при заданих вхідних даних, допущеннях і обмеженнях. У КЗА вирішуються функціональні завдання обробки інформації, управління,- передачі даних, відображення, документування,

функціонального контролю й ін. Крім того, в інформаційно-розрахунковій підсистемі АСУ вирішуються інженерні, обліково-планові завдання інформаційного й розрахункового характеру.

Інженерні завдання призначені для проведення інженерних розрахунків при розвитку або вдосконалюванні АСУ.

Обліково-планові завдання передбачають автоматизацію інформаційно-розрахункових процесів за матеріально-технічним забезпеченням, обліку наявності персоналу АСУ, обліку стану-техніки й т. п.

Всі покладені на КЗА завдання реалізуються системою математичне забезпечення АСУ. Основу системи МЗ становить набір алгоритмів, розроблювальних на базі створюваних математичних моделей процесів обробки інформації, управління, відображення, організації обчислювального процесу й ув'язаних у єдиний функціональний комплекс.

Створення математичне забезпечення АСУ являє собою складний, трудомісткий і коштовний процес. Він включає такі стадії робіт, як створення ідеології рішення завдань, математичних моделей управляємих процесів, процесів функціонування підсистем, математичних моделей окремих завдань, розробку відповідних алгоритмів, реалізованих на обчислювальних засобах КЗА.

Склад математичне забезпечення АСУ можна класифікувати із всіляких позицій і за різними ознаках (рис. 4.10).

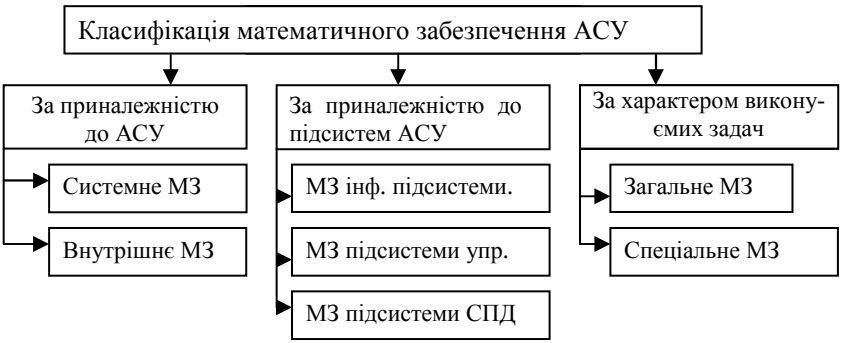


Рис. 4.10. Класифікація математичного забезпечення АСУ

За ознакою приналежності в АСУ в цілому можна представити дві великі складові МЗ: системне математичне забезпечення й внутрішнє математичне забезпечення. ***Системне МЗ*** спрямовано на організацію роботи й на забезпечення функціонування із заданими характеристиками розглянутої АСУ. ***Внутрішнє МЗ*** реалізує чисто внутрішні завдання того

або іншого КЗА, такі, як завдання автономного функціонування, контролю, автономного тренажу, ряд завдань документування й т.п.

За ознакою приналежності до підсистем АСУ розрізняють наступні складові МЗ: математичне забезпечення інформаційної підсистеми; математичне забезпечення підсистеми управління об'єктами; математичне забезпечення підсистеми зв'язку й передачі даних. Математичне забезпечення кожної з підсистем реалізує завдання цих підсистем, включаючи функціональні завдання, завдання відображення, обміну даними, документування, організації обчислювального процесу й інші допоміжні завдання для забезпечення функціонування підсистеми.

З погляду ***характеру виконуваних завдань і призначення*** математичного забезпечення КЗА його можна розділити на дві основні частини: загальне математичне забезпечення (ЗМЗ) і спеціальне математичне забезпечення (СМЗ). ***Загальне математичне забезпечення*** призначене для організації обчислювального процесу під час функціонування АСУ, а також для забезпечення автоматизації технологічних процесів розробки й налагодження МЗ. ***Спеціальне математичне забезпечення*** служить для реалізації конкретних функціональних завдань обробки інформації, управління, передачі даних, відображення, документування, функціонального контролю, тренажу й ін. Подання складу МЗ за останньою ознакою є найпоширенішим і найбільш істотним із всіх точок зору й у першу чергу з погляду його розробки. СМЗ реалізує конкретні завдання АСУ, спрямовані на виконання її цільової функції. Тому для кожної АСУ воно має свою специфіку й особливості.

Що стосується ЗМЗ, то за своїм призначенням, складу й змісту воно достатньо універсальне й у значній мірі не залежить від функціонального призначення АСУ.

Склад ЗМЗ прийнято розділяти на дві складові, що мають зовсім різне призначення: засоби ЗМЗ для організації обчислювального процесу реального часу; засоби ЗМЗ для автоматизації технологічних процесів розробки системи програмного забезпечення.

Розглянемо основні підсистеми ЗМЗ обчислювального процесу реального часу.

Підсистема управління пріоритетними групами - призначена для організації мультипрограмного режиму роботи з виконання обчислювальних, операцій у КЗА АСУ реального часу. Основною структурною одиницею нижчого ієрархічного рівня МЗ є програмний модуль, або підпрограма. Підпрограма має найбільшу самостійність із всіх програмних складових, маючи чітко формалізовані входи й виходи, зв'язки за інформацією й управлінням.

За функціональною ознакою підпрограми об'єднані в групи програм,

а останні - у комплекси програм і систему програм, що є вищим ієрархічним рівнем МЗ й повністю вичерпують зміст МЗ. За організаційною ознакою, тобто з погляду найбільш ефективної організації обчислювального процесу, підпрограми програми поєднуються в так звані пріоритетні групи, що представляють собою одиниці диспетчеризації. Основною програмної складової підсистеми управління пріоритетними групами є центральний диспетчер. Для виконання обчислювальної роботи він здійснює, за заявками від різних пріоритетних груп і від системи вводу-виводу їх підключення, у певній послідовності відповідно до заданої дисципліни обслуговування. Центральний диспетчер шляхом послідовного підключення пріоритетних груп на основі заданої дисципліни їхнього обслуговування реалізує мультипрограмний режим роботи КЗА в АСУ реального часу.

Підсистема управління вводом-виводом організує обмін між різними абонентами ЕОМ, між процесором і периферійним устаткуванням ЕОМ; взаємодія між різними ЕОМ обчислювального комплексу (ОК), між ОК і іншими підсистемами КЗА.

Підсистема організації переривань ходу обчислювального процесу має принципове й першорядне значення в АСУ жорстко регламентованого режиму реального часу. Переривання ходу обчислювального процесу в обчислювальних засобах КЗА - одна з основних особливостей АСУ реального часу. Вони необхідні в першу чергу для виконання надстрокових робіт, тобто робіт з абсолютного пріоритету. Центральне місце в даній підсистемі займає організація переривань при вводі-виводі, тобто при різного роду обмінах ОК із периферійними пристроями. Терміновість при обміні інформацією визначається необхідністю одержання найбільш свіжих з мінімальним часом затримки даних, обмеженістю буферних накопичувачів, великою частотою надходження інформації, малими значеннями припустимих ймовірностей втрати інформації в буферних накопичувачах і ін. Організація програмних і машинних переривань необхідна для забезпечення термінової реакції відповідно при прояві програмних помилок і збоїв ЕОМ.

Підсистема організації служби часу виконує функції відліку інтервалів часу з тією або іншою точністю, відліку часу доби в астрономічному вирахуванні, коректування часової інформації при зміні початку відліку для виміру інтервалів часу, а також при коректуванні астрономічного часу.

Підсистема організації відновлення й реконфігурації необхідна для забезпечення безперервності функціонування при порушеннях ходу обчислювального процесу, несправностях апаратури і відхиленні параметрів системи від заданих значень. Ця підсистема на підставі даних контролю працездатності пристроїв і підсистем ОК забезпечує перемикання з не-

справного на резервне устаткування без перерви обчислювального процесу й виконуваних функцій. Однієї з основних завдань підсистеми відновлення й реконфігурації є відновлення обчислювального процесу..

Перелічимо деякі з загальних методів відновлення обчислювального процесу не залежних від конкретних АСУ: повернення обчислювального процесу на деяке число операцій назад з метою його повторення й ліквідації помилки при правильному виконанні ходу програми; організація обчислень на основі більше старої інформації про управляємий процес, використаної раніше; повторення обчислювального процесу на основі коректування тими або іншими апріорними способами перекрученої інформації; перехід на резервні ЕОМ для продовження обчислювального процесу; перезапуск обчислювальних засобів в інтересах відновлення всієї інформації з урахуванням поточного стану процесу, що управляється.

Підсистема контролю обчислювального процесу призначена для виявлення порушень ходу обчислювального процесу з метою наступного вживання відповідних заходів за його нормалізацією. Основним засобом контролю обчислювального процесу є програмно-логічний контроль, що має ряд загальних методів. До них відносяться: з аналіз збоїв у програмах і підключення спеціальних програм, що виправляють; захист від збоїв вхідної інформації, шляхом перевірки на припустимі значення окремих вхідних величин, на допустимість доповідей або команд у даній ситуації за тим або іншим об'єктом; логічний контроль процесу обчислень шляхом періодичної перевірки відповідності інформації за одним й тим же об'єктом, зафіксованої різними способами; логічний контроль вихідних параметрів шляхом перевірки із забезпеченням можливості блокування видачі вихідних даних і повторенням обчислень у випадку виявлення помилки; та інші.

Підсистема функціонального контролю **КЗА** виконує завдання Програмного й апаратного контролю технічних пристроїв і підсистем КЗА. При цьому виробляється контроль ЕОМ ОК, периферійного устаткування ЕОМ ОК, контроль інтерфейсів ОК із КТЗ. Функціональний контроль КЗА може проводитися після виконання регламентних робіт, перед початком і в ході роботи КЗА за управліннюям Засобами й методами функціонального контролю є: різні засоби апаратного контролю; набір усіляких тестів для контролю конкретних пристроїв; спеціальні контрольні завдання.

У ряді випадків до ЗМЗ обчислювального процесу пред'являється спеціальна вимога за захистом від несанкціонованого доступу (НСД), що призначена для запобігання перекручування або витоку важливої інформації. Рішення завдання програмного захисту від НСД до тієї або іншої

інформації вимагає насамперед досить ретельного визначення номенклатури тієї інформації, що підлягає закриттю.

Після визначення номенклатури й обсягу інформації, що підлягає закриттю, вирішується питання про розміщення її в зонах, що відводять спеціально у пам'яті. Таким чином, визначається область обмеженого доступу. Ключами захисту є паролі операторів, яким дозволено користуватися відповідною інформацією. При обігу оператора до області обмеженого доступу спеціальна підпрограма робить запит і аналіз пароля цього оператора, після чого дозволяється доступ до необхідної інформації. Для підвищення надійності захисту від НСД періодично виробляється зміна паролів операторів.

Технологічне ЗМЗ є складовою ЗМЗ і призначено для забезпечення автоматизації процесів розробки програм. Воно має найбільшу загальність і найменшим чином залежить від конкретних завдань, розв'язуваних АСУ. Проте в даний час відсутня єдність термінології, єдиний підхід до визначення складу, структури й змісту цієї складової частини ЗМЗ. Це пояснюється тим, що технологічний процес розробки програм у загальному випадку не є стандартним і має специфічні особливості.

Технологічну систему ЗМЗ можна представити у вигляді чотирьох основних підсистем: забезпечення програмування; забезпечення налагодження; випуску й коректування документації на МЗ; контролю ходу розробки МЗ. Структура технологічного ЗМЗ представлена на рис. 4.11.

Основу підсистеми забезпечення програмування становлять транслятори. Останні являють собою засоби одержання програми в машинних кодах на основі вихідного тексту програми в символьному виді. У числі трансляторів можуть бути як транслятор з машинно-орієнтованої мови, так і транслятори із проблемно-орієнтованих (спеціально орієнтованих) і універсальних мов високого рівня. До складу даної підсистеми входять також засоби об'єднання програм, що забезпечують одержання єдиної програми на основі окремо трансльованих програм. При цьому окремі програми можуть бути отримані із застосуванням різних мов. Також, до складу підсистеми входять засоби ведення бібліотек програм і даних, збережених на зовнішніх запам’ятовуючих пристроях. Наявність зазначених бібліотек істотно скорочує необхідний обсяг інформації, що вводиться у ході повторних трансляцій, що в підсумку, прискорює процес одержання готової програми.

Підсистема забезпечення налагодження призначена для автоматизації процесів автономного й комплексного налагодження й містить засоби автономного й комплексного налагодження: автономний і комплексний наладчики; засоби контролю виконання вимог до системи МЗ; засоби одержання "дерева" програми за управлінням; засобу одержання "дерева"

програми з використання інформації; засоби контролю правильності використання устаткування ЕОМ (при застосуванні мов програмування низького рівня).

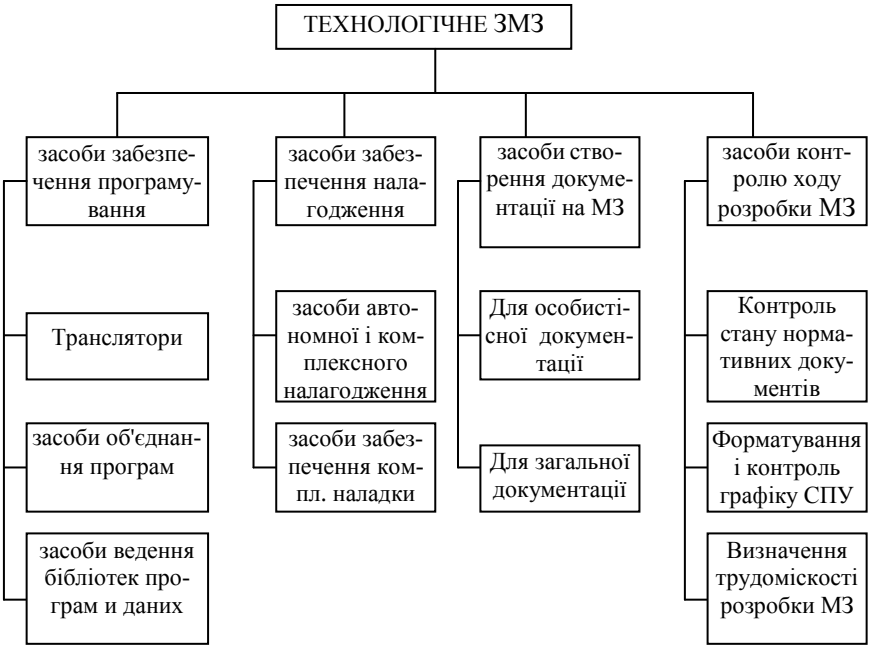


Рис. 4.11. - Структура технологічного ЗМЗ

Автономний наладчик виконує функції: простежування забезпечення безумовних переходів, перевірку умов і умовних переходів, забезпечення роздруківки даних, управління значеннями змінних і т.п.

На комплексний наладчик можуть покладатися функції: завдання дій у контрольних точках (останов, уведення даних, вивід даних, набір статистики й т.п.), контроль за модифікацією інформації в заданій області основної пам'яті, контроль за перекручуванням програми й постійної інформації, забезпечення повернення на заздалегідь певну крапку (рестарт), передача управління на початок заданого програмного модуля, уведення й вивід даних у задані моменти часу й т.п.

Підсистема випуску й коректування документації на МЗ призначена для формалізації й автоматизації процесу випуску й коректування документації на МЗ. Вона містить два види засобів: одержання особистісної

документації й одержання загальної документації. До особистісної документації відносять: схему програми, текст програми, паспорт програми, структуру й зміст зони інформації, паспорт зони інформації. До загальної документації відносять: схему зв'язків за управлінням, схему зв'язків, за інформацією, розподіл основної пам'яті за зонами інформації, розподіл основної пам'яті за програмними компонентами, документацією на машинному носії із змістом МЗ.

Підсистема контролю ходу розробки математичне забезпечення АСУ призначена для формалізації й автоматизації контролю ходу розробки МЗ на різних стадіях і етапах, а також для одержання комплексних характеристик розробки. Вона здійснює наступні функції: контроль наявності й стану регламентуючих і вихідних документів, контроль стану розробки МЗ, контроль за ходом випуску документації на МЗ, контроль витрат ресурсів ЕОМ за налагодженням МЗ, контроль стану й використання ЕОМ, призначеної для налагодження математичне забезпечення АСУ, формування й контроль сіткового графіка розробки МЗ з виявленням критичних і передкритичних шляхів, визначення характеристик трудомісткості розробки МЗ.

4.4.2. Програмне забезпечення

Програмне забезпечення (ПЗ) представляє сукупність програм на носіях даних і програмних документів, призначена для налагодження, функціонування й перевірки працездатності АСУ.

Програмне забезпечення розробляється разом з технічним забезпеченням, які становлять ***програмно-технічний комплекс***, що являє собою сукупність засобів обчислювальної техніки, програмного забезпечення й засобів створення й заповнення машинної інформаційної бази при вводі АСУ в дію, достатніх для виконання одного або декількох завдань АСУ. Однак при розробці цього комплексу провідна роль належить ПЗ, тому що на його основі уточнюється ***Т*** - структура АСУ.

Програмне забезпечення АСУ складається із загального (ЗПЗ) і спеціального (СПЗ) програмного забезпечень (рис. 4.12).

Загальне програмне забезпечення поставляється разом з комплексом технічних засобів і включає стандартну операційну систему реального часу, систему трансляції, редагування і наладки програм, діагностичну систему. Загальне програмне забезпечення стандартне для використовуваного типу ЕОМ і не залежить від об'єкту застосування.

Спеціальне програмне забезпечення, у свою чергу, складається із загальносистемного забезпечення (або за іншою термінологією - програм функціонування), характерного для АСУ ТП даного класу. Вихідними

даними для розробки програмного забезпечення є результати, отримані при обґрунтуванні всіх видів забезпечення, крім технічного.

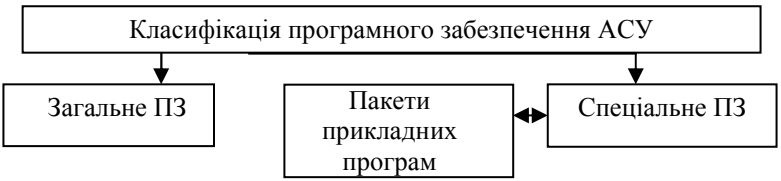


Рис. 4.12. Класифікація програмного забезпечення АСУ

У результаті розробки ПЗ складається схема ***Р***- структури КЗА, використовуваних у складі АСУ, з описом програмного забезпечення. Рішення, обґрунтовані в ході створення ПЗ, використаються при уточненні ***Т***-структури АСУ.

У ***Р***- структурі приводять перелік частин ПЗ із вказівкою їхніх взаємозв'язків і обґрунтуванням виділення кожної з них. Приклад укрупненої Р- структури АСУ показаний на рис. 4.13.

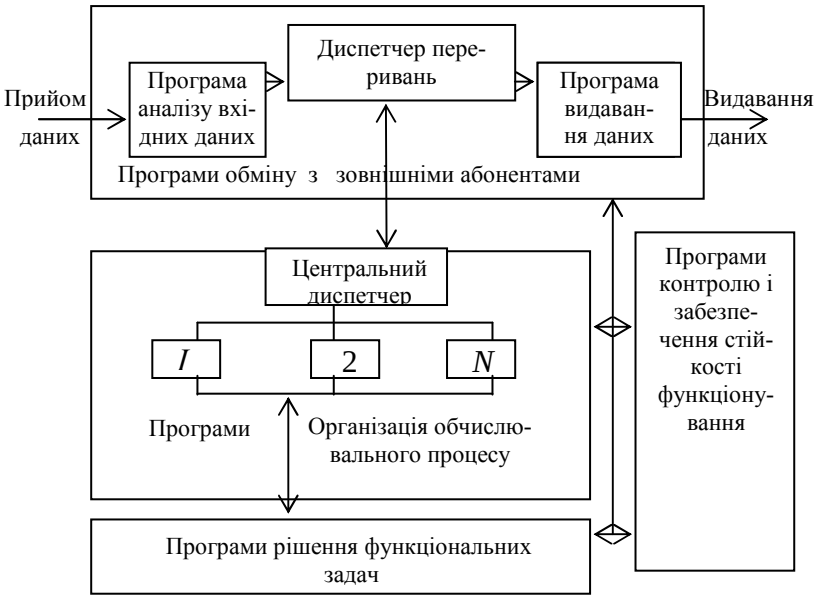


Рис. 4.13. - Укрупнена Р-структура типового КЗА

При обґрунтуванні операційної системи вибирають ту, котра найбільше якісно забезпечує реалізацію програм, що розробляються. Крім того, розробляються вимоги до варіанта генерації обраної версії операційної системи.

У процесі опису засобів, що розширюють можливості операційної системи, обґрунтовують необхідність застосування даного засобу й вимоги до настроювання використовуваного засобу.

Найбільш прогресивною формою організації спеціального програмного забезпечення є так звані пакети прикладних програм (ППП), які призначені для реалізації окремих функцій або навіть сукупності функцій АСУ.

Крім того, до програм пред'являються вимоги легкого перенастроювання і змінності в процесі освоєння і розвитку системи. Це вимога добре узгоджується з вимогами типізації і уніфікації програм. Виконання цих вимог в ідеальному випадку приводить до створення програм, що параметрично настроюються на характеристики і особливості конкретної системи. Відповідні пакети прикладних програм називаються ***пакетами інтерпретуючого типу*** і складаються з програми-інтерпретатора, що управляє, і інформаційної бази, в яку включені параметри управління (рис. 4.14).

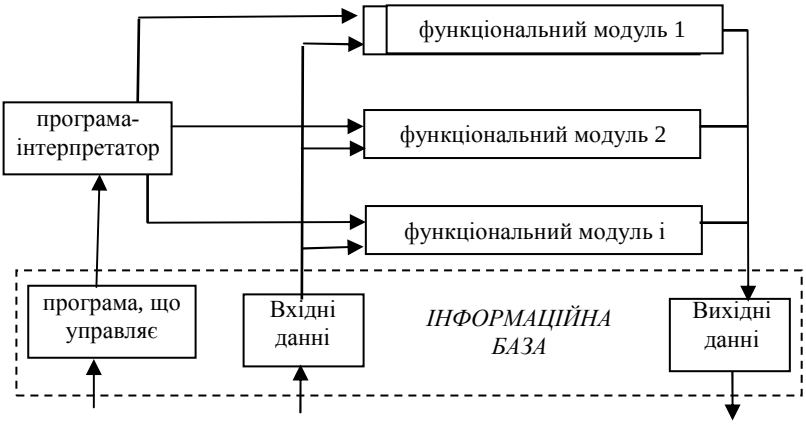


Рис. 4.14. Структура типової програми інтерпретуючого типа

В процесі функціонування програма, що управляє, проглядає масиви інформаційної бази відповідно до параметрів управління і викликає на виконання ті або інші функціональні модулі. Настройка функціональних модулів здійснюється за фактичними параметрами також включених в

інформаційну базу.

Таким чином, інформаційна база містить в собі всю необхідну інформацію, що відображає характеристики і особливості конкретної системи.

4.5. Організаційне, методичне, лінгвістичне та правове забезпечення АСУ

Організаційне забезпечення АСУ це сукупність документів, що встановлюють організаційну структуру, права й обов'язки користувачів і експлуатаційного персоналу АСУ в умовах функціонування, перевірки й забезпечення працездатності системи.

Результатом розробки даного виду забезпечення є:

1) схема організаційної структури (О - структури) АСУ, що містить:

- склад підрозділів (посадових осіб) організації, що забезпечують функціонування АСУ або використають при прийнятті рішення інформацію, отриману від АСУ;
- основні функції й зв'язки між підрозділами й окремими посадовими особами, зазначеними на схемі, і їхня підпорядкованість, а також перелік категорій персоналу АСУ й число штатних одиниць;

2) опис організації функціонування системи й порядок взаємодії персоналу АСУ й персоналу об'єктів автоматизації;

3) розроблені заходи щодо захисту від помилкових дій персоналу системи.

При обґрунтуванні організаційного забезпечення АСУ використовують різні типові структури. Виділяють лінійні ієрархічні, функціональні, матричні інші, структури організаційного управління.

Лінійна ієрархічна структура характерна: тим, що керівнику є можливість безпосередньо віддавати несуперечливі команди управління. При цьому керівник повинен мати різнобічну підготовку й високої компетентність, необхідну для прийняття раціонального рішення за управлінням, що вважається недоліком даної структури.

У функціональній структурі у допомогу керівнику створюються групи фахівців з питань реалізації основних функцій управління. Кожна така група приймає свої рішення в рамках реалізованих ними функцій і несе за це відповідальність. Достоїнство структури полягає в тім, що спрощується робота керівника, тому що з нього знімається частина навантаження. Недоліком структури вважається той факт, що потрібна координація дій груп і підвищується ймовірність порушення єдиноначальності.

Матричні структури організаційного управління найбільше ефективно можуть реалізуватися при створення складних технічних систем. У

такій системі може накопичуватися досвід, що є її достоїнством. Однак у матричній структурі обмежена діяльність керівників окремих проектів і дубльована інформація, що знижує ефективність функціонування структури. Використають комбіновані й інших, типи структур.

При обґрунтуванні організації функціонування АСУ відбивають склад процедур (операцій) з урахуванням забезпечення взаємозв'язку й сумісності, процесів автоматизованої й неавтоматизованої діяльності, формують вимоги до організації робіт в умовах функціонування АСУ. Крім того, приймаються рішення за чисельністю, кваліфікації, функціям персоналу АСУ, режимам його роботи й порядку взаємодії.

На основі розробленого організаційного забезпечення уточнюється *I* - структура АСУ, завдання управління, що забезпечують найбільші цільові, технічні, економічні ефекти системи, що розроблюється, формалізуються вимоги до комплексу технічних і програмних засобів.

В організаційне забезпечення включаються питання методичного й правового забезпечення.

Методичне забезпечення представляє сукупність документів, що описують технологію функціонування АСУ, методи вибору й застосування користувачами технологічних прийомів для одержання конкретних результатів при функціонуванні АСУ.

Лінгвістичне забезпечення, являє собою сукупність засобів і правил для формалізації природної мови, які використовуються при спілкуванні користувачів і експлуатаційного персоналу АСУ з комплексом засобів автоматизації системи управління.

При спілкуванні із КЗА (ЕОМ) застосовують діалогові мови спеціального призначення. При функціонуванні системи використаються мови програмування, моделювання, пакети прикладних програм. Можуть застосовуватися мови високого рівня, мови для управління обчислювальним процесом, а також спеціалізовані мови для автоматизації розробки й налагодження програмного забезпечення.

Теоретичною основою побудови лінгвістичного забезпечення АСУ, зокрема основою побудови мов маніпулювання даними, є числення предикатів, математична логіка і теорія реляційних баз даних.

Правове забезпечення АСУ - це сукупність правових норм, що регламентують правові відносини при функціонуванні АСУ і юридичний статус її функціонування.

Правові норми (акти) визначають організацію АСУ, цілі, завдання, структуру й функції системи, регламентацію процесів створення й функціонування АСУ. Основою правового забезпечення є закони, відповідні укази й постанови уряду, накази, інструкції, акти міністерств і відомств, організацій, підприємств, установ, у рамках яких створюються АСУ. Всі

юридичні акти за своїм характером можуть бути розділені на дві частини: правове забезпечення з розробки й правове забезпечення функціонування АСУ. При розробці АСУ істотними виявляються договірні відносини розроблювача й замовника, їхнє правове регулювання, умови використання ресурсів. Для етапу функціонування АСУ повинні бути визначені: статус АСУ, правове положення структурних підрозділів, правові позиції окремих видів процесів управління, порядок створення й використання інформаційних ресурсів і їхніх носіїв, використання програмних, технічних і інших ресурсів, наявних в АСУ.

4.6. Технічне забезпечення АСУ

Сукупність всіх технічних засобів, призначених для забезпечення функціонування АСУ, становить ***технічне забезпечення АСУ***, яке входить складовою частиною в КЗА. Всі технічні рішення, прийняті при обґрунтуванні технічного забезпечення, спрямовані на досягнення однієї мети - вибору за критерієм ефективність-вартість раціонального варіанта побудови структури технічних засобів КЗА (синтез ***Т***-структури). Склад і зв'язки технічної структури АСУ ***S(T)*** істотно залежать від. мети її функціонування *W*, а також параметрів ***F, 0, J, А, Р,*** *і* ***Д*** - структур, тобто

$$S(T)= f (W, S(J) S(A) S(O) S(P) S(F) S(Д)).$$

Кожна структура характеризує окрему сторону АСУ, тому дослідження впливу цих структур або їх комбінацій на ефективність функціонування саме ***Т*** - структури дозволяє вибрати раціональний варіант побудови технічних засобів.

При цьому вирішуються наступні основні завдання:

1) обґрунтування схеми автоматизації, що містить:

- спрощене зображення об'єкта або його частини, для якої складена схема;
- засоби технічного забезпечення, що беруть участь у процесі управління, відображеному на схемі;
- функціональні зв'язки між засобами технічного забезпечення ;
- зовнішні функціональні зв'язки технічного забезпечення з іншими технічними засобами;

2) обґрунтування структури, режимів функціонування і складу комплексу технічних засобів (КТЗ) і зв'язків між ними або групами технічних засобів;

3) вибір засобів обчислювальної техніки, периферійних технічних засобів, обґрунтування чисельності персоналу, що забезпечує функціонування КТЗ у різних режимах;

4) розробка складу КТЗ передачі даних, обґрунтування основних

показників й технічних характеристик засобів передачі даних;

5) розробка плану розташування КТЗ на пунктах управління й засобів технологічного забезпечення і життєзабезпечення персоналу АСУ та інше.

Для апаратурної реалізації АСУ можуть бути використані наступні основні групи технічних засобів. ***Пристрої для отримання початкової інформації*** від об'єкту управління, які служать для отримання і перетворення первинної інформації про параметри технологічних процесів і стан устаткування, а також для передачі цієї інформації на відповідні пристрої АСУ. До пристроїв цієї групи відносяться: вимірювальні і нормуючі перетворювачі, контактні прилади і пристрої, засоби збору і первинної обробки інформації для інформаційно-обчислювальних комплексів, а також різні пристрої ручного введення даних, що дозволяють людині вводити в систему ті або інші дані.

Одержана первинна інформація за засобом пристроїв телемеханізації видається на центральний пульт управління і в пристрої первинної обробки інформації. Телемеханізації дозволяє здійснювати передачу на відстань великої кількості сигналів за невеликою кількістю ліній зв'язку, за рахунок застосування ущільнення каналів зв'язку.

До засобів телемеханізації відносяться пристрої телекерування, телесигналізації, телевимірювання, а також джерела живлення, диспетчерські пункти і пульти.

Телекерування • передача на відстань сигналів управління, які впливають на виконавчі механізми об'єктів автоматизації.

Телесигналізація - передача на відстань сигналів про стан контрольованих об'єктів автоматизації.

Телевимірювання — передача на відстань сигналів, що характеризують режим роботи об'єктів автоматизації (напруга, струм, тиск, температур і т. п.).

До даної групи входять засоби дротяного і радіозв'язку системи передачі даних і локальні обчислювальні мережі.

Пристрої переробки первинної інформації включають апаратуру перетворення форми надання, математичної обробки і аналізу сигналів. Номенклатура засобів що входять до цієї групи, надзвичайно різноманітна за своїм призначенням. Це і прості індивідуальні вимірювальні комплекси, і обчислювальні комплекси; різні пристрої представлення людині результатів обробки інформації; засоби для введення оператором інформації в систему і цілий ряд інших пристроїв. Головна частина цієї групи управляючих пристроїв виконується на основі спеціалізованих засобів обчислювальної техніки.

Пристрої зв'язку з оператором включають: різні системи наочно-

го відображення на основі дисплейних пристроїв, світлових сигнальних табло, електронно-променевих або цифрових індикаторів; аналогових приладів, що показують або реєструють інформацію; пристроїв цифрової і алфавітно-цифрової реєстрації; клавіш, перемикачів і інших аналогічних пристроїв для виклику інформації на засоби відображення, включення (відключення) стандартних програм і операцій.

Обробка інформації в пристроях цієї групи закінчується видачею результатів у формі, зручній для візуального спостереження, у вигляді реєстраційних документів, а також у вигляді команд для дії на засоби, що входять до ***пристроїв управління, регулювання, контролю і захисту.*** До них відносяться: засоби дистанційного управління і контролю, засоби функціонально-групового управління, засоби автоматичного регулювання, засоби технологічного захисту і блокувань.

Автоматичні регулятори в системі управління застосовуються для підтримки оптимальних умов протікання технологічного процесу без втручання людини. Вони можуть використовуватися як автономні місцеві пристрої регулювання або у складі ієрархічної системи управління спільно з обчислювальною підсистемою.

У якості ***пристроїв для виконання дій, що управляють*** в АСУ використовують різні регулюючі і запірні органи, механізми і інші виконуючи органи.

Перераховані вище технічні засоби відрізняються надзвичайно широкою номенклатурою, що обумовлене значною різноманітністю об'єктів і завдань управління..

Розглянемо технічні засоби, найбільш характерні для АСУ ТП і їх територіальне розміщення (рис. 4. 15).

Безпосередньо на об'єкті управління встановлюються:

- первинні вимірювальні перетворювачі (датчики), що сприймають значення параметрів процесу, що управляється (тиск, витрату газів або рідин, температуру, електричну потужністю, рівень рідини і т.п.);
- сигнальні двопозиційні пристрої, що дають інформацію про включення або виключення того або іншого устаткування;
- виконавчі двопозиційні або регулюючі органи, що здійснюють управляючі дії шляхом відкриття вентилів, зміни частоти обертання двигунів, режиму роботи насосів і т.п.

У безпосередній близькості від технологічних об'єктів встановлюються місцеві щити управління, на яких вмонтовуються регулятори, вимірювальні прилади (що показують і самописні), а також інші пристрої і вузли локальної автоматики.

Оператор, що веде технологічний процес всього об'єкту управління, постійно знаходиться в центральному пункті управління, який обладна-

ний пристроями наочного відображення, управління, контролю і сигналізації, а також реєстрації параметрів і кросовою шафою.

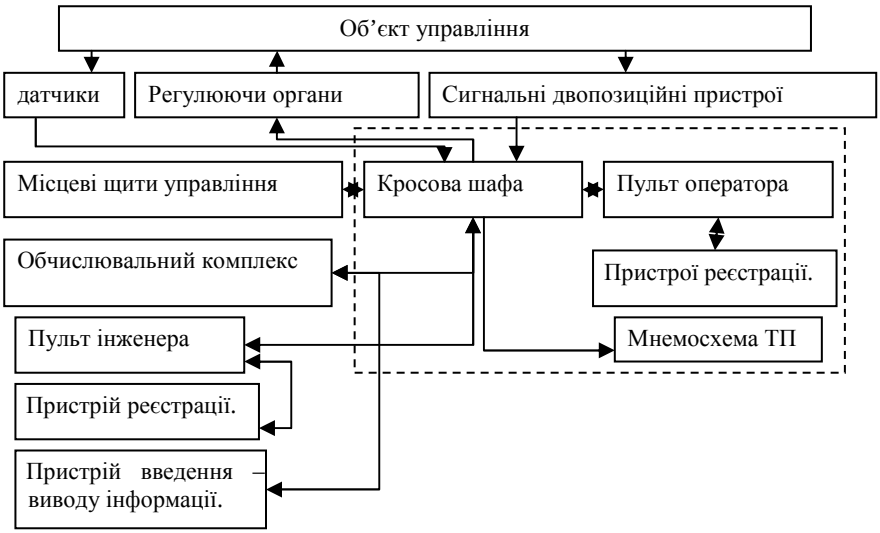


Рис.4. 15. Приклад технічного забезпечення АСУ ТП.

На пульті оператора, встановлені аналогові вимірювальні прилади (показуючі та самопишучі), цифрові пристрої показуючи, за викликом оператора, адреса (номер) і значення параметрів, індикатори на електронно-променевих трубках для представлення операторові букво - символьної і графічної інформації (дисплеї), сигнальні табло, що повідомляють операторові ті або інші рекомендації заведенню процесу, що управляється.

Крім того, часто є мнемонічна схема, відповідна технологічному процесу і що дає оперативну інформацію про стан об'єкту у будь-який момент часу (які саме агрегати включені, які заслінки перекриті і т. д.); на мнемосхемі автоматично відображається відхилення того або іншого параметра від норми.

На пульті оператора також встановлюються:

- дистанційні регулятори, що дозволяють операторові змінювати уставки регуляторів, змонтованих на місцевих щитах;
- клавіатура для виклику свідчень на цифрові прилади.
- засоби зв'язку (телефонний комутатор або селектор, гучномовний

зв'язок і т. п.);

- ключі дистанційного керування, що дозволяють оператору проводити на об'єкті ті або інші перемикання.

На центральному пункті зазвичай розміщується і обчислювальний комплекс АСУ ТП. У його склад входять:

- пристрої інформаційної підсистеми (приймально-передавальні пристрої, аналого-цифрові перетворювачі, пристрої контролю відхилень параметрів, що перевищують допустимі значення, пристрої пам'яті граничних значень параметрів, пристрої масштабування для перетворення відносних показників датчиків в абсолютні значення, пристрій опиту станів сигнальних двопозиційних органів і ін.);
- пристрої підсистеми, що управляє (ЕОМ) (арифметичний, оперативний пристрій, пристрій, що запам'ятовує, зовнішній пристрій, що запам'ятовує, пристрій мультиплексного (селекторного) зв'язку з іншими пристроями обчислювального комплексу, цифро-аналоговий перетворювач, пристрої управління виконавчими механізмами або органами сигналізації на щиті оператора, пристрій аналогового управління регуляторами і регулюючими органами і ін.);
- інженерний пульт - робоче місце оператора ЕОМ;
- пристрій реєстрації, призначений для періодичного друку (наприклад, облікових показників за зміну);
- пристрої введення-виводу інформації.

Повна технічна структура АСУ ТП повинна відображати всі основні засоби, необхідні для виконання функцій системи. Проте на практиці основна увага приділяється центральній частині комплексу засобів, що охоплює ті інформаційні, обчислювальні і управляючі пристрої, за допомогою яких проводиться централізована переробка інформації (включаючи управління) і її надання персоналу. Ця частина характеризує технічну структуру інформаційно-обчислювальної або інформаційно-управляючої підсистеми АСУ.

Необхідно відмітити, що функціональна і технічна структури АСУ ТП не є тотожними і представляють різні аспекти однієї і тієї ж системи. Так, схема функціональної структури відображає склад і порядок виконання функцій системи управління технологічним процесом, а у схемі технічної структури умовно зображуються засоби, за допомогою яких реалізуються ці функції.

Принциповою особливістю АСУ є той факт, що вона функціонує в реальному масштабі часу й в умовах конфлікту із зовнішнім середовищем. Це значить, що рішення (управляючий вплив) повинне вироблятися миттєво в той момент часу, коли надійшли дані від джерел інформації про зовнішнє середовище й стан об'єкта управління ***x(t)***. На основі моделі

об'єкта управління і критеріїв ефективності людина-оператор з урахуванням аналізу поводження об'єкта в минулому й можливому поводженні в майбутньому виробляє альтернативні варіанти управляючого рішення й вибирає найкращий, з погляду мети управління.

Модель необхідна для аналізу поводження об'єкта управління в процесі виробки рішення. Маючи у своєму розпорядженні дані ***x(t)***, відомості про поводження моделі

$$M[x(t), U_n(t)],$$

де $U_n(t)$ - пропоновані управляючі впливи, і значення критерію ефективності ***K*** оператор АСУ істотно впливає на ефективність застосування АСУ.

Критерій ефективності ***K*** у системі управління приводить до наявності в ній блоку прийняття рішення, що надходять на виконавчі органи об'єкта управління. Процес прийняття рішення повторюється багаторазово, тому що або змінюються зовнішні впливи навколишнього середовища ***Z, F***, або змінюються цілі, критерії ефективності управління, що потребує вибрати найкращі управляючі впливи ***U(t)***. Описаний процес спрощено представлений у вигляді структурної схеми на рис.4.16.

Друга особливість у побудові АСУ полягає в необхідності розробки моделі об'єкта, що управляється. Тільки при наявності моделі принципово можливо вести оптимальне управління. Відсутність моделі поводження реального об'єкта не дозволяє взагалі поставити завдання виробки альтернативних варіантів рішень.

Третя особливість полягає в тому, що АСУ є замкнутою системою. У ній існує зворотний зв'язок між управляючими впливами й інформацією про стан об'єкта управління, що надходить на вхід системи управління.

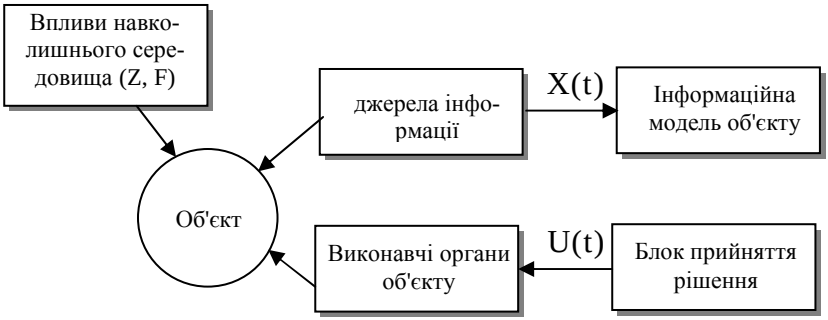


Рис. 4.16. - Структурна схема системи управління

Четверта особливість АСУ полягає в обліку ролі людини-оператора, що приймає участь у управлінні. Людина-оператор приймає рішення на основі деякої сукупності символів, яка представляє штучно у вигляді, інформаційної моделі стан зовнішнього середовища, об'єкта управління й органа управління. Інформаційна модель характеризується сукупністю параметрів зовнішнього середовища й даних про систему управління, відображуваних за допомогою спеціальних засобів. Інформаційна модель являє собою аналог реального поводження системи й зовнішнього середовища. Вона надається оператору на засобах наочного відображення.

Обсяг інформації, що включає в модель, і правила її організації повинні відповідати завданням, способам управління й психофізіологічних особливостей людини. Розглянуте вище дозволяє провести аналіз ролі людини в АСУ на основі деяких класифікаційних ознак як з погляду принципів побудови систем управління, так і з погляду включення людини, у процес управління об'єктом.

Роль людини в автоматизованих системах управління, його місце й функції розглянемо спочатку на основі класифікаційної ознаки - ступінь автоматизації, під якою будемо розуміти обсяг функцій, управління, переданих КЗА АСУ.

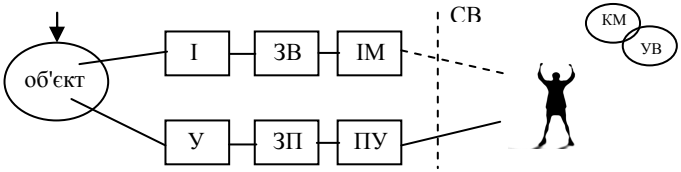
У найбільш простих АСУ (рис.4.17,а) автоматизовані функції збору інформації про об'єкт, яка надається оператору. Дані про об'єкт, його поточний стан пред'являються людині у вигляді інформаційної моделі (ІМ) на відповідних засобах відображення (ЗВ). На підставі інформаційної моделі у свідомості людини виникає (формується) концептуальна модель (КМ) об'єкта, за допомогою якої він оцінює ситуацію, що склалася на об'єкті управління. На основі знань і професійного досвіду оператор виробляє управляючий вплив (УВ), передаючи - його через пульт управління (ПУ) на виконавчі органи, тим самим втручаючись у процес функціонування системи. Найбільш характерні приклади подібних систем - системи управління технологічними процесами, тепловими й енергетичними агрегатами на електростанціях, на залізничному транспорті, а також системи управління військами. Роль людини в цих системах полягає в оперативному управлінні об'єктом, причому процес виробки управлінського рішення - прерогатива людини. Фактично така система дуже близька до неавтоматичної (ручної) системи управління. Відмінність, і істотна, полягає в наявності між об'єктом і аналізаторами людини спеціальної системи відображення (СВ), що забезпечує з тим або іншим ступенем адекватності передачу людині-оператору відомостей про реальні процеси, що протікають в об'єкті управління. Необхідність у такій системі, передачі й відображення інформації виникає з багатьох причин, зокрема, далекість об'єкта, неможливість сприйняття людиною-оператором тих або інших харак-

теристик об'єкта, небажаність присутності людини поблизу об'єкта й т.п. Особливістю функціонування людини-оператора в таких системах є те, що він працює в деякому штучному, символізованому світі, тобто має справа тільки з інформаційними моделями об'єктів, а не із самими об'єктами. Ця особливість відноситься рівною мірою до всіх систем автоматизованого управління, для яких характерна розбіжність сфери діяльності людини-оператора із предметною областю, у якій він здійснює управління.

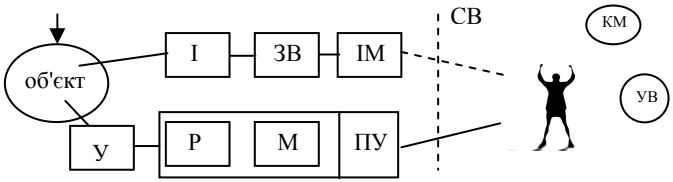
Другий за ступенем автоматизації є АСУ, структурна схема якої наведена на рис.4.17,б. Як видно зі схеми, у цій системі людина, оцінюючи стан об'єкта за інформаційною моделлю (вірніше, на основі концептуальної моделі), уводить вихідні дані, необхідні для автоматичної виробки управляючих впливів з використанням заздалегідь закладеної в систему управління моделі об'єкта (М). Роль людини в такій системі також зводиться до оперативного втручання в, процес функціонування системи, але функції його істотно більше регламентовані в порівнянні із системою, зображеної на рис. 4.17,а.

Часто його функції зводяться до оцінки неузгодженості реальної траєкторії зміни параметрів (їхніх числових значень) об'єкта з бажаною траєкторією, при якій досягається найбільша ефективність управління. В окремих випадках функції людини-оператора в подібних системах зводяться до функції регулювання. Цей вид діяльності людини-оператора полягає в підтримці контрольованих їм параметрів об'єкта в заданих межах. Прикладом може служити діяльність пілотів (капітанів підводних кораблів) при "сліпому" польоті за заданою траєкторією без використання автопілоту.

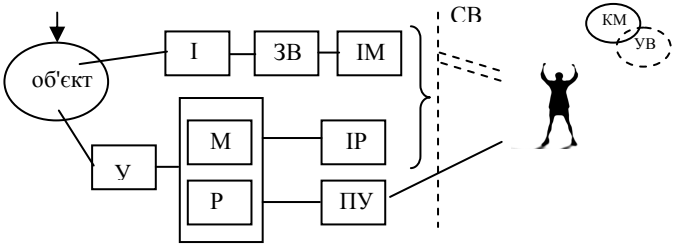
Наступний ступінь автоматизації втілюють у собі так звані системи-порадники (рис.4.17,в). У цій системі людині пред'являється, на засобах відображення, не тільки інформаційна модель ситуації, що виникла на об'єкті, але й обране системою управління одне з альтернативних варіантів рішення, відображуване на засобах відображення у вигляді інформаційної моделі рішення (ІР). Людина, що веде управління, порівнюючи рішення, запропоноване системою управління, з рішенням, що він визначив на основі своєї концептуальної моделі, може або погодитися з рішенням системи ("затвердити" його, дозволити системі його реалізацію), або ввести в систему своє рішення (система в цьому випадку "зобов'язана" підкоритися людині й вести подальше управління за його даним). Роль людини в цьому випадку зводиться до оперативного управління. Прикладом такої системи служить система управління повітряним рухом у районі аеропорту, де одночасно в повітрі перебуває досить багато літаків.



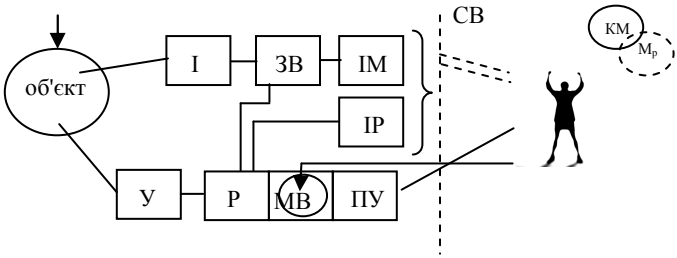
а)



б)



в)



г)

Рис. 4.17. - Рівні автоматизації управління

Одне із завдань диспетчера - визначення порядку виводу літаків на злітно-посадочну смугу для посадки. Апаратно-програмний комплекс системи автоматизованого управління повітряним рухом може виробити управляюче рішення (визначити черговість посадки). Це рішення повинне бути пред'явлене диспетчерові аеропорту, і тільки після його оцінки диспетчером воно може бути прийняте до виконання.

Людина в таких системах не тільки оцінює або "затверджує" рішення, але й виробляє своє, нове, можливо відмінне від машинного, рішення. Це викликано тим, що моделі функціонування об'єкта, закладені в апаратно-програмному комплексі АСУ для виробки альтернативних варіантів, рішень, не повністю адекватні реальному поводженню об'єкта. Розглянута АСУ може бути побудована на принципах самонавчання.

Четвертий рівень автоматизації представлений на рис.4.17,г. У цій системі людині на основі інформаційних моделей об'єкта й ситуації, що склалася на об'єкті, виробляє (вибирає з ряду можливих) модель поводження об'єкта, модель вирішення критичної ситуації (МВ) і закладає її (передає, уводить) у КЗА АСУ. На основі МВ КЗА системи виробляє альтернативні рішення й відображає їх у вигляді інформаційних моделей можливих майбутніх ситуацій. Оцінюючи альтернативні варіанти й прийняту для їхньої побудови МВ, людина або "затверджує" одне з альтернативних рішень як основу для виробки управляючих впливів, або продовжує пошук оптимального в певному змісті рішення за допомогою зміни МВ. Роль людини в такій системі полягає не тільки в оперативному керуванні, але головним чином у виробці стратегії поводження системи управління в цілому, тому що, змінюючи модель поводження об'єкта, він тим самим змінює ступінь адекватності моделі об'єкту управління. Прикладом таких систем управління є системи організаційно-адміністративного управління, тобто системи, що автоматизують процес управління, який здійснюють керівники високого рівня ієрархії управління. До цього типу автоматизованих систем належать й системи автоматизованого проектування (САПР).

Включення людини-оператора до складу АСУ вимагає забезпечення людини інформацією про об'єкт, відомостями про вироблені апаратно-програмним комплексом альтернативні варіанти рішень, засобами введення в систему управління прийнятих людиною рішень. Ці вимоги можна виконати, якщо буде створене спеціальне робоче місце оператора, що дозволить людині успішно виконати покладені на нього функції. Робоче місце оператора обслуговується в більшості випадків спеціальними технічними й програмними засобами, які називаються системами відображення й обробки інформації.

Приведемо коротку класифікацію робочих місць. ***За топологічною***

ознакою робочі місця можуть бути розділені за наявними системами відображення на індивідуальні, колективного користування, територіально рознесені. ***За ознакою підпорядкованості*** ("затвердження" рішення) - однорівневі, багаторівневі, ієрархічні (рішення нижнього рівня обов'язково затверджується вищим), кооперовані (спільне твердження рішення). ***За ступенем мобільності*** робочі місця розділяються на стаціонарні, мобільні, комбіновані (змішані), рухомі. ***За ступенем відповідності характерним рисам людини-оператора*** можна розрізнити автоматизовані робочі місця як унікальні (спроектовані й створені для конкретної людини), малосерійні (створені стосовно до групи людей) і крупносерійні (створені для будь-якої людини, що відповідає професійним вимогам).

Для рішення завдань АСУ сукупність технічних засобів поєднується в комплекси технічних засобів (КТЗ), що виконують певні функції АСУ і організаційно входять у структуру КЗА. Елементами КТЗ є пристрої комплексу, а зв'язки між елементами відображають інформаційний обмін.

КТЗ забезпечує рішення наступних основних завдань:

1) реалізація всього обсягу інформаційного й програмного забезпечення, що вирішує задані на КЗА функціональні завдання управління й обробки інформації;

2) обмін інформацією з абонентами передачі даних;

3) відображення інформації й участь персоналу АСУ в процесі функціонування АСУ;

4) документування інформації;

5) функціональний контроль елементів КЗА;

6) забезпечення управлінського, обслуговуючого й ремонтного персоналу засобами внутрішнього й зовнішнього зв'язку;

7) прив'язка процесів обробки інформації й управління до системи єдиного часу, прийнятої в АСУ;

8) інші завдання.

4.7. Питання до розділу 4

1. Наведіть схему взаємодії основних компонентів АСУ.
2. Дайте визначення поняттю оперативний персонал АСУ.
3. Дайте визначення поняттю децентралізоване управління.
4. Дайте визначення поняттю централізоване управління.
5. Дайте визначення поняттю ієрархічна система управління.
6. Наведіть істотні особливості багаторівневих ієрархічних систем.
7. Наведіть і дайте характеристику основним типам відносин між об'єктами системи управління.
8. Дайте визначення поняттю оперативна інформація.

9. Дайте визначення поняттю нормативно-довідкова інформація.
10. Дайте визначення поняттю інформаційний процес АСУ.
11. Дайте визначення поняттю інформаційне забезпечення АСУ.
12. Наведіть і дайте характеристику складу джерел і споживачів інформації в АСУ.
13. Наведіть і дайте характеристику основних завдань, що вирішуються в ході розробки інформаційного забезпечення АСУ.
14. Наведіть і дайте характеристику складу інформаційного забезпечення АСУ.
15. Дайте визначення поняттю ієрархічна система класифікації.
16. Дайте визначення поняттю фасетна система класифікації.
17. Дайте визначення поняттю база даних.
18. Дайте визначення поняттю машинна інформаційна база АСУ.
19. Дайте визначення поняттю порядковий код.
20. Дайте визначення поняттю серійний код.
21. Дайте визначення поняттю позиційний код.
22. Дайте визначення поняттю математичне забезпечення АСУ.
23. Дайте визначення поняттю математична модель.
24. Наведіть класифікація математичного забезпечення АСУ.
25. Дайте визначення поняттю системне математичне забезпечення АСУ.
26. Дайте визначення поняттю внутрішнє математичне забезпечення АСУ.
27. Дайте визначення поняттю загальне математичне забезпечення.
28. Дайте визначення поняттю спеціальне математичне забезпечення.
29. Дайте визначення поняттю програмне забезпечення АСУ.
30. Дайте визначення поняттю програмно-технічний комплекс.
31. Дайте визначення поняттю загальне програмне забезпечення.
32. Дайте визначення поняттю спеціальне програмне забезпечення.
33. Дайте визначення поняттю організаційне забезпечення АСУ.
34. Дайте визначення поняттю методичне забезпечення АСУ.
35. Наведіть Р-структуру типового КЗА.
36. Дайте визначення поняттю лінгвістичне забезпечення АСУ.
37. Дайте визначення поняттю правове забезпечення АСУ.
38. Дайте визначення поняттю технічне забезпечення АСУ.
39. Наведіть і дайте характеристику основних рівнів автоматизації.
40. Наведіть класифікацію і дайте характеристику робочих місць оператора АСУ.

Розділ 5

Структурний аналіз і синтез АСУ

Розглянуті основні поняття, положення і етапи структурного аналізу і синтезу АСУ, а також властивості притаманні морфологічному, інформаційному, функціональному опису структур АСУ. Наведена агрегатна схема опису функціонування АСУ та, основні підходи до концептуального моделювання АСУ.

5.1. Завдання і етапи структурного аналізу АСУ

Для правильної побудови АСУ необхідний чіткий взаємозв'язок глобальної і особистісної цілей функціонування системи з критеріями її функціонування, раціональне формування структури управління на кожному рівні ієрархії, встановлення ступеня впливу зовнішнього середовища на якість управління.

Вибір концепції побудови АСУ проводиться на основі аналізу і синтезу (рис.5.1). Під ***аналізом*** розуміється метод дослідження шляхом логічного (уявного) розкладання цілого (системи, проблеми, процесу) на складові частини і вивчення окремих сторін і властивостей цілого і його складових частин.

Синтез - це метод дослідження системи (або процесу) шляхом відновлення цілого з частин, узагальнення і зведення в єдине ціле даних, здобутих аналізом. Синтез - це процес породження функцій, структури і параметрів системи за заданими нею властивостями, необхідними і достатніми для отримання певних результатів.

Загальними завданнями аналізу є:

1) побудова математичних моделей АСУ і цілеспрямованого процесу її функціонування;

2) обґрунтування показників якості системи і ефективності процесу її функціонування, а також формулювання критеріїв їх оцінювання;

3) оцінювання ефективності процесу функціонування АСУ і її якості.

На етапі аналізу формулюється мета управління, виходячи з особливостей вивчення об'єкту управління і зовнішнього середовища, ресурсів і обмежень, що споживаються. Для формулювання глобальної мети управління необхідно вибрати відповідні критерії, що характеризують локальні

цілі.

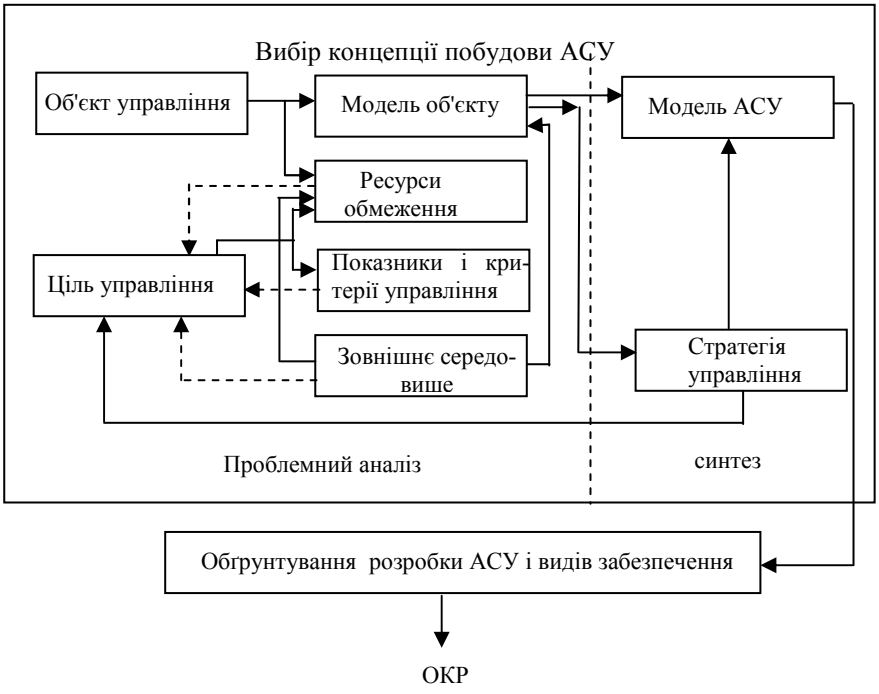


Рис. 5.1. – Взаємозв'язок аналізу і синтезу АСУ

Однією з найважливіших характеристик всякої системи є її структура Під ***структурою системи*** розуміється сукупність елементів і зв'язків між ними, які визначаються виходячи з розподілу функцій і цілей, поставлених перед системою. Приклади існуючих АСУ свідчать про велике число і різноманітність елементів і їх зв'язків. Тому одним з головних завдань структурного аналізу є побудова наочної формальної моделі, що відображає існуючу систему відносин елементів як між собою, так і із зовнішнім середовищем. Структурна модель АСУ найчастіше є багаторівневою, причому конкретизація структури дається на стількох рівнях, скільки їх потрібно для створення повного уявлення про основні властивості системи.

При створенні АСУ структурна модель розглядається на декількох крупних рівнях; організації, функцій управління і технічних засобів. У зв'язку з цим вводяться поняття організаційної, функціональної, технічної і інших структур.

При аналізі ***організаційної структури*** АСУ вирішуються наступні

завдання:

1) опис складу організації і побудова її структурної схеми;

2) визначення функцій окремих підрозділів, розкриття їх структурної схеми;

3) опис матеріальних, речовинних і інформаційних зв'язків;

4) побудова узагальненої структурної інформаційної моделі об'єкту управління.

При аналізі ***функціональної структури*** АСУ:

1) вивчаються функції управління в структурних підрозділах існуючої системи;

2) вибирається склад функцій, що автоматизуються;

3) визначаються ї взаємозв'язки функцій, що автоматизуються;

4) складається узагальнена функціональна структура завдань управлінні АСУ.

При аналізі ***технічної структури*** АСУ:

1) визначаються основні елементи, що беруть участь в основних інформаційних процесах: реєстрації і підготовки інформації, зборі і передачі, зберіганні і обробці, відтворенні і видачі інформації;

2) складається формальна структурна модель системи технічних засобів з урахуванням топології розташування елементів системи і інформаційної взаємодії їх як між собою, так і із зовнішнім середовищем.

Незалежно від рівня розгляду загальне завдання структурного аналізу полягає в тому, щоб виходячи із заданого опису елементів системи і безпосередніх зв'язків між ними отримати висновок про структурні властивості системи в цілому і основних її підсистем. При рішенні практичних задач структурного аналізу АСУ зазвичай приймаються три рівні опису зв'язків між елементами:

1) наявність зв'язку;

2) напрям зв'язку;

3) вигляд і напрям сигналів, що визначають взаємодію елементів.

На ***першому рівні***, коли виходять лише з наявності або відсутності зв'язків між елементами, системи, яка вивчається, може відповідати неорієнтований граф, вершинами якого є елементи системи, а ребрами - існуючі безпосередні зв'язки між елементами. Основні завдання структурного аналізу на цьому рівні зводяться до наступних:

1) визначення зв'язності (цілісності) системи; якщо система не є зв'язною, то ставлять завдання виділення ізольованих зв'язних підсистем із списками елементів, що входять до них;

2) виділення циклів;

3) визначення мінімальних і максимальних послідовностей елементів (ланцюгів), що розділяють елементи один від одного.

На ***другому рівні***, коли заданий напрям зв'язку, системі відповідає орієнтований граф, напрями дуг якого співпадають з напрямами зв'язків. На цьому рівні результати структурного аналізу виявляються змістовнішими. До завдань структурного аналізу в цьому випадку відносять:

1) визначення зв'язності системи;

2) топологічну декомпозицію з виділенням сильно зв'язних підсистем;

3) перерахування вхідних і вихідних полюсів і відповідно до цього виділення вузлів прийому і видачі інформації;

4) виділення рівнів в структурі і визначення їх взаємозв'язку;

5) визначення максимальних і мінімальних шляхів;

6) визначення характеристик топологічної значущості елементів;

7) отримання інформації про слабкі місця структури і ін.

На ***третьому рівні*** опис зв'язків між елементами системи враховує не тільки спрямованість зв'язку, але і розкривається склад і характер сигналів взаємодії елементів (вхідні, вихідні і управління).

Вказані вище завдання структурного аналізу першого і другого рівнів розширюються за рахунок включення наступних завдань:

1) виділення місцевих і загальних контурів управління;

2) виділення типових структурних конфігурацій для кожного з режимів, при багаторежимному характері функціонування;

3) виділення шляхів безпосередньої передачі вхідних сигналів і шляхів передачі сигналів, що управляють і ін.

Аналіз АСУ полягає в деталізованому вивченні їх загальносистемних властивостей, а також умов виконання ними своїх функцій, досягнення заданої мети управління і задоволення вимог, які пред'являються до якості основних і додаткових процесів, що реалізуються ними.

Властивості систем $\{U_j^u\}$ виявляються на основі безлічі різноманітних характеристик $\{M_{jU}^u\}$, які вибираються відповідно до особистісних завдань аналізу і конкретних методик їх рішення.

Всебічний і повний аналіз АСУ здійснюється як послідовне розкриття властивостей системи шляхом поетапного рішення особистісних задач аналізу з дотриманням принципу не надмірності. При цьому кожен подальший етап аналізу оперує моделлю вищого рівня визначеності, а результат виконання етапу є черговим приростом інформації про властивості системи.

Декомпозиція аналізу перш за все виражається в послідовному вивченні властивостей U_j^u самої системи $(\varphi = S)$, потім системи із зв'язками зі зовнішнім середовищем $(\varphi = Z,S,F)$ де Z - безліч станів системи, і далі

розширеної системи $(\varphi = R)$ за особистісними моделями, M^{u}_{jU}, M^{u}_{jU}, M^{u}_{jU}, M^{u}_{ZSFU} і . M^{u}_{RU} . Крім того, різні ранги невизначеності моделей систем управління дають можливість виділити три етапи аналізу:

I - топологічний аналіз за особистісними моделями;

2 - структурний аналіз;

3 - чисельний аналіз.

Кожен етап аналізу моделей системи $M_{\varphi}(r, \varphi) = Z,S,F,R;\ r=1,2,3$ в загальному випадку складається з наступних дій (рис.5.2):

- отримання характеристик (особистісних моделей) $M^{u}_{jU}(r), u = 1,2,...$, виходячи з тих властивостей $U^{u}_{j}(r)$ які слід вивчити в результаті аналізу;
- обчислення різних оцінок (показників, особистісних критеріїв) $I_i[M^{u}_{jU}], i = 1,2,...$, які дозволяють формалізовано зіставляти однотипні характеристики M^{u}_{jU};
- формування на основі підмножин $\{I_i\}$ особистісних критеріїв узагальнених критеріїв J_j, $j = \overline{1,2}$, параметри яких (вагові коефіцієнти) відображають відносну важливість окремих особистісних критеріїв I_i, що входять до складу узагальненого критерію;
- завершальний елемент аналізу представляє, собою зіставлення отриманих характеристик, обчислених значень особистісних критеріїв I_i, сформованих узагальнених критеріїв J_j з цілями системи і вимогами до якості процесів.

Аналіз моделі самої системи управління дозволяє виявити принципові сторони її організації, а також досліджувати фундаментальні і загальні властивості динамічних систем. На основі моделей M_{fsz} визначаються властивості за перетворення сигналів довільного типу, досліджується якість процесів перетворення (смуга частот пропускання, пропускна спроможність і т.п.). За моделями розширених систем M_{φ}, вивчаються основні і додаткові процеси управління.

Аналізу можуть піддаватися ситуації з неповністю визначеними моделями зв'язків або середовища. У цих випадках необхідно додатково визначити модель розширеної системи $\ddot{M}_{y}$, вибираючи типові зв'язки і типові дії $\ddot{M}_{sz}$, $\ddot{M}_{fs}$ і типові дії $\ddot{M}_{z}$, проаналізувати ситуацію з найбільшою невизначеністю - тільки контурну частину, переходячи до еквіва-

лентних одноконтурних систем — придушення або відтворення типових дій.

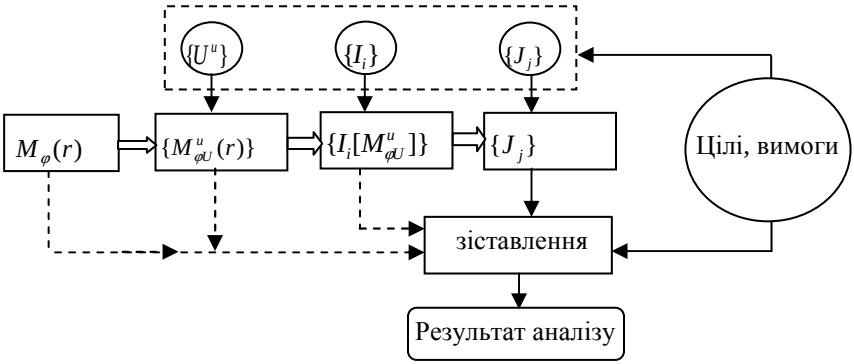


Рис. 5.2. - Послідовність аналізу моделей системи

Топологічний аналіз лежить в основі розкриття особливостей взаємозв'язків змінних або ланок, тобто внутрішньої організації систем, і їх впливу на властивості систем. Залежно від наборів властивостей, наявність яких у аналізованих систем слід виявити в результаті топологічного аналізу, формуються різні постановки завдань. Для прикладу вкажемо наступні групи завдань:

- виявлення загальносистемних властивостей, що зводиться до аналізу графів на зв'язність;
- перевірка відповідності топології системи функціям управління, тобто наявність зворотних зв'язків; виділення сильно зв'язних компонентів графа;
- перевірка досяжності цілей управління - наприклад, наявність шляхів передачі дій, що управляють і т.п.

Структурний аналіз, для моделей з відомими структурами операторів дуг або ланок, на додаток до топологічного дозволяє виявити умови фізичної здійсненності різних форм інваріантності, виявити умови структурної стійкості, досліджувати асимптотичні властивості характеристик системи, а також отримати символьні вирази для функцій чутливості, які в подальшому дозволяють підвищити ефективність чисельного аналізу і синтезу систем. Остаточна думка про якість систем і процеси управління виноситься в результаті чисельного аналізу систем. Саме на цих етапах аналізу з'ясовується відповідність властивостей системи вимогам, які до неї пред'являються.

Вимоги до якості сталих і перехідних, основних і додаткових процесів, як правило, формулюються у вигляді обмежень на критерії I_i і J_j. Оскільки ці обмеження в загальному випадку не дозволяють однозначно перейти до характеристик, а тим більше конкретизувати топологію, структури операторів або значення параметрів систем, то вимоги до динамічних властивостей системи, сформульовані на мові оцінок процесів і характеристик, побічно описують не одну, а безліч систем M_T. Ця безліч M_T може бути названа моделлю вимог.

У разі повністю визначеної моделі аналіз полягає в перевірці її приналежності безлічі систем M_T.

Якщо досліджуються додаткові процеси систем, то аналіз ускладнюється, перетворюючись на багатократну побудову характеристик і обчислення критеріїв для безлічі моделей.

Множинний характер аналізу має місце у всіх випадках, коли досліджується залежність властивостей систем від варіацій параметрів, структур операторів і топології. Потрібно відзначити при цьому, що повний аналіз навіть щодо нескладних систем, який проводиться механічно, зажадає перебору величезної кількості варіантів топології, структур операторів і значень параметрів, тому аналіз систем при загальній постановці завдання повинен бути не тільки автоматизований, але і спеціальним чином організований відповідно до принципів послідовного розкриття невизначеності і ненадмірності.

Основними алгоритмами аналізу, як це витікає з рис.5.2, є алгоритми отримання відповідних властивостям що виявляються U^u_{jU} характеристик M^u_{jU}, обчислення різних оцінок $I_i[M^u_{jU}]^{ju}$ і формування узагальнених критеріїв I_i.

Якщо результат аналізу негативний, тобто система не задовольняє вимогам, то необхідно прийняти певні заходи і вирішувати задачу синтезу.

5.2. Завдання і етапи структурного синтезу АСУ

Після завершення аналізу переходять до синтезу, результатом якого є створення моделі АСУ і вибір деякої стратегії управління. Синтез реалізується також на концептуальному і логічному рівні. На логічному рівні формалізується завдання синтезу АСУ, основним змістом якого вважається синтез моделі АСУ.

У загальному випадку ***до основних завдань синтезу АСУ*** відносять:

1) виявлення і формулювання мети (цілей) функціонування і відбір

значущих чинників, якими можна управляти;

2) вибір показників ефективності функціонування АСУ і критеріїв їх оцінювання;

3) обґрунтування вимог до структури технічних і програмних засобів АСУ, вибір елементів АСУ і визначення їх зв'язків (структурний синтез);

4) обґрунтування вимог до експлуатаційно-технічних характеристик системи;

5) побудова математичної моделі функціонування АСУ і визначення її оптимальних характеристик.

У основі синтезу моделі АСУ лежить синтез її структури, а тому виникає завдання формальними методами синтезувати ***О, F, І, А, Р, Т і Д*** - структури системи.

Важливим моментом синтезу структури АСУ вважається синтез їх технічних засобів, послідовність якого представлена на рис.5.3. Вибір раціональної структури служить основою для обґрунтування видів забезпечення якості та переходу до дослідно-конструкторських робіт.

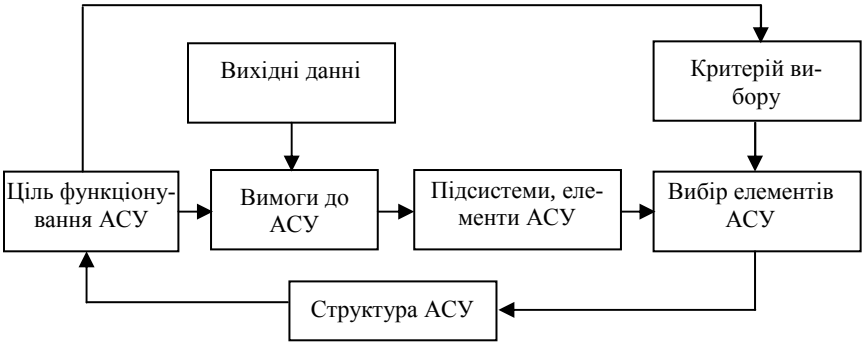


Рис. 5.3. - Послідовність синтезу технічних засобів АСУ

Розглянемо детальніше завдання синтезу структури АСУ.

Одним з етапів розробки варіанту побудови АСУ і її складових частин є ***структурний синтез*** під яким розуміється представлення структури системи, що створюється у вигляді композиції підсистем, які реалізовують узагальнені алгоритми функціонування системи.

Основним змістом структурного синтезу АСУ на всіх рівнях є розробка і опис (вербальний, формальний і їх комбінації) ***F, О, І, А, Р, Т і Д –*** структур АСУ і її складових частин.

Структурний синтез АСУ проводиться на наступних основних систе-

мних рівнях:

1) на рівні АСУ в цілому;
2) на рівні КЗА;
3) на рівні функціональних підсистем КЗА;
4) на рівнях нижчого порядку.

Структурний синтез породжує структуру і параметри за заданими функціями і властивостями, які необхідні і достатні для отримання певних результатів при функціонування АСУ.

Застосування ***багаторівневого опису АСУ*** витікає з необхідності спрощення процесу її побудови, з одного боку, і необхідності обліку численних характеристик АСУ, з іншого боку.

Перший рівень враховує наступні елементи АСУ і їх взаємодії в процесі функціонування:

- підсистему, що управляє, як правило ієрархічну, в якій підсистема прийняття рішень розподілена за декількома підлеглими рівнями, кожний з яких виконує частину функції прийняття рішень на конкретному КЗА;
- об'єкт управління;
- зовнішнє середовище, що впливає на підсистему, яка управляє, і об'єкти управління;
- інформаційні зв'язки АСУ із зовнішнім середовищем, в яких відбивається роль АСУ як деякого перетворювача інформації в її інформаційні взаємодії із зовнішнім середовищем.

На першому рівні в основному уточнюються концепція побудови АСУ і її технологія, які розробляються на етапі системного аналізу. Також на цьому етапі обґрунтовується, в інтересах T – структури, склад відповідних підсистем АСУ, що реалізують покладені на неї функції за управлінням об'єктами, уточнюються ресурси, конкретизуються показники, критерії і стратегія управління.

Другий рівень характеризується тим, що на ньому виявляється спосіб реалізації основних функцій АСУ і відносин між ними, а також обґрунтовуються функціональні підсистеми КЗА, які повинні спільно виконувати певну частину загального алгоритму управління об'єктами.

Третій рівень дозволяє виявити структуру функціональних підсистем КЗА і в першу чергу структуру комплексу технічних засобів функціональних підсистем. Основна увага приділяється вибору складу і зв'язку технічних засобів, які реалізують окремі функції інформаційного процесу АСУ.

Для дослідження можливих варіантів на цьому етапі застосовуються прості моделі (графи), що забезпечують можливість отримання наближених оцінок для якнайгіршого випадку.

Відповідно до трьох рівнів списання АСУ виникають три групи за-

вдань, що вирішуються на етапі розробки АСУ:

1) визначення структури АСУ з урахуванням взаємодії із зовнішнім середовищем і визначення вимог до КСА;

2) розробка структури КЗА з урахуванням взаємодії його з об'єктами управління і завдання вимог до функціональних підсистем КЗА;

3) обґрунтування T - структури функціональних підсистем і завдання вимог до її елементів.

Перераховані завдання є конкретизацією завдань побудови АСУ.

Початковими даними для вирішення завдань структурного синтезу АСУ служать результати, отримані в ході топологічного синтезу. У свою чергу, результати, отримані в процесі структурного синтезу, використовуються як початкові дані для параметричного синтезу АСУ.

Методика проведення структурного синтезу АСУ істотно не відрізняється для кожного рівня з огляду на те, що багаторівневий опис характеризується цілою низкою загальних властивостей.

1. Вибір рівня опису АСУ залежить головним чином від мети дослідження. Виділення декількох рівнів для розробки АСУ дозволяє вести паралельну побудову моделей структур на кожному рівні різними фахівцями.

2. Аспекти опису функціонування АСУ на різних рівнях в загальній випадку не зв'язані між собою. Тому принципи, закони і математичні засоби, що використовуються для опису системи на будь-якому рівні, не можуть бути формально виділені з принципів, використовуваних на інших рівнях.

3. Існує залежність між умовами функціонування системи на різних рівнях. Тобто вимоги, що пред'являються до функціонування АСУ на верхньому рівні, виступають як умови або обмеження для нижчестоящих рівнів.

4. На кожному рівні є свій власний набір понять і принципів, складових мов опису АСУ.

5. Деталізація системи зростає при послідовному переході від одного рівня до іншого. Чим нижче проводиться спуск за ієрархічними сходами, тим більш детальним стає розкриття АСУ, тим ясніше стає сенс і призначення всієї системи.

Таким чином, рішення системотехнічних задач для АСУ можливо тільки на основі багаторівневого принципу побудови різних її структур і побудови відповідних моделей, необхідних для аналізу властивостей варіанту побудови системи, що вибирається.

Синтез АСУ є вибір або виділення із заданої множини систем деякої підмножини, яка найкращим чином відповідає функціям і цілям управління і задовольняє заданим вимогам до якості процесів. Таким чином, ***під***

синтезом в широкому сенсі слова розуміється зменшення невизначеності або різноманітності систем за рахунок відповідної переробки інформації про функції, цілі, оцінки, вимоги і моделі систем.

Синтез, як завдання підвищення визначеності моделей систем за рахунок інформації про їх властивості є зворотним за відношенням до аналізу, при якому за моделями систем різних рангів невизначеності виявляються їх властивості. Принциповою особливістю синтезу є те, що немає універсальних методик формульного переходу від заданих властивостей до моделі систем. Це частково пояснюється неоднозначністю переходу, оскільки одному і тому ж набору властивостей може відповідати безліч систем, причому у загальному випадку наперед не можна сказати, чи порожня ця множина, чи містить єдиний елемент, чи володіє кінцевою або нескінченною потужність. Тому завдання синтезу, вирішується як багатократний аналіз систем, вибираних за певним правилом з безлічі варіантів. Синтез має сенс тільки в тому випадку, якщо початкова безліч варіантів систем містить більш за один елемент, тобто є вибір.

Елементи початкової множини, серед яких вибираються якнайкращі або потрібні системи, можуть відрізнятися параметрами, структурами операторів або топологією. Якщо варіанти систем відрізняються, параметрами, то початкова множина, як правило, має потужність континууму, і являє собою модель другого ***M (2)*** або змішаного ***M (2,3)*** рангу невизначеності. При цьому синтез називається ***параметричним*** і в загальному випадку зводиться до зменшення початкової області в просторі параметрів, а в окремому випадку - до вибору єдиного варіанту повністю визначеної системи ***M (3)*.**

Якщо початкова множина характеризується більшою невизначеністю і включає системи, що відрізняються структурою операторів деяких дуг або ланок, то вона являє собою модель першого рангу ***M (1)*** або моделі змішаних рангів ***M(1,2), M(1,3), M(1,2,3)***, а метою структурного синтезу є зменшення варіантів структур, зокрема - вибір єдиної структури, тобто зменшення невизначеності моделі до другого або змішаного ***M(2,3)*** рангу.

У найбільш загальному випадку топологічного синтезу дослідник вибирається єдина топологія з множини, що представляє модель нульового рангу невизначеності ***M(0)*** або моделі ***M(0,1), M(0,2), M(0,3), M(0,1,2), M(0,1,3), M(0,2,3), M(0,1,2,3),*** і тим самим зменшити невизначеність до рангів ***M(1)*** або ***M(1,2), M(1,3), M(1,2,3)***.

Можна бачити, що результат топологічного синтезу є початковим матеріалом для структурного, а результат структурного синтезу є початковим матеріалом для параметричного синтезу. Отже, ці завдання можуть скласти етапи більш загальної процедури синтезу, що є послідовним розкриттям невизначеностей моделей від ***M(0)*** до ***M(3)***. Етапи синтезу струк-

тури АСУ показані на рис.5. 4, а. основний зміст етапів синтезу технічної системи показаний на рис.5.5.

Побудова моделей реально існуючих технічних засобів АСУ зв'язана, по-перше, з активним експериментальним дослідженням їх елементів або пасивним спостереженням за їх поведінкою і діями в режимі нормальної експлуатації, по-друге, з обробкою результатів спостережень для перетворення їх в моделі стандартної форми надання, забезпеченої алгоритмами аналізу і синтезу. Сукупність цих операцій об'єднується терміном "***ідентифікація об'єктів*** ", а алгоритми обробки результатів з урахуванням специфіки натурних експериментів можна назвати алгоритмами ідентифікації. До них, наприклад, відносяться алгоритми отримання диференціальних (різницевих) рівнянь або передавальних функцій отриманих з деякою помилкою.

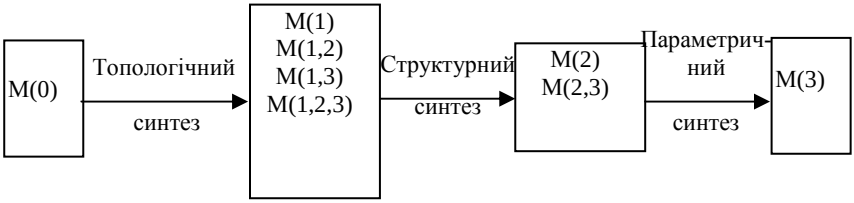


Рис. 5.4. - Етапи синтезу структури АСУ

Моделі динамічних систем добре вивченої природи можуть бути представлені у вигляді принципових схем . У цьому випадку під отриманням моделей розуміють їх перетворення до стандартного вигляду: систем диференціальних і алгебри рівнянь, сигнальних графів, структурних схем, часових або частотних характеристик. При необхідності розрахунку АСУ, що проектуються, такий шлях отримання моделей є єдино можливим.

До проблеми отримання моделей тісно примикають завдання їх спрощення: пониження порядку моделей, для чого є численні алгоритми; лінеаризація нелінійних моделей для малих варіацій змінних щодо сталого режиму; лінеаризація нелінійних моделей для безлічі значень змінних і для періодичних сигналів.

На ***етапі загальносистемного проектування*** одного з найголовніших завдань є завдання проектування структури.

Стосовно АСУ найбільш поширеним є випадок, коли принципи побудови, виконувані функції, що виконуються і компоненти системи є заданими на основі топологічного синтезу. Тоді завдання синтезу оптимальної структури полягає у визначенні оптимального відображення безлічі виконуваних функції, що виконуються на безлічі взаємозв'язаних елемен-

тів.

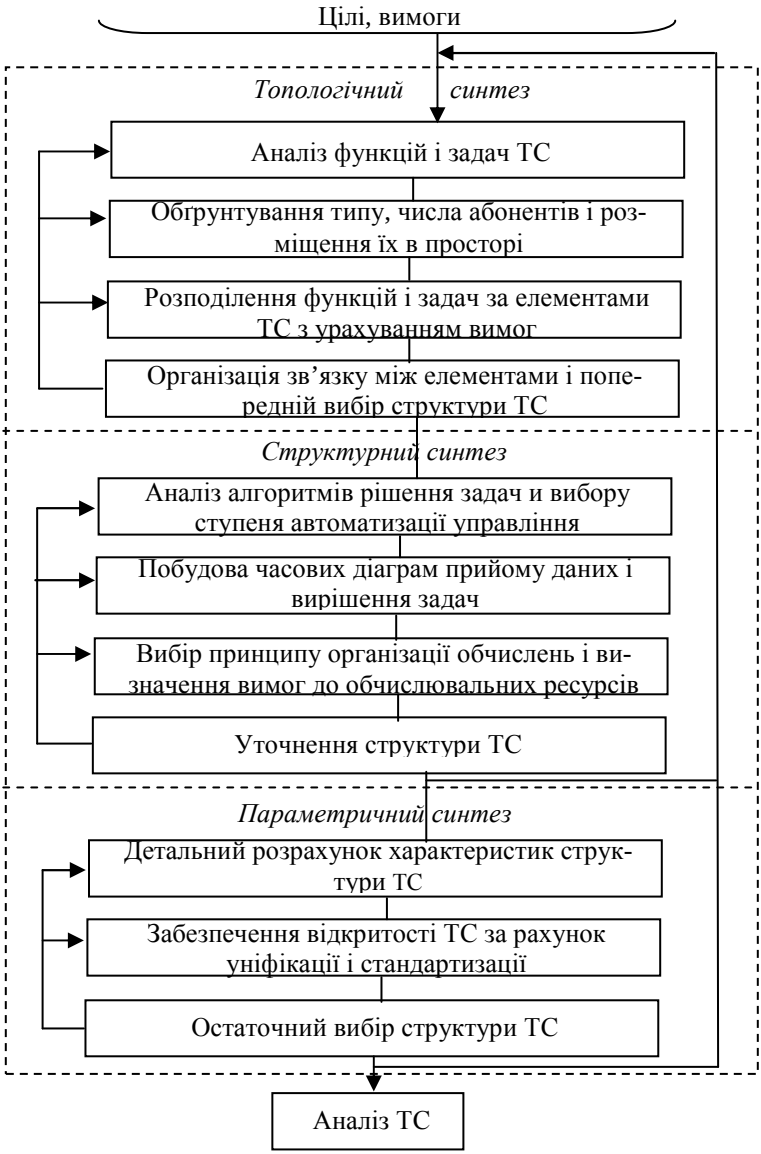


Рис. 5.5. - Зміст етапів синтезу технічної системи

Вибрана ***структура системи вважається оптимальною***, якщо досягається максимум (мінімум) вибраного показника ефективності, що відображає основні властивості системи з погляду виконання поставлених перед нею завдань.

На ***етапі структурного синтезу*** функції системи представляються у вигляді сукупності взаємозв'язаних завдань, які, у свою чергу, можуть бути розбиті на сукупності операцій. Завідомих характеристиках операцій і їх взаємозв'язків можуть бути отримані відповідні характеристики завдань.

При формалізації взаємозв'язків між функціями зазвичай враховується порядок проходження операцій і їх тривалість, а також об'єми циркулюючої інформації. Формалізація взаємозв'язків зазвичай проводиться на основі теорії графів.

Вже формалізовані завдання структурного синтезу можуть розрізнятися:

а) видом показників ефективності;

б) типом характеристик елементів, що враховуються;

в) видом обмежень, що накладаються на ресурси (часові, технікоекономічні і т.п.).

При вирішенні задачі структурного синтезу знаходять застосування різні моделі і методи. Широкого поширення набули моделі математичного і дискретного програмування через комбінаторний характер багатьох завдань.

Розглянемо типову постановку завдання синтезу структури системи управління складним об'єктом. Для визначення оптимальної структури початковими даними є наступні:

1. Виконувані системою функції, які можуть бути формалізовані у вигляді безлічі завдань, що вирішуються $E=\{ Ei\}$, $i = \overline{1,I}$. Кожне із завдань E_i може складатися з q_i етапів: $q_i=1, Qi$. Для кожного із завдань E_i повинні бути задані можливі варіанти їх рішення δ_i, де $i = \overline{1,I}$.

2. Зв'язки між завданнями і їх етапами, які можуть задаватися у вигляді графа δ_E. Дуги графа δ_E. характеризують співвідношення слідування, які існують між задачами, що вирішуються і їх етапами, і відповідають напрямам інформаційних потоків.

3. Безліч можливих елементів (вузлів) системи $M=\{ M_j\}$, $j = \overline{1,J}$ та зв'язки між ними, які задаються у вигляді графа δ_M. Вершини графу відображають елементи, а дуги - зв'язки між елементами системи.

4. Види і характеристики технічних засобів, застосування яких можливо в КЗА, для яких $A=\{a_e\}$ - безліч можливих технічних засобів, а

$l = \overline{1, L}$ - тип технічного засобу.

5. Зовнішні для системи джерела і споживачі інформації за всіма етапами завдань.

Завдання визначення оптимальної структури полягають в знаходженні оптимального складу елементів системи M і зв'язків між ними δ_M, знаходженні завдань, що покладаються на технічні засоби і варіантів їх рішення E, δ, розподілі їх за рівнями і елементами системи, а також виборі комплексу технічних засобів A, при якому максимізується ефект від впровадження АСУ.

Оптимальна структура визначається при обмеженнях на ресурси, на технічну реалізацію, на завантаження технічних засобів, на своєчасність рішення задач.

Складність рішення задачі синтезу оптимальної структури призводить до того, що на практиці ставлять і вирішують більш особистісні задачі синтезу. Наприклад, такі, як визначення оптимального розподілу функцій, що покладаються на систему, за заданими рівнями і вузлах системи, або визначення оптимальних варіантів реалізації функцій в системі, чи вибір комплексу технічних засобів, що забезпечує якісну реалізацію функцій, і інш.

Розглянемо деякі особистісні формулювання завдань формалізованого розподілу безлічі завдань, що вирішуються між різними елементами системи при різних критеріях і обмеженнях.

Особистісні критерії оптимізації.

1. Мінімізація витрат на реалізацію завдань в системі

$$\min \sum_{i=1}^{j} \sum_{j=1}^{j} W_{ij} x_{ij}$$

де $i = \overline{1, I}$ – безліч завдань, функцій, що реалізовуються в системі;

$j = \overline{1, J}$ - безліч обслуговуючих елементів системи;

W_{ij} – витрати на реалізацію i – го завдання в j – му елементі.

Крім того, хай

$$x_{ij} = \begin{cases} x_{ij} = 1, \text{ якщо } i\text{ - а задача виконується в } j\text{ - м вузлі} \\ x_{ij} = 0 \text{ в зворотньому випадку} \end{cases}$$

2. Мінімізація загального часу рішення всіх задач системи.

$$\min \sum_{i=1}^{j} \sum_{j=1}^{j} t_{ij} x_{ij}$$

де t_{ij} - час рішення i-ї задачі в j-му елементі.

3. Мінімізація максимального часу рішення задач в системі

$$min\left(max_j \sum_{j=1}^{j} t_{ij} x_{ij}\right)$$

Можлива оптимізація за більш складними критеріями а також використання критеріїв більш загального типу, таких, як отримання максимального прибутку, забезпечення необхідного часу готовності системи і т.п.

Обмеження в особистісних завданнях синтезу.

1. На зв'язки між завданнями, тобто заданий граф δ_E.

2.На зв'язки між елементами, тобто заданий граф δ_M.

3.На загальні витрати пов'язані із реалізацією завдань в системі:

$$\sum_{i=1}^{i} \sum_{j=1}^{j} W_{ij} X_{ij} \le W_{доп} .$$

4. На витрати пов'язані із реалізацією завдань у елементах системи

$$\sum_{i}^{j} W_{ij} X_{ij} \le W_{jдоп} \qquad \overline{j = 1, J} .$$

5. На завантаження кожного елемента

$$\sum_{i=1}^{j} \lambda_i t_{ij} X_{ij} \le \rho_i \quad \overline{j = 1, J} .$$

λ_i – інтенсивність надходження ***i*** *- го* завдання на рішення.

Можливі додаткові вимоги до рівномірності завантаження елементів системи.

6. На загальний час рішення цих задач

$$\sum_{i=1}^{i} \sum_{j=1}^{j} t_{ij} X_{ij} \le T \quad , \quad \overline{j = 1, J} .$$

7. На час рішення окремих задач

$$\sum_{j=1}^{j} t_{ij} X_{ij} \le \tau_i , \quad \overline{i = 1, I} .$$

При рішенні задач структурної оптимізації, сформульованих у вигляді завдань дискретного програмування, використовуються три групи методів.

Методи відсікання

У випадку, якщо цільова функція і функції обмежень є лінійними, то завдання є окремим випадком завдань лінійного цілочисельного програмування. При цьому облік цілочисельності приводить до появи нових додаткових обмежень і розширення загальної системи обмежень.

У 1985 р. вперше Р. Гомори вдалося побудувати унікальний алгоритм, в якому послідовно була розвинена ідея методів відсікання. Пізніше ряд інших авторів розробили різні модифікації методів Р. Гомори, що враховують специфіку різних обмежень завдання. Слід зазначити, що в загальному випадку ефективність рішення задач даного класу методами відсікань порівняно низька, оскільки із збільшенням числа змінних і обмежень завдання збільшується число ітерацій, необхідних для знаходження оптимального рішення початкової задачі.

Алгоритми, що будуються на використанні ідеї методів відсікання, не гарантують отримання допустимого цілочисельного рішення до найостаннішої ітерації, тому їх ефективне використання на практиці часто викликає труднощі, особливо для завдань великої розмірності.

Комбінаторні методи

Методи рішення задач цілочисельного лінійного програмування в класі комбінаторних методів базуються на максимальному обліку характеру завдань і обмеженості безлічі варіантів їх рішення. У їх обчислювальних схемах використовується ідея часткового перебору варіантів рішення задачі. Це досягається шляхом відкидання деяких підмножин варіантів, які згідно відомим властивостям оптимального рішення свідомо можуть вважатися неперспективними.

Відмітною особливістю комбінаторних методів є і те, що в багатьох з них взагалі не використовується рішення задачі лінійного програмування.

Таким чином, для більшості комбінаторних методів не вимагається спеціальних доказів і обмеженості варіантів їх рішення, що і сприяло широкому застосуванню методів цього типу на практиці. Велика група комбінаторних методів базується в ідейному відношенні на достатньо загальній схемі методів, які об'єднані під однією назвою, – методи «гілок і меж». В даний час схема методу «гілок і меж» широко використовується на практиці.

Наближені методи

Однією з основних причин розвитку цієї групи методів слід назвати складність реалізації точних методів, а часто і просто неможливість застосування останніх для завдань великої розмірності і для завдань, час рішення яких обмежений. Крім того для багатьох практичних завдань значною мірою точні рішення не забезпечуються із-за малої достовірності початкових даних.

Серед наближених методів рішення цілочисельних задач лінійного програмування слід виділити застосування різного роду евристичних алгоритмів, заснованих на:

1. методах, побудованих на використанні випадкового пошуку;
2. методах, що поєднують випадковий пошук з ідеєю локальної оптимізації;
3. методах, обчислювальні схеми яких будуються на максимальному урахуванні специфіки конкретних типів завдань, і ін.

Слід зазначити, що у ряді випадків структурний синтез хоч і може бути формалізований у вигляді оптимальних завдань дискретного програмування, проте він важко вирішуваний через велику розмірність завдань, наявність великого числа випадкових чинників, із-за векторного характеру показника ефективності. У таких випадках структурний синтез зазвичай

розуміють як вибір структури елементів і принципів їх взаємодії з деякого невеликого числа варіантів, перспективних для подальшого використання. Попередній відбір таких варіантів за сукупністю властивостей здійснюється групою кваліфікованих фахівців, що мають досвід подібних систем, а детальне дослідження кількісних показників основних властивостей цих варіантів проводиться для кожного з них окремо. Після цього проводиться порівняльний аналіз і остаточний вибір основного варіанту побудови структури системи. В цьому випадку говорять, що структурний синтез ведеться на основі методів аналізу.

5.3. Модель структурного сполучення елементів в АСУ

Для побудови математичної моделі сполучення елементів в АСУ з урахуванням складу і характеру сигналів взаємозв'язку робиться ряд допущень:

- вхідний сигнал $x(t)$, що поступає до елементу у момент t, розглядається як сукупність елементарних сигналів $x_1(t), x_2(t)., x_m(t)$, що одночасно виникають на входах елементу. Аналогічно, вихідний сигнал $y(t)$ – як сукупність елементарних сигналів $y_1(t), y_2(t)., y_n(t)$;
- елементарні сигнали передаються в системі незалежно один від одного за елементарними каналами;
- до вхідного контакту будь-якого елементу підключається не більше ніж один елементарний канал; до вихідного контакту може бути підключене будь-яке кінцеве число елементарних каналів.

Дані допущення добре узгоджуються з характером взаємодії реальних систем. Отже, нехай система S складається з N елементів. Для i-го елементу C_i маємо безліч вхідних сигналів $X^{(i)}$, $(x^{(i)} \in X^{(i)})$, і безліч вихідних сигналів $Y^{(j)}$ $(y^{(j)} \in Y^{(j)})$.

Взаємодія системи із зовнішнім середовищем розглядається як обмін сигналами між зовнішнім середовищем і елементами системи. Кожен сигнал, що видається в зовнішнє середовище, складається з елементарних сигналів, що видаються одним або декількома елементами системи. Елементарні сигнали, що складають сигнал, який поступає із зовнішнього середовища, приймаються одним або декількома елементами системи.

Відповідно до цього зовнішнє середовище можна представити у вигляді фіктивного елементу системи C_0. Причому сигнал, що видається системою в зовнішнє середовище, приймається зовнішнім середовищем як вхідний сигнал, $x^{(0)}(t) = [x_1^{(0)}(t), x_2^{(0)}(t), ..., x_m^{(0)}(t)]$. Сигнал, що поступає в систему із зовнішнього середовища, є вихідним сигналом елементу, що імітує

зовнішнє середовище, і складається з елементарних сигналів $y^{(0)}(t) = [y_1^{(0)}(t), y_2^{(0)}(t), ..., y_n^{(0)}(t)]$.

Таким чином, для кожного елементу, включаючи і зовнішнє середовище, маємо безліч вхідних контактів:

$$[x_j^{(i)}]_1^{m_i} = (x_1^{(i)}, x_2^{(i)}, ..., x_{m_i}^{(i)})$$

і безліч вихідних контактів:

$$[y_j^{(i)}]_1^{m_i} = (y_1^{(i)}, y_2^{(i)}, ..., y_{n_i}^{(i)})$$

Введемо деякий оператор ***R,*** що співвідносить вхідному контакту $X_j^{(i)}$ вихідний контакт $Y_l^{(k)}$, пов'язаний з ним елементарним каналом.

$$Y_l^{(k)} = R(x_j^{(i)}),$$

де $x_j^{(i)} \in U_{i=0}^{N} [x_j^i]_1^{m_i}$; $Y_1^{(k)} \in U_{i=0}^{N} [Y_j^i]_1^{n_i}$.

Якщо в системі до контакту $X_j^{(i)}$ не підключений ніякий елементарний канал, то оператор на цьому $X_j^{(i)}$ контакті вважається не визначеним. Оператора ***R*** називають ***оператором сполучення***. Він задається у вигляді таблиці, в якій на перетині рядків з номерами елементів системи ***(i)*** і стовпців з номерами контактів ***(j)*** розташовуються пари чисел ***(k, l)***, які вказують номер елементу ***(k)*** і номер контакту ***(l)***, з яким сполучений контакт $X_j^{(i)}$. Для пояснення даного принципу розглянемо приклад.

Нехай дана система (рис.5.6 а). Таблиця, що задає оператор сполучення ***R***, виглядає таким чином.

Таблиця 5.1.

Оператор сполучення *R*,

i	j		
	1	2	3
0	(3,1)	(4,1)	(4,2)
1	(0,1)	(0,2)	(3,2)
2	(0,3)	(0,4)	-
3	(1,1)	(1,2)	-
4	(1,3)	(2,1)	-

В деяких випадках оператора сполучення ***R*** задають іншим чином: стовпці і рядки нумерують подвійними номерами ***(i,j)*** і ***(к,l)*** відповідно; якщо контакти X_j^i і $Y_l^{(k)}$ з'єднані елементарним каналом, то на перетині відповідного рядка і стовпця поміщають одиницю, інакше – нуль.

Хоча таблиця такого роду громіздка і недостатньо наочна, вона володіє тією перевагою, що є матрицею суміжності орієнтованого графа, вершинами якого є контакти, а дугами – елементарні канали. Це дозволяє застосувати методи теорії графів для вивчення структури зв'язків між вхідними і вихідними контактами елементів системи і зовнішнім середови-

щем.

Завдання оператора ***R*** вищезгаданим чином визначає однорівневу схему сполучення. Приведений спосіб формалізації дозволяє також виділяти підсистеми і будувати схеми сполучення з великим числом рівнів. В цьому випадку враховується той факт, що будь-яка підсистема S_μ, з одного боку, сама є системою, що містить деяке число елементів, а з іншого – її можна розглядати як елемент аналізованої системи ***S***.

Підсистема S_μ як самостійна система повинна мати контакти $X_j^{(0)}$ і $Y_l^{(0)\mu}$, які характеризують джерела і споживачів зовнішнього середовища. А як елемент системи ***S*** підсистема S_μ повинна містити вхідні $X_i^{(\mu)}$ і вихідні Y_i^{μ} контакти для зв'язку з іншими підсистемами.

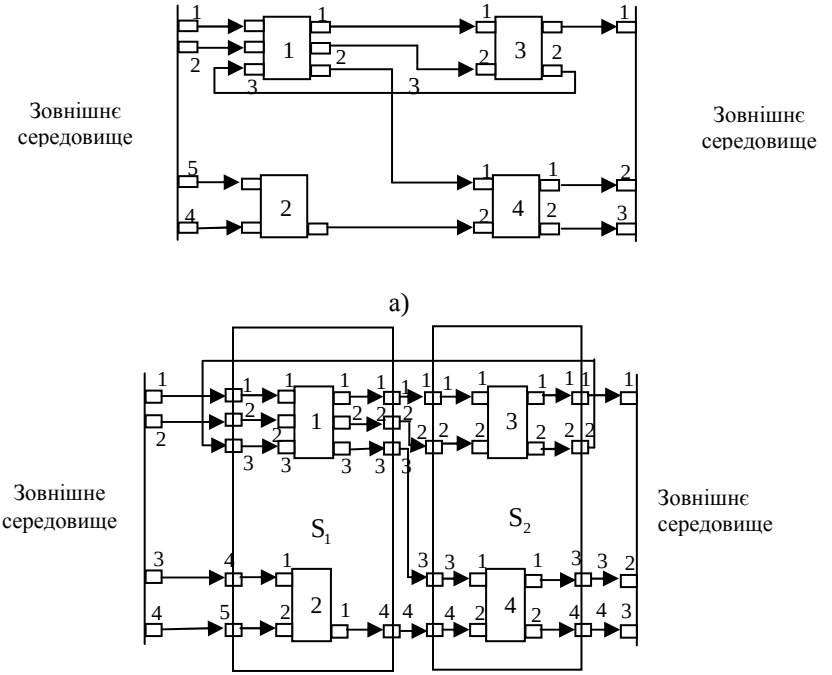


Рис. 5.6. - Представлення структури системи: а – з одним рівнем; б – з двома рівнями.

Нехай, наприклад, система ***S*** складається з двох підсистем S_1 і S_2, причому в підсистему S_1 входять елементи C_1 і C_2, а в підсистему S_2 –

елементи C_3 і C_4. Відповідно до сказаного вище підсистема S_1 як самостійна система має контакти $Y_1^{(0)1}$, $Y_2^{(0)1}$, $Y_3^{(0)1}$, $Y_4^{(0)1}$, $Y_5^{(0)1}$; $X_1^{(0)1}$, $X_2^{(0)1}$, $X_3^{(0)1}$, $X_4^{(0)1}$, а як елемент системи S має контакти $X_1^{(1)}$, $X_2^{(1)}$, $X_3^{(1)}$, $X_4^{(1)}$, $X_5^{(1)}$; $Y_1^{(1)}$, $Y_2^{(1)}$, $Y_3^{(1)}$, $Y_4^{(1)}$ (рис.5.6 б).

Аналогічним чином відповідні множини контактів можуть бути побудовані і для підсистеми S_2. Ведемо оператора

$$Y_l^{(k)}=R_\mu^{(1)}(x_j^{(i)}),\ \mu = \overline{1,2}$$

з областю визначення:

$$[x_j^{(0)\mu}] \cup (U_{c_i \hat{I} s_\mu} [X_j^i]_1^{m_i}),$$

що приймає значення з множини:

$$[Y_j^{(0)\mu}] \cup (U_{c_k \hat{I} s_\mu} [Y_1^k]_1^{n_k}),$$

який даному вхідному контакту $X_j^{(i)}$ елементу C_i підсистеми S_μ ставить у відповідність вихідний контакт $Y_l^{(k)}$ тієї ж підсистеми, з'єднаний з $X_j^{(i)}$ елементарним каналом (якщо таке з'єднання в підсистемі S_μ існує). Оператор $R_\mu^{(1)}$ називається ***внутрішнім оператором сполучення*** підсистеми S_μ.

Способи завдання оператора $R_\mu^{(1)}$ такі ж, як і у звичайного оператора сполучення. Оператори сполучення $R_1^{(1)}$, $R_2^{(1)}$ для підсистем S_1 і S_2 (рис.5.6 б) представлені відповідно в табл. 5.2, 5.3. Оператори сполучення $R_1^{(1)}$ і $R_2^{(1)}$ є операторами сполучення першого рівня.

Таблиця 5.2.

Оператор сполучення $R_1^{(1)}$

i	j			
	1	2	3	4
0	(1,1)	(1,2)	(1,3)	(2,1)
1	(0,1)	(0,2)	(0,3)	-
2	(0,4)	(0,5)	-	-

Таблиця 5.3.

Оператор сполучення $R_2^{(1)}$

i	j			
	1	2	3	4
0	(3,1)	(3,2)	(4,1)	(4,2)
3	(0,1)	(0,2)	-	-
4	(0,3)	(0,4)	-	-

Розглянемо тепер підсистему S_μ як елемент системи S. З цієї точки зору вона характеризується безліччю вхідних і вихідних контактів: $[X_j^\mu]_1^{m\mu}$ і $[Y_l^\mu]_1^{n\mu}$. Елемент C_0, що представляє зовнішнє середовище системи S,

інтерпретуватимемо як підсистему S_0 з вхідними контактами $[X_j^{(0)}]_1^{m0}$ і вихідними контактами $[Y_l^{(0)}]_1^{n0}$.

Введемо оператор $Y_l^{(k)}=R^{(2)}(x_i^{(\mu)})$, що реалізовує відображення множин $U_{\mu=0}^{M}[x_j^{(\mu)}]_1^{m_\mu}$ і вхідних контактів підсистем $S_0, S_1,\ldots, S_\mu$ системи S і безліч $U_{\mu=0}^{M}[Y_1^{(\mu)}]_1^{n_\mu}$ всіх вихідних контактів Y_j^{μ}, який даному контакту x_j^M ставить у відповідність контакт $Y_i^{(k)}$, з'єднаний з x_j^{μ} елементарним каналом.

Оператор сполучення $R^{(2)}$ підсистем S_1, S_2 і зовнішнього середовища S_0 представлений в табл. 5.4.

Нульовий рядок відповідає зовнішньому середовищу, перший рядок – підсистемі S_1, другий рядок – підсистемі S_2.

Сукупність внутрішніх однорівневих схем сполучення всіх підсистем S_μ, $\mu = \overline{1,2}$ разом із схемою сполучення другого рівня називається дворівневою схемою сполучення системи S.

Таблиця 5.4.

Оператор сполучення $R^{(2)}$ підсистем S_1, S_2 і зовнішнього середовища S_0

i	j				
	1	2	3	4	5
0	(2,1)	(2,3)	(2,4)	-	-
1	(0,1)	(0,2)	(2,2)	(0,3)	(0,4)
2	(1,1)	(1,2)	(1,3)	(1,4)	-

Розвиток подібного підходу легко узагальнити на створення багаторівневих структурних моделей АСУ.

При аналізі взаємодії елементів в системі і із зовнішнім середовищем з безлічі вхідних сигналів X для будь-якого елементу виділяється окремо безліч сигналів, що управляють, впливають на його структуру і алгоритм функціонування. Тому всі елементи, складові структуру системи, можуть бути класифіковані таким чином:

1) елементи, що приймають вхідні сигнали або сигнали, що управляють від зовнішнього середовища (вони називаються вхідними полюсами);

2) елементи, що видають вихідні сигнали повністю або частково в зовнішнє середовище (вони називаються вихідними полюсами);

3) елементи, що приймають вхідні сигнали або сигнали, що управляють тільки від інших елементів, що входять в систему (вони називаються внутрішніми).

За аналогією з поняттями шляху і контуру в теорії орієнтованих графів при даному підході до опису структури вводяться поняття канал і контур. ***Канал*** C_i C_k – це така послідовність елементів C_i, C_{i+1},..., C_k, коли кожен попередній елемент є джерелом сигналів для наступного. Якщо послідовність елементів починається вхідним полюсом і закінчується вихідним полюсом, то канал називається ***наскрізним***. Якщо елементи в послідовності C_i, C_{i+1}., C_{k-1}, C_k обмінюються вхідними сигналами або сигналами, що управляють, причому C_{k-1} обов'язково управляє елементом C_k, то канал $C_i C_k$ називається ***каналом управління***; у противному випадку канал називається ***каналом слідування***.

Контур – це канал (C_j C_k) у якому елемент C_k є джерелом сигналів для елементу C_j. Якщо вихідні сигнали будь-якого елементу в контурі сприймаються тільки як вхідні, але не такі , що управляють для наступного елементу, то контур називається ***контуром слідування***. Якщо вихідні сигнали хоч би одного з елементів, що входять в контур, сприймаються наступним елементом як такі , що управляють, то контур називається ***контуром управління.***

Введені поняття каналу і контуру управління є основою для виділення в структурі системи місцевих і загальних каналів і контурів управління і визначення елементів, які ними охоплені.

В результаті рішення вищезгаданих задач структурного аналізу на трьох рівнях розгляду можливо:

1) оцінити відношення між елементами і підсистемами АСУ;
2) прослідкувати потоки інформації, циркулюючі в системі;
3) виділити елементи і структурні конфігурації, істотні для функціонування системи і управління нею;
4) оцінити якість структурної схеми, використовуючи її структурно-топологічні і інші характеристики.

5.4. Аналіз структури АСУ з використанням стохастичних мереж

При проектуванні АСУ її структурну модель, що відображає взаємозв'язки між окремими операціями і ланками управління в загальному процесі функціонування системи, зручно представляти у вигляді мережі. Мережа є засобом формалізації процесів управління, вона дає можливість:

- чітко відобразити структуру досліджуваного процесу;
- виявити з будь-яким ступенем деталізації послідовність робіт, утворюючих єдиний комплекс;

- відобразити в наочній формі взаємозв'язки і логічну послідовність виконання робіт;
- оцінити ступінь важливості кожної ланки;
- досліджувати тривалість виконання комплексу робіт в цілому;
- проаналізувати можливі варіанти досягнення заданого результату і вибрати з них оптимальний за певною системою показників ефективності.

Оскільки процеси, що протікають в АСУ, зазвичай носять випадковий характер, то надалі розглядатимуться тільки стохастичні мережі. При цьому ланки системи зазвичай формалізуються у вигляді підсистем масового обслуговування, а взаємозв'язок між ними в загальному процесі функціонування відображається у вигляді орієнтованого графа. Вершини графа це підсистеми масового обслуговування, а дуги графа - шляхи передачі інформаційних потоків між підсистемами масового обслуговування, які складають мережу.

Для завдання будь-якої мережі масового обслуговування необхідно визначити:

1) джерело вимог на обслуговування, що поступають в мережу з деякою інтенсивністю λ_0;

2) список обслуговуючих підсистем $S_i(i=1,2,\ldots,M)$, що входять в мережу;

3) вектор складу підсистем $m=(m_1, m_2,\ldots, m_i,\ldots,m_m)$, де m_i – число приладів, що входять в i-у підсистему;

4) вектор інтенсивності обслуговування $\mu=(\mu_1, \mu_2,\ldots, \mu_i,\ldots, \mu_m)$, де μ_i – інтенсивність обслуговування вимоги одним приладом, що входить до складу i-ї підсистеми;

5) матрицю передач $R=|r_{ij}|$ $(i=1,2,\ldots,M+1;\ j=1,2,\ldots,M+1)$, що відображає схему передачі інформаційних потоків. Розмірність матриці передач R рівна $M\times M$ (де M - число вузлів мережі).

При побудові матриці передач джерело розглядається як нульова підсистема S_0. Елемент матриці r_{ij} характеризує вірогідність того, що при закінченні обслуговування в i-й підсистемі вимоги будуть направлені в j-ю підсистему. При цьому має місце наступне співвідношення:

$$\sum_{i=0}^{M} r_{ij} = 1, \quad i = 1,2,...,M.$$

Елемент $r_{00} = 0$, так як вимоги на обслуговування не залишаються в джерелі, а завжди поступають в систему.

Розрізняють два види мереж масового обслуговування: розімкнені і замкнуті. У розімкнених мережах інтенсивність джерела вимог $\lambda_0 \neq 0$, тобто має місце постійна взаємодія із зовнішнім середовищем. У замкнутих мережах масового обслуговування $\lambda_0 = 0$ оскільки інтенсивність зовніш-

нього джерела дорівнює 0. У замкнутих мережах задається завжди початкове і кінцеве число вимог ***N***, яке весь час зберігається постійним в даній мережі. В процесі функціонування мережі змінюється тільки розподіл вимог за підсистемами, що обслуговують.

Для стохастичних мереж аналітичне дослідження здійснюється з наступними допущеннями:

1) мережу формують підсистеми, які мають для кожного з обслуговуючих приладів показовий (експоненціальний) законом тривалості обслуговування;

2) у мережі циркулюють пуасонівськи потоки однорідних вимог;

3) у кожній підсистемі масового обслуговування, що входить в мережу, черга вимог необмежена, дисципліна обслуговування: "перший прийшов - першим обслуговується";

4) мережа є лінійною, вірогідність надходження вимоги в підсистему S_i за інтервал часу $[t, t+\Delta t]$ є лінійною комбінацією з постійним коефіцієнтом r_{ij}.

Для лінійних експоненціальних мереж будемо розглядати тільки сталий режим, який найчастіше використовують при рішенні практичних задач. Для сталого режиму в розімкненій мережі інтенсивність середнього сумарного потоку на вході будь-якої підсистеми дорівнює середній сумарній інтенсивності вихідного потоку з даної підсистеми, :

$$\lambda_j = \sum_{i=0}^{M} r_{ij}\lambda_i, \quad j = 0,1,2,...,M, \tag{5.1}$$

де λ_i - сумарна інтенсивність на виході ***i***-ї підсистеми;

λ_i - сумарна інтенсивність на виході ***j***-ї підсистеми;

r_{ij} - вірогідність надходження вимог, після закінчення обслуговування, з ***i***-ї підсистеми в ***j***-ю підсистему.

Замикання в розімкненій мережі відбувається через джерело вимог, що відображає зовнішнє середовище. Отже, можна вважати, що кожен вузол мережі є зворотним, тобто з будь-якої підсистеми через деяке число кроків можна потрапити в будь-яку іншу підсистему, у тому числі і в джерело вимог. Сталий режим в такій мережі існує і для кожного значення інтенсивності джерела вимог λ_0 існує єдине рішення систем рівняння (5.1):

$$\lambda_i = \alpha_i \lambda_0,$$

де α_i – коефіцієнт передачі від джерела вимог до ***j***-го вузла.

Умова відсутності можливості утворення нескінченної черги в кожній з підсистем розімкненої мережі виглядає таким чином:

$$\alpha_i \lambda_0 < m_i\mu_i,$$

що і визначає обмеження на інтенсивність вимог на обслуговування, які поступають з джерела:

$$\lambda_0 < min\ (m_i\mu_i/\alpha_i).$$

Для ілюстрації застосування рівняння (5.1) розглянемо приклад.
Приклад. Хай задана розімкнена стохастична мережа (рис.5.7).
Матриця передач ***R*** виглядає для даної мережі таким чином:

$$R = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ r10 & 0 & r12 & r13 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{vmatrix}.$$

Тоді відповідно до (5.1) маємо наступну систему рівнянь:

$$\lambda_0 = r_{10}\lambda_1;$$
$$\lambda_1 = \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_0;$$
$$\lambda_2 = \lambda_1 r_{12};$$
$$\lambda_3 = \lambda_1 r_{13},$$

звідки витікає, що $\alpha_1 = 1/r_{10}$, $\alpha_2 = r_{12}/r_{10}$, $\alpha_3 = r_{13}/r_{10}$..

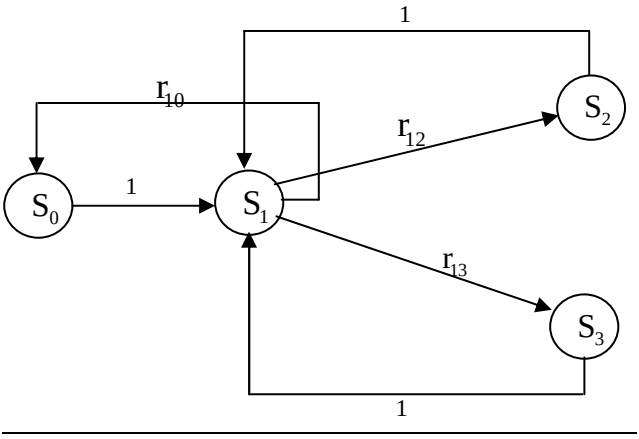


Рис. 5.7. - Представлення обчислювальної системи у вигляді мережі

Розглянемо далі питання визначення основних характеристик як розімкнених мереж в цілому, так і їх вузлів в сталому режимі.

При визначенні характеристик мережі використовується поняття ***стан мережі***, під яким розуміється вектор $\boldsymbol{n = (n_1, n_2, \ldots, n_м)}$, відповідно до якого в першій підсистемі міститься $\boldsymbol{n_1}$, вимог, в другій підсистемі $\boldsymbol{n_2}$ вимог, в ***M*** -ій підсистемі – $\boldsymbol{n_м}$ вимог. Тому якнайповнішою характеристикою мережі є вірогідність $\boldsymbol{P(n_1, n_2, \ldots, n_м)}$.. Найбільш важливим аналітич-

ним інструментом для аналізу характеристик мереж є теорема розбиття Джексона, що містить достатні умови, при виконанні яких розімкнена мережа загального вигляду є сукупністю незалежних повнодоступних систем з чергою. Нижче приводиться теорема Джексона без доказу.

Теорема Джексона. Якщо для даної мережі виконані умови:

1) всі вхідні потоки є пуасонівськими;

2) всі маршрути переходів вимог між підсистемами визначаються матрицею вірогідності передач;

3) вся тривалість обслуговування має експоненціальний розподіл;

4) дисципліна вибору заявок з черги в кожній підсистемі не залежить від тривалості обслуговування і маршруту заявок, то

$$P(n_1, n_2, ..., n_j, ..., n_m) = \Pi_{j=1}^{M} P_j(n_j);$$

$$P_j(n_j) = P_j(0)\Pi_{j=0}^{n} \frac{\lambda_j}{\mu_{j(i)}};$$

$$\lambda_j = \alpha_j \lambda_0, \quad \mu_j(i) = \begin{cases} i\mu_j, i = m_j \\ m\mu_j, i > m_j \end{cases}$$

Інтерпретація вищезгаданих співвідношень для розімкненої мережі, коли всі вузли мережі є одноканальними системами масового обслуговування, виглядають таким чином:

$$P_j(n_j) = P_j(0)\rho_{n_j}$$

де $\rho_j = \alpha_j\lambda_0 / \mu_j$, $P_j(0) = 1 - \rho_j$;

а для багатоканальних вузлів:

$$P_j(0)\frac{\lambda_j}{n_j!\mu_j}, n_j \le m_j;$$

$$P_j(n_j) = P_j(0)\frac{\lambda_j}{m_j!\mu_j m_i}$$

$$P_j(0) = \left[\sum_{n_j=0}^{m_j=1} \rho_j^{n_j} \frac{1}{n_j!} + \frac{\rho_j}{m_j!\left(1 - \frac{\rho_j}{m_j}\right)} \right]^{-1},$$

де: $\rho_j = \lambda_j/\mu_j = \alpha_j \lambda_0/\mu_j$.

Відповідно до розглянутого принципу декомпозиції завдання аналізу мережі в цілому на завдання аналізу окремих підсистем маємо:

1) середнє число вимог, що знаходяться в мережі:

$$n = \sum_{j=1}^{m} n_j$$

2) середнє число вимог, що очікують обслуговування в мережі:

$$l = \sum_{j=1}^{M} l_j$$

3) середній час перебування вимоги в мережі:

$$t = \sum_{j=1}^{M} \alpha t_j$$

4) середній час очікування вимоги в мережі:

$$t_{оч} = \sum_{j=1}^{M} \alpha t_{очj}$$

де $\alpha_j=\lambda_j / \lambda_0$ визначає середнє число проходжень вимоги через підсистему S_j.

Аналіз характеристик систем, структура яких відображається у вигляді багатофазних СМО, можна розглядати як окремий випадок розімкнених мереж масового обслуговування.

5.5. Морфологічний і інформаційний опис структур АСУ

Морфологічний опис структур АСУ

З загального погляду на систему в цілому її вхід може трактуватися як причина, а вихід - як наслідок. Тому для технічних систем характерний їх опис в поняттях ***вхід → вихід → стан***. Ці поняття зручні для представлення взаємодії системи з середовищем і побудови причинно-наслідкових моделей.

Опис системи можна розглядати з трьох точок зору; функціональною, морфологічною, інформаційною.

Морфологічний опис дає уявлення про побудову системи, тобто указує склад системи (її елементи) і зв'язки між елементами.

Морфологія - наука про форму, структуру.

В результаті морфологічного опису виникає поняття структури системи. Тому морфологічний опис можна назвати моделлю структури системи.

Морфологічний опис є ієрархічним і не може бути вичерпним, глибина опису, рівень деталізації визначається призначенням системи і метою дослідження.

Вивчення морфології починається з елементного складу. Елементний склад може бути ***гомогенним*** (містити однотипні елементи), ***гетероген-***

ним (містити різнотипні елементи) і змішаним. Однотипність не означає повної ідентичності і визначає тільки близькість основних властивостей. Гомогенності, як правило, відповідають надмірність і наявність прихованих можливостей, додаткових ресурсів. Гетерогенні елементи спеціалізовані, вони економічні і можуть бути ефективними в застосуванні для вузького діапазону зовнішніх умов. Іноді елементний склад оцінити не вдається і його вважають невизначеним.

Важливою ознакою морфології є призначення (властивості) елементів. Елементи можуть бути інформаційними, енергетичними і речовинними.

Інформаційні елементи призначені для прийому, запам'ятовування і перетворення інформації.

Функції ***енергетичних елементів*** пов'язані з перетворенням енергії; мета перетворення - виробити необхідну системі енергію в тій формі, в якій вона може споживатися іншими елементами. Для енергетичних елементів велике значення має коефіцієнт корисної дії.

Морфологічні властивості системи істотно залежать від характеру зв'язків.

Поняття зв'язку входить в будь-яке визначення системи разом з поняттям елементу. Воно одночасно характеризує і будову (статику), і функціонування (динаміку) системи. Зв'язки забезпечують виникнення і збереження структури і цілісних властивостей системи.

Зв'язок можна характеризувати:

- напрямом;
- силою;
- характером (або виглядом).

За ***напрямом і силою*** зв'язки можна розділити на направлені і не напрямлені, сильні і слабкі, а за характером - на зв'язки підпорядкування, зв'язки породження (або генетичні), рівноправні (або нейтральні) і зв'язки управління. Деякі з цих типів можна розділити детальніше: наприклад, зв'язки ***підпорядкування*** можуть бути типу "частина-ціле", зв'язки ***породження*** - типу "причина-слідство". Зв'язки можна розділити також ***за місцем застосування*** (внутрішні і зовнішні), ***за спрямованістю процесів*** в системі в цілому або в окремих її підсистемах (прямі і зворотні) і за деякими більш приватними ознаками. Дуже важливу роль в системах грають зворотні зв'язки.

Виділяють енергетичні, інформаційні і речовинні зв'язки. ***Енергетичні зв'язки*** призначені для перенесення енергії між елементами, а ***інформаційні*** - для перенесення інформації. Зв'язки для ***передачі матеріалу*** переносять речовину і одночасно енергію і інформацію, так що характер зв'язку визначається питомою вагою відповідного компоненту. Можливі і

змішані зв'язки.

Морфологічний опис може включати вказівку на наявність і види зв'язків, містити загальну характеристику зв'язків або їх якісні і кількісні дані.

Структурні властивості систем визначаються характером і стійкістю відносин між елементами. ***За характером*** відносин між елементами структури діляться на багатозв'язкові, ієрархічні і змішані, а за ***ступенем стійкості*** - на детерміновані, імовірнісні, хаотичні і змішані структури. Найбільш стійкі детерміновані структури, в яких відносини або незмінні, або змінюються за деякими законами. Якщо відносини між елементами описуються імовірнісними законами, структура називається імовірнісною. У хаотичних структурах елементи вступають у відносини непередбачуваним чином. Можливі змішані структури, в яких межі і напрями появи нестабільності визначені і обмежені закладеним в структуру детермінізмом.

Композиційні властивості систем визначаються способом об'єднання елементів в підсистеми. Розрізняють підсистеми:

- ефекторні, здатні перетворювати зовнішню дію і впливати речовиною або енергією на інші системи, а тому числі і на середовище;
- рецепторні, здатні перетворювати зовнішню дію в інформаційні сигнали, передавати і переносити інформація;
- рефлексивні, здатні відтворювати усередині себе процеси на інформаційному рівні, генерувати інформацію.

Включаються в розгляд і невизначені підсистеми, властивості яких не можуть бути виявлені.

Композицію систем, що містять підсистеми всіх трьох видів називають повною, а композицію систем, що не містять підсистем з вираженими властивостями, - слабкою.

Морфологічний опис представляється четвіркою:

$$S_m = \langle A, L, G, K \rangle \qquad (5.2)$$

у якій $A=\{A_i\}$ - безліч елементів і їх властивостей (під ***елементом*** тут розуміється підсистема, всередину якої морфологічний опис не проникає); $L=\{L_j\}$ - безліч зв'язків; G структура; K - композиція, при цьому всі множини кінцеві.

Безліч A характеризується складом (гомогенним, гетерогенним, змішаним, невизначеним) і властивостями елементів (речовинними, енергетичними, інформаційними, комбінованими, невизначеними). ***Безліч зв'язків L,*** відображає їх призначення (передача речовини, енергії або інформації) і характер (прямі, зворотні і нейтральні). До ***безлічі характеристик G*** відносяться види побудови структур (ієрархічні, багатозв'язкові, змішані, такі, що перетворюються) і їх стійкість (детермінована, імовірнісна,

хаотична). У ***множину К*** можуть входити слабкі композиції, композиції з ефекторними підсистемами, з рецепторними підсистемами, з підсистемами рефлексій, повні, невизначені.

Морфологічний опис, як і функціональний, будується за ієрархічним принципом шляхом послідовної декомпозиції підсистем. Рівні ієрархії функціонального і морфологічного описів повинні співпадати.

Інформаційний опис АСУ

Автоматизованим системам управління властиві інформаційні процеси обмін інформацією між компонентами системи, а також між системою в цілому і навколишнім її середовищем. Не дослідивши інформаційні процеси, неможливо отримати достовірне знання про систему і ефективно управляти нею.

Інформаційний опис системи повинен давати уявлення про організацію системи, тобто про:

- способи і методи, за допомогою яких проводиться отримання, обробка і зберігання інформації про зовнішнє середовище і про саму систему;
- інформацію, що забезпечує цілеспрямовану поведінку системи.

Воно визначає залежність морфологічних і функціональних властивостей системи від якості і кількості внутрішньої і зовнішньої інформації.

Важливий аспект пов'язаний з отриманням інформації людьми (машинами). Тут розрізняють синтаксичний підхід, направлений на структурний аналіз інформації, семантичний (змістовний) підхід, в рамках якого аналізується смисловий зміст інформації, і прагматичний (корисний) підхід - оцінювання корисності, цінності отриманої інформації. Як відомо, подібні підходи розвиваються в рамках семіотики - науки про знакові вирази, що включає як складові частини розділи синтактики, семантики і прагматики.

При ***семантичному підході*** до дослідження інформації вивчаються її зміст і способи знакового уявлення. Основна увага приділяється людині як головній, вирішальній ланці в ланцюгу передачі і багатократного перетворення інформації. Основна мета дослідження - встановити умови якнайповнішого сприйняття інформації одержувачем і вільної інтерпретації її в процесі виконання функцій управління.

При ***прагматичному підході*** визначається корисність інформації для споживача. Про корисність інформації судять з різних точок зору. При цьому інформацію оцінюють як і будь-який продукт затих споживчих властивостях, якими вона володіє, наприклад, змістовності інформації, зручності її сприйняття, своєчасності. Крім того, цінність інформації характе-

ризується її актуальністю, надійністю, достовірністю отримуваних відомостей. Такий аналіз можна проводити кількісно, якщо вказані властивості вдається виразити у вигляді конкретних чисел.

Таким чином, у вивченні питань взаємовідношення людини і отримуваної ним інформації важливе місце займає семіотичне трактування інформації. Проте однієї семіотики недостатньо для проведення повного дослідження структурних, смислових і ціннісних властивостей інформації. При рішенні даних питань, так само як і інших питань, пов'язаних з інформацією, виникає необхідність урахування специфіки різних видів інформації: науковою, технічною, біологічною, соціальною.

Розглянемо комунікативну і управлінську функції інформації. ***Комунікативна функція інформації***, тобто забезпечення спілкування людей між собою, а також "спілкування" людина-машина і машина-машина, має найбільш широке значення. Комунікативність досягається, з одного боку, перетворенням інформації до вигляду, прийнятного для одержувача, з іншого боку - відповідною підготовкою одержувача до сприйняття цієї інформації. У загальному випадку проблема реалізації комунікативної функції інформації вимагає рішення ряду технічних і соціологічних завдань.

Створення необхідних умов для вирішення завдань управління є найважливішою функцією інформації. Без наявності відповідної інформації в

5.6. Функціональний опис структури АСУ

Функціональний опис необхідний для того, щоб визначити місце системи, оцінити відношення до інших систем і зовнішнього середовища. Залежно від ступеня дії на зовнішнє середовище і характеру взаємодії з іншими системами функції розділяють таким чином:

- пасивне існування;
- обслуговування системи вищого рівня;
- протистояння іншим системам і середовищу (виживання);
- поглинання інших систем і середовища;
- перетворення інших систем і середовища.

Для побудови загального функціонального опису системи використовуються такі поняття, як стан, зовнішнє середовище, модель функціонування (поведінки) системи, прогнозуюча зміну стану системи в часі.

Як визначено раніше функціонування системи це цілеспрямована зміна в часі стану системи в процесі реалізацій її функцій.

Стан системи є змінний елемент деякого простору станів, завдання якого для певних моментів часу надавати той мінімум відомостей, які

необхідні для повного опису поведінки системи в даний час і майбутньому, у вигляді тієї або іншої математичної моделі. Стан середовища в якийсь момент часу представляється сукупністю його істотних характеристик у цей момент часу.

Близьким за смисловим значенням до поняття стану є поняття ситуації. ***Ситуація*** стосовно систем в загальному випадку визначається як сукупність станів системи і середовища в один і той же момент часу.

У теорії систем існує два підходи до визначення поняття ситуації: термінальний і цілеспрямований. При ***термінальному підході***, що спирається на концепцію ***вхід → вихід*** , вводяться поняття вхідної ситуації, що відображає миттєву обстановку на вхідному полюсі системи, і вихідній ситуації, що відображає миттєву обстановку на виході системи. ***Цілеспрямований підхід*** до поняття ситуації припускає розгляд пари "вирішальна система - зовнішня (ситуаційна) обстановка". Остання розглядається як система, щодо якої в процесі надходження інформації про зміну ситуації приймаються ті або інші рішення.

При описі функціонування системи на деякому інтервалі часу говорять про процес зміни стану ***x(t)*** і про процеси на вході ***F(t)*** і виході ***y(t)*** системи.

Під ***процесами*** розуміють функції часу із значеннями в де якій множині, яка зазвичай є лінійним простором і називається фазовим простором для цих процесів. Якщо значення, які приймають функції, що описують процес, є випадковими величинами, заданими на деякому імовірнісному просторі, то процес називається випадковим**.** Функціональний підхід до дослідження систем заснований на розгляді аналізованої системи не в її конкретній, реальній формі, а як комплексу функцій, які вона виконує або повинна виконувати, які обумовлюють її корисність. Іншими словами, об'єктом досліджень при функціональному підході є не реальна система, а комплекс її функцій. Важливість і доцільність функціонального підходу обумовлюється тим, що споживача зрештою цікавить не сама конкретна система, а її функції.

При функціональному підході замість конкретної системи (що існує або створюваною) використовується її функціональна модель-опис системи на мові виконуваних функцій і їх відносин. Функціональний підхід вимагає вивчення об'єкту як носія системи функцій, що підлягають виконанню ним. Повноту реалізації завдань, які повинні вирішуватися даною функцією в аналізованому варіанті системи, називають ступенем виконання функції.

Функції, якими володіє або повинна володіти система як єдине ціле, називають ***загальносистемними***. При визначенні цих функцій внутрішня будова системи не зачіпається, тобто система розглядається як "чорний

ящик" зі своїми "входами" і "виходами" і вивчається виключно з позиції її зовнішнього аспекту. Тут вивчаються відносинами системи, як цілого, з іншими об’єктами, що лежать поза неї, тобто з середовищем.

При проведенні досліджень складних систем методами функціонального підходу часто важливо знати також внутрішній їх зміст, внутрішні зв'язки системи. В цьому випадку переходять до детальнішого представлення системи, але в рамках цього представлення, як і раніше цікавляться лише функціональними властивостями і зв'язками не тільки системи в цілому, а також підсистем і елементів системи. Функції, якими володіють або повинні володіти компоненти аналізованої системи, називають ***внутрісистемними***. Ці функції визначаються внутрішньою структурою системи.

Функціональний підхід направлений на виділення функціональної структури системи, яка будується за ієрархічним багаторівневим принципом: виконання функцій вищого рангу забезпечується сукупністю особистісних функцій, які, у свою чергу, забезпечуються функціями нижчого рівня і т.п. аж до елементарних функцій, що реалізовуються окремими елементами системи.

Основною особливістю функціонального підходу є повне абстрагування від реальної конструкції системи і зосередження уваги на її функціях, функції виступають як суть аналізованої системи, а її конструкція, технологічний процес виготовлення і т.п. як форми їх прояву. Інша особливість функціонального підходу полягає в його комплексності.

Як би не було велике значення функціонального підходу в дослідженні складних систем, не можливо добитися повноти вивчення системи, якщо не доповнювати його там, де це необхідно, методами структурного аналізу. Системні дослідження повинні базуватися на розгляді в єдності функцій і структури системи. Функції, яка б не була їх природа, можна реалізувати лише в структурі і пояснити за допомогою структури.

Функціональний підхід лежить в основі моделювання явищ і процесів, що протікають в складних системах. Метод функціонального моделювання, заснований на функціональній подібності, тобто схожості або подібності функції об'єктів, що зіставляються. Це метод, при якому відтворюються лише найбільш істотні функції системи. Принципова можливість моделювання окремих. функцій і елементів поведінки складних систем витікає з того, що можна побудувати безліч структур, що реалізовують одну і ту ж функцію. При моделюванні функцій важливим є встановлення умов, при яких функціональна схожість моделі з оригіналом дає право переносити на оригінал структурні властивості моделі.

Вимоги вищестоящої системи або споживачів формують так звані необхідні, або корисні, функції аналізованої системи. Щоб виявити всі

необхідні функції, необхідно розглянути можливі режими функціонування системи, оскільки в кожному режиму функціонування виявляється свій склад необхідних функцій. На відміну від необхідних функцій існують реальні функції, тобто ті, які може виконувати система внаслідок того, що вона володіє певними властивостями.

Якщо порівняти склад необхідних і реальних функцій, то серед реальних можна не знайти деяких потрібних і виявити непотрібні. Бракуючи функції потрібно додати системі, з тим щоб вона повніше відповідала вимогам вищестоящої системи (споживача), навіть якщо це викличе істотні додаткові витрати. Непотрібні функції необхідно за можливості виключити і понизити тим самим витрати. Непотрібні функції можна розглядати як такий різновид допоміжних функцій, без виконання яких аналізована система або її елементи не змінюють свою працездатність.

За ступенем задоволення потреб функції діляться на головні, які визначають призначення, суть і сенс існування системи і другорядні, такі, що відображають побічні цілі її створення.

За участю у виконанні дій функції підрозділяються на основні і допоміжні. До основних відносять функції, які забезпечують працездатність системи і створюють необхідні умови для реалізації її головної функції. Допоміжні ж функції сприяють здійсненню основних, роблять чи їх виконання раціональнішим. Вони безпосередньо не пов'язані з основним призначенням системи.

Сукупність всіх функцій системи з їх відносинами характеризує її ***функціональну структуру***, яка включає всі функції, що виконуються системою, як основні, так і допоміжні, у тому числі й непотрібні, і встановлює їх взаємозв'язки. Системи, що виконують одну основну функцію, називаються однофункціональними, декілька основних функцій - багатофункціональними.

Розглянемо форми і особливості опису функцій технічних систем і їх елементів.

Всякій технічній системі властиві певні зв'язки між елементами, що її складають і які визначаються функцією системи. Для того ж, щоб охопити функцію в цілому, потрібно разом з ціллю функції знати ще і обмежувальні умови.

На практиці зазвичай використовують дві форми опису функції. Одна ґрунтується на моделі "чорного ящика", коли під функцією системи розуміють загальні дії, , що виконуються даною системою. Друга форма називається природною формою опису функцій на мові фахівців. Ця форма опису функції біліше повна, зручна і конкретна. На основі другої форми опису функції завжди легко отримати першу.

Формалізовано природну форму опису функції технічної системи

можна представити такою, що складається з трьох компонентів

$$F = (D, G, H) \qquad (5.3)$$

де ***D*** - дії, що виконуються даною системою і що призводять до бажаного результату;

G - визначення об'єкту (об'єктів), на який направлена дія;

H - визначення особливих умов і обмежень, при яких виконується дія.

В цілому переважна більшість функцій мають природну форму опису, в якій порядок опису компонентів ***D, G, H*** відповідає формулі (5.3). Разом з цим бувають виключення, коли природна форма опису декілька відрізняється від формули (5.3).

Будь-яка сформульована функція відповідає деякому класу технічних систем, що реалізовують цю функцію або що можуть її реалізувати. Найбільш широкому класу технічних систем відповідає такий опис функції, в якому компоненти ***D*** і ***G*** мають найбільш узагальнений вираз, а компонент начального стану ***N*** відсутній. При конкретизації описів компонентів ***D*** і ***G***, при збільшенні числа умов до обмежень ***H*** і при більшій їх конкретизації опис функції відповідатиме різним більш вузьким класам технічних систем. В цілому опис функції необхідно формулювати конкретніше, коротше і простіше.

Аналіз функцій включає:

- формулювання функцій;
- з'ясування складу функцій;
- віднесення функцій до основних, допоміжних або непотрібних;
- встановлення взаємних зв'язків функцій.

Мета аналізу функцій полягає в ієрархічному конструктивному розділенні системи на функціональні елементи, описі їх функцій і побудов функціональної структури системи.

Аналіз функцій технічної системи завершується побудовою її функціональної структури. Функціональна структура, як правило, представляється у вигляді графа функціональної взаємодії елементів системи і об'єктів ***V***, на які направлена її дія.

Вершини графа зображають функціональні елементи, а ребра - функції елементів. Ребра виходять з вершин – тобто елементів системи, функції яких вони описують, і закінчуються у вершинах - елементах, роботу яких вони забезпечують, або у вершинах, які визначають об'єкти, на які направлена дія системи. Якщо елемент має декілька функцій, то з відповідної вершини виходитиме таке ж число ребер - функцій.

Граф функціональної структури, як правило, має ребра двох типів. Ребра першого типу - прості, такі, що починаються в одній вершині і за-

кінчуються в іншій. Ребра другого типу - гіллясті, такі, що починаються в одній вершині і закінчуються в двох і більш вершинах.

Всім ребрам на графі привласнюють позначення, співпадаючі з позначеннями відповідних функцій елементів, а вершинам - позначення, співпадаючі з позначеннями відповідних функціональних елементів і об'єктів ***V***.

При побудові функціональної структури функціональні елементи системи розподіляють за рівнями. Для цього спочатку виділяють функціональні елементи першого рівня за допомогою розділення системи на невелику кількість укрупнених, більш менш рівноцінних конструктивних елементів, кожний з яких має мінімальне число самостійних функцій за забезпеченням роботи інших елементів. Далі будь-який функціональний елемент першого рівня (окрім неподільних елементів) розділяють на функціональні елементи другого рівня і т.п.

Вершини графа функціональної структури розташовують за горизонтальними рядами відповідно до рівнів елементів, що зображуються: у верхньому горизонтальному ряду розташовують вершини, що визначають функціональні елементи першого рівня, нижче в другому ряду - елементи другого рівня і так далі до самого нижнього рівня функціонального розділення системи. Порядок розташування вершин межах одного рядка вибирають так, щоб число перетинів ребер було мінімальним.

Вище за вершини, що визначають функціональні елементи першого рівня в горизонтальному ряду розташовують вершини - об'єкти, на які направлена дія системи (об'єкти ***V***), Ще вище дається найменування даної системи.

Всі зображені функціональні елементи з'єднують штриховими лініями, , що вказують на конструктивне розділення технічної системи і всіх її елементів, тобто від найменування системи проводять штрихові лінії до вершин - елементів першого рівня; кожен елемент першого рівня E_i з'єднують штриховими лініями з вершинами-елементами другого рівня E_{i-1}, E_{i-2}., отриманими розділенням елементу E_i, і т.п.

На рис.5.8 як приклад представлений граф функціональної структури деякої системи.

Тут введені наступні позначення: ***V*** - вершина-об'єкт, на який направлена дія системи; E_0, E_1, E_2 - вершини - елементи першого рівня (E_0 - вершина, що зображає початковий елемент); E_{2-1}, E_{2-2}, E_{2-3}, E_{2-4}, E_{2-5}, E_{2-6} - вершини - елементи другого рівня; F_0, F_1, F_2 - функції елементів першого рівня (F_0 - функція початкового елементу E_0) $F`_{2-1}$, $F``_{2-1}$, $F_{2-2}$, $F_{2-3}$, $F_{2-4}$, $F_{2-5}$, $F_{2-6}$ - функції елементів другого рівня (елемент $E_{2-1}$ має дві функції: $F`_{2-1}$, $F``_{2-1}$).

Для складних технічних систем, що складаються з великого числа

елементів, функціональні структури виходять вельми громіздкими. У таких випадках рекомендується проводити декомпозицію функціональної структури, розділяючи її на окремі фрагменти.

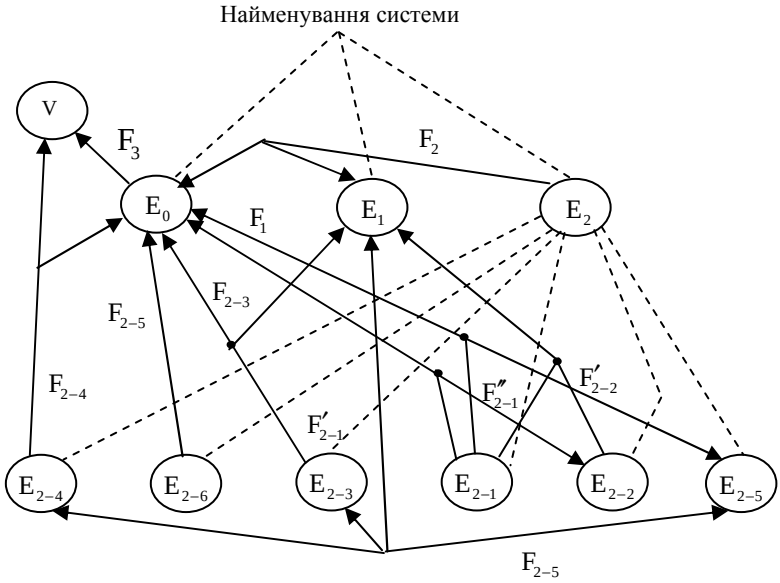


Рис.. 5.8. Граф функціональної структури системи

Іноді, для аналізу властивостей системи зручно використовувати її структурно - функціональний опис, який ґрунтується на: теоретико-множинному, обліковому, матричному, семантичному і інших способах такого опису систем. Наприклад, теоретико-множинним описом системи є кортеж :

$$\boldsymbol{S} = < \boldsymbol{A}, \boldsymbol{R}, \boldsymbol{Z}, \boldsymbol{Y}, \boldsymbol{F} >$$

де $\boldsymbol{A}$ - безліч елементів системи; $\boldsymbol{R}$ - відношення на безлічі $\boldsymbol{A}$; $\boldsymbol{Z}$ - безліч входів системи; $\boldsymbol{Y}$ - безліч виходів системи; $\boldsymbol{F}$ - безліч функцій, що реалізовуються елементами безлічі $\boldsymbol{A}$; $\boldsymbol{Y}$ - відношення емерджентності, визначене на безлічі $\boldsymbol{A}$ і $\boldsymbol{F}$.

Необхідно зазначити, що ні структура, ні програма функціонування ще не утворює системи. Так, системи з однаковою структурою можуть мати різні програми функціонування і навпаки. Єдність структури і програми визначає відношення емерджентності.

5.7. Агрегатна схема опису функціонування АСУ

В даний час при розробці АСУ широко використовується принцип агрегатного опису її структури, який є переходом від проектування жорсткої структури до набору автономних блоків (підсистем) різного призначення, з яких можна компонувати системи довільної структури. Кожен такий блок сконструйований таким чином, що його легко зістикувати з іншими функціональними блоками, агрегатної системи і також він може самостійно виконувати прості функції F^i, F^y, F^o зі складу функцій АСУ. Таким чином, можна створити уніфіковані агрегатні комплекси.

Під ***агрегатом*** розумітимемо об'єкт, що визначається множинами

$$A=\{T,X,\Gamma,Y,Z,H,G\},$$

де $t \in T$ – безліч моментів часу; $x \in X$, $q \in \Gamma$, $y \in Y$ – безліч вхідних сигналів, сигналів, що управляють і вихідних сигналів; $z \in Z$ – безліч станів агрегату;

H, G – оператори переходів і виходів.

Вхідні сигнали в загальному випадку залежать від часу, тобто має місце функція $x(t)$. Введемо простір параметрів агрегату B. Хай елемент цього простору β має вигляд $\beta = (\beta_1, ..., \beta_p) \in B$. Значення вектора β фіксоване в рамках кожного конкретного завдання. Цей вектор зазвичай називають – ***конструктивними параметрами***, а вектор y характеризує параметри управління.

Оператор виходів G представимо у вигляді сукупності операторів G' і при G''. Оператор G' формує моменти видачі чергових сигналів, а оператор G'' – зміст сигналів.

Вихідний сигнал y залежить від останнього сигналу $y(t)$, що управляє, безпосередньо через оператора G'', а так само через безліч $Z(y, \beta)$, що впливає на момент видачі вихідного сигналу. Відомо, що від $y(t)$ залежить так само стан агрегату $Z(t)$, що є аргументом оператору G''. У цьому полягає суть одного з можливих способів управління агрегатом за допомогою сигналів, що управляють, які поступають із зовнішнього середовища.

Вид оператора H залежить від того, поступають або не поступають у термін даного інтервалу часу вхідні сигнали і сигнали гнали, що управляють. Тому оператор H може бути представлений у вигляді сукупності випадкових операторів.

Викладена схема агрегату зручна для опису широкого класу структур АСУ. Крім того, представлення елементів АСУ у вигляді агрегатів дозволяє вивчити деякі їх загальні властивості, пов'язані із структурою і функціонуванням.

Агрегати дозволяють трансформувати структуру системи, нарощувати, якщо це треба, окремі елементи, збільшувати їх інформативну або обчислювальну потужність, мати широку номенклатуру функціональних блоків, в межах якої можна будувати і розвивати структуру АСУ і її підсистем.

Всі функціональні блоки, що входять в агрегатну систему засобів, є сумісними по: фізичним параметрам інформаційних сигналів, сигналів що управляють і допоміжних сигналів, даних і окремих повідомлень; конструкціям використовуваних елементів і вузлів агрегатної системи; організації порядку обміну інформацією між блоками (за алгоритмом зв'язку) в різних режимах зв'язку.

Прикладами агрегатних систем можуть служити складові частини технічних засобів КЗА: комплекс обчислювальних засобів, комплекси технічних засобів передачі даних, відображення, документування, енергопостачання і ін.

Для опису елементів АСУ використовуються різні математичні схеми, основними з яких вважаються:

1) логічні функції;
2) функції предикатів;
3) марківські процеси;
4) кінцеві автомати;
5) системи масового обслуговування і ін.

За допомогою перерахованих схем можуть бути отримані важливі теоретичні і практичні результати. Проте необхідно відзначити, що таким чином можуть бути вирішені далеко не всі проблеми, що виникають в теорії АСУ і системотехніки в цілому. Найбільш загальною і уніфікованою абстрактною (математичною) схемою, що дозволяє описувати різні підсистеми АСУ служить агрегат. Він є математичною моделлю складної системи і може бути представлений у вигляді деякого перетворювача інформації.

Отже, за допомогою його можна описувати процес функціонування АСУ. Тому спочатку розглянемо загальну модель функціонування АСУ.

Формалізація загальної схеми процесу функціонування систем, у тому числі і АСУ, заснована на наступних положеннях:

1) будь-яка система функціонує в часі, взаємодіючи із зовнішнім середовищем, і в кожний момент часу може знаходитися в одному з можливих станів;
2) на вхід системи можуть поступати вхідні сигнали;
3) система здатна видавати вихідні сигнали;
4) стан системи в даний момент часу визначається попередніми станами і вхідними сигналами, що поступили в даний момент часу чи раніше;

вихідний сигнал в даний момент часу визначається станами системи і вхідними сигналами, що відносяться до даного і попередніх станів.

Дамо формальну інтерпретацію кожному із згаданих положень.

І. Безліч моментів часу ***t***, в які розглядається функціонування системи, позначимо ***T.*** Множина ***T*** в загальному випадку є підмножиною безлічі дійсних чисел і може бути безперервною, дискретною (кінцевою або рахованою) або дискретно-безперервною. До систем, що функціонують в дискретному часі, зазвичай відносять кінцеві автомати, обчислювальні пристрої, ЕОМ. До систем, що функціонують в безперервному часі, відносяться багато електричних систем, системи автоматичного управління безперервними об'єктами, механічні системи, а також АСУ різними безперервними процесами.

У ряді випадків функціонування систем носить дискретно - безперервний характер, що характерний для ієрархічних систем автоматизованого управління технологічними процесами; на нижніх рівнях управління може розглядатися в безперервному часі, а на вищих - в дискретному часі. Функціонування системи в часі розглядається як процес переходу системи із стану в стан. Отже, перш ніж розглядати функціонування системи, необхідно визначити безліч її станів. Можливі різні ***способи визначення станів***. Розглянемо деякі з них.

А) Стан системи ***Z*** визначається як сукупність станів елементів системи. Якщо елементи можуть знаходитися в двох станах, а система, що містить ***n*** елементів, може знаходитися в одному з 2^n станів. Так визначається стан дискретних автоматів в обчислювальній техніці, складних систем при аналізі характеристик надійності, кодуючих і декодуючих перетворювачів в техніці передачі даних і ін. Таким чином, безліч станів системи z_i, $z_i \in Z$ дискретна.

Б) Стан системи ***Z*** характеризується деяким цілим ненегативним числом ***(Z= 0,1,2,3...)***. Так визначається стан при аналізі складних інформаційних систем з однією фазою обслуговування. В цьому випадку ***Z***- число завдань, запитів, що знаходяться в системі (на обслуговуванні або в черзі).

В) Випадок, що, узагальнює другий варіант, це коли стан системи описується набором цілих ненегативних чисел:

$$Z = (Z_1, Z_2 ..., Z_i, ..., Z_n); \quad Z_i = 0,1,2,..$$

де Z_i - число заявок на обслуговування в ***i*** -й фазі; ***i*** - число фаз.

Подібний підхід у визначення стану використовується при описі динаміки багатофазних, багатоетапних систем типу систем масового обслуговування.

Г) Стан системи визначається набором дійсних чисел. Наприклад, положення літака можна в даний момент часу описати вектором фазових координат (z_1, z_2, z_3), де z_1- дальність, z_2-азимут, z_3 - кут місця.

У загальному випадку, що охоплює всі розглянуті варіанти, вважатимемо, що стан АСУ яка розглядається Z описується деяким набором характеристик z_i, $z_i \epsilon Z_1$ $(i=1,2...,k)$, де Z_1 - задані множини, а безліч можливих станів АСУ Z визначається як пряме перемноження множин Z_i;

$$Z = Z_1 \bullet Z_2 \bullet ....\bullet Z_i \bullet ... \bullet Z_k .$$

Безліч Z зазвичай в літературі називають простором станів системи. Аналогом простору станів в реальній фізичній інтерпретації є тривимірний евклідів простір. У загальному випадку стан $z(t)$ у момент часу t є точка простору Z_i з координатами z_1, z_2, z_3.

2. На вхід будь-якої складної системи можуть поступати вхідні сигнали $x \in X_i$ де X_0 - безліч вхідних сигналів. Вхідний сигнал, що поступає в систему в момент $t \in T$, позначимо $X(t)$.

У загальному випадку припускатимемо, що вхідний сигнал описується набором характеристик $x \in X_i$ $(i = 1, 2...,m)$, де X_i - задані дискретні або безперервні множини. Пряме перемноження вигляду

$$X_i = x_1 . x_2 . ... . x_m,$$

називатимемо простором вхідних сигналів, а вхідний сигнал X_i є точкою простору X, описувану координатами $X_i = x_1, x_2 ..., x_i, ..., x_m$

Відображення $Y = L(t)$, що відносить кожному $t \in T$ деякий сигнал $x \in X_i$ називатимемо вхідним процесом $L(t)$.

3. Система здатна видавати вихідні сигнали $y \in Y_0$, де Y_0 - безліч вихідних сигналів. Вихідний сигнал, що видається системою в момент $t \in T$, позначимо $y(t)$. Якщо вихідний сигнал у описується набором характеристик $y_1, y_2, \ldots y_n$, таких, що $y_i \in Y_i$ $(i = 1, 2, ..., n)$, а Y_i - задані множини, Пряме перемноження вигляду

$$Y_i = y_1 \times y_2 \times ... \times y_n$$

називатимемо простором вихідних сигналів $Y_i \in Y$. За аналогією з вхідним процесом визначається поняття вихідного процесу $Y = M(t)$.

Для визначення поведінки АСУ через введені поняття безлічі станів, безлічі вхідних і вихідних сигналів необхідно ввести співвідношення, що дозволяють визначити стан системи і її вихідний сигнал в заданий момент часу t_i, якщо відомі стан системи і вхідні сигнали у попередній момент часу t_{i-1}.

Надалі розглядатимемо динаміку тільки для класу АСУ, що мають назву - системами без післядії. Це система, майбутня поведінка якої визначається її теперішнім станом і не залежить від минулих станів; інакше кажучи, стан $z(t)$ системи без післядії у момент часу $t > t_0$ визначається її станом $z(t_0)$ і ділянкою вхідного процесу $x = L(t)$ за інтервал (t, t_0), але не

залежить від передісторії поведінки системи, від того, яким чином система прийшла в стан $z(t_0)$. Інакше кажучи для кожного моменту часу імовірність будь-якого стану системи в майбутньому залежить тільки від стану системи в даний момент (t_0) і не залежить від того, яким чином система прийшла в цей стан, а це визначення марківського процесу. Розрізняють два класи АСУ без післядії: детерміновані системи і стохастичні системи.

Динаміка для ***детермінованих систем без післядії*** вважатиметься заданою, якщо вказані оператори переходів H, оператор виходів G.

1. ***Оператор переходів*** H визначає динаміку переходів системи із стану в стан:

$$z(t) = H\{t_0, t, z(t_0), (t, x_1]_{t_0}^{t}\}$$

де $z(t_0)$ - начальний стан; $(t_1, x_1]_{t_0}^{t} \in \{(t_1, x_1]_{t_0}^{t})\}; (t, x_1]_{t_0}^{t})]$ - безліч всіляких ділянок вхідного процесу $x = L(t)$, що відповідають інтервалу (t,t_0). При фіксованих t_0, $z(t_0)$. і $(t, x_1]_{t_0}^{t}$ оператора H реалізує відображення $z = H(t)$, або $z = z(t)$ безлічі T у множину Z, яка називається ***рухом системи***. Безліч всіляких рухів системи позначимо $\{z(t)\}$.

Сукупність впорядкованих пар (t,z) для всіх $t \in T$, де z визначається заданим рухом $z = z(t)$, називається ***фазовою траєкторією***.

Траєкторія системи є проекцією фазової траєкторії, на простір Z. У даному випадку оператор переходів H повинен задовольняти наступним двом основним умовам:

а) $H\{t_0, t, z(t_0), (t, x_1]_{t_0}^{t_0})\} = z(t_0)$;

б) $H\{t_0, t_2, z(t_0), (t, x_1]_{t_0}^{t_2})\} = H\{t_1, t_2, z(t_1), (t, x_1]_{t_1}^{t_2})\}$,

де $t_0 \in T$; $z(t_0) \in Z$, $z(t_1) \in Z$ і $(t_0, x_1]_{t_0}^{t_2}$ є результат з'єднання вхідних процесів $(t_0, x_1]_{t_0}^{t_2}$ і $(t_0 x_1]_{t_1}^{t_2}$.

Друга умова, це умовам однозначності. Вона дозволяє розділяти вхідний процес $X(t)$ на довільні з'єднані між собою ділянки і аналізувати поведінку системи на кожній ділянці окремо, що спрощує процедуру дослідження систем.

2. ***Оператор виходів системи*** G визначає динаміку вихідних сигналів:

$$y(t) = G\{t_0, t, z(t_0), (t, x_1]_{t_0}^{t}\} = G[t, z(t)] .$$

Не дивлячись на зовнішню схожість операторів, між ними є і істотна відмінність. Оператор H кожному елементу $t > t_0$ з безлічі T ставить у відповідність певний елемент $z \in Z$ (простору станів). Проте з фізичних міркувань ясно, що існують системи, які видають вихідні сигнали не обов'я-

зково в кожен момент $t \in T$. Щоб усунути цю відмінність, принаймні з формальної точки зору, можна припустити, що безлічі Y_0 належить і „порожній" сигнал, який фізично інтерпретується як відсутність вихідного сигналу у момент часу t_i.

Для завдання узагальненої динаміки АСУ оператори H і G об'єднують у вигляді оператора $F= (H,G)$, позначаючи його як ***оператор функціонування системи***, а сукупність точок $[z(t), y(t)]$ простору $Z \bullet Y$, відповідних всім $t \in T$, визначають як ***траєкторію функціонування***.

Для завдання динаміки ***стохастичних систем без післядії*** зазвичай вводять поняття випадкового оператора, оскільки функціонування подібних систем відбувається за наявності випадкових чинників. Хай Ω - простір елементарних випадкових подій з імовірністю $P(\omega)$, де ω - елементарна випадкова подія. Тоді оператори переходів і виходів складної стохастичної системи без післядії задаються у вигляді випадкових операторів:

$$z(t) = H\{t_0, t, z(t_0, \omega_0), (t, x_i]_{t_0}^{t} \omega_1)\}; \quad y(t) = G[t, z(t), \omega_2],$$

де $\omega_0, \omega_1, \omega_2$ - елементарні випадкові події, які незалежно вибираються з Ω відповідно з ймовірностями $P_z(\omega_0), P_z(\omega_1), P_z(\omega_2)$. При цьому, якщо ω_1 і ω_2 фіксовані, то стохастична система називається системою ***з випадковими початковими станами***; якщо ω_0 і ω_2 фіксовані, то стохастична система називається системою з ***випадковими переходами***; якщо ω_0 і ω_1, фіксовані, то стохастична система називається системою з ***випадковими виходами***.

Через наявність випадкових чинників у системі, динаміку стохастичної системи в просторі станів можна описувати поведінкою випадкового процесу $z(t,\omega)$ з областю значень в безлічі станів системи Z .

У загальному випадку АСУ, в першу чергу, відрізняються значним числом елементів їх різнорідним складом і різним характером взаємодії.

Тому побудова загальної моделі функціонування у вигляді єдиних операторів H і G виявляється зручною з методичної точки зору, але має труднощі при вирішенні практичних задач.

Основний метод побудови моделей функціонування АСУ полягає у функціональній декомпозиції системи, яка вимагає розкриття структури системи (складу елементів, функцій елементів і їх взаємодії),

Причому в більшості випадків модель функціонування носить ієрархічний характер (рис.5.9).

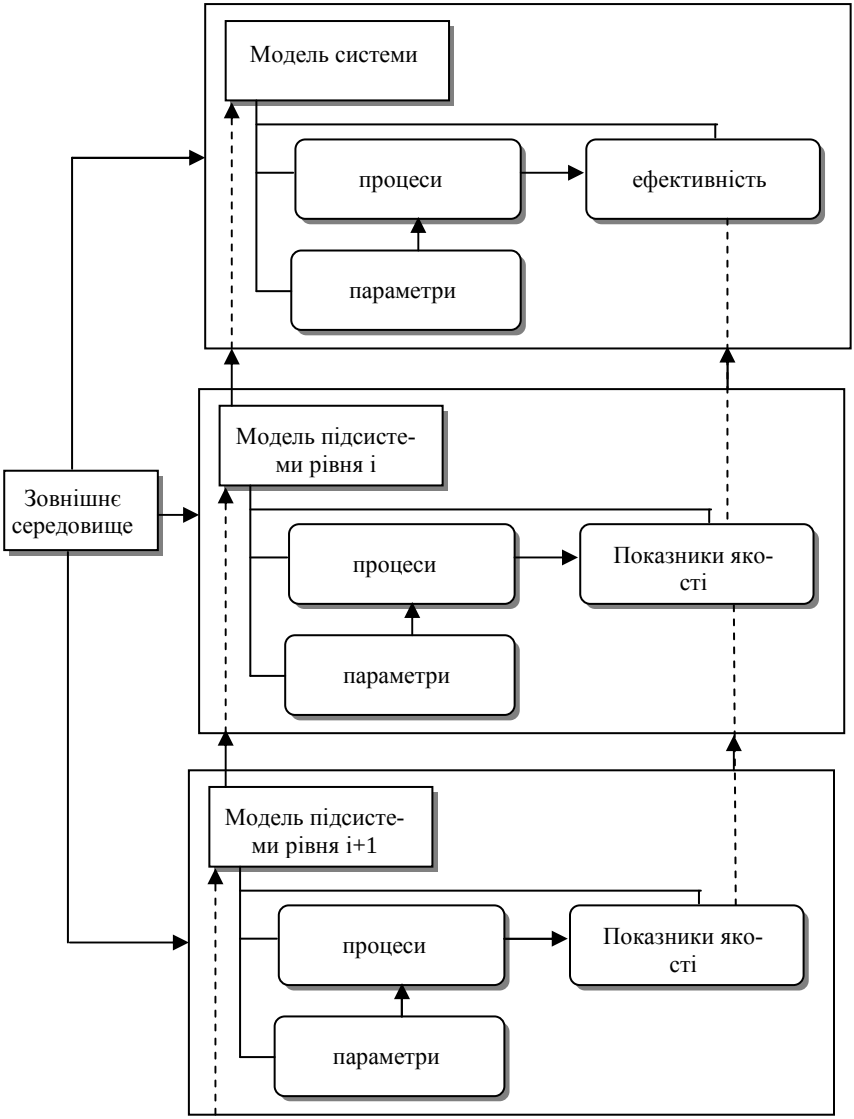


Рис. 5.9. Багаторівневе представлення моделі функціонування АСУ

5.8. Концептуальне моделювання АСУ

Вивчення будь-якої системи припускає створення моделі системи, що дозволяє передбачити її поведінку в певному діапазоні умов, вирішити задачі аналізу і синтезу реальної системи. Залежно від завдань і цілей моделювання воно може проводитися на різних рівнях абстракції.

На стадії створення АСУ може розглядатися на трьох модельних рівнях: концептуальному, логічному и фізичному.

Концептуальний рівень дає змістовний, якісний опис системи. ***Логічний рівень*** дозволяє на основі математичного апарату формалізувати, логічно визначити місце окремих елементів АСУ в просторі і оцінити їх взаємодію в часі. ***Фізичний рівень*** модельного розгляду дозволяє судити про можливості реалізації системи на основі різних технічних і програмних засобів.

Концептуальна модель розробляється на завершальній стадії обґрунтування концепції побудови АСУ.

Концептуальна модель будь-якої складної технічної системи є абстрактною моделлю, що містить опис на якісному рівні:

- принципів побудови; структури системи;
- способу визначення істотних її властивостей;
- організації управління системою в процесі її функціонування.

Концептуальна модель будується для системи, що створюється або яка удосконалюється з метою розробки, обґрунтування проектних рішень за побудовою і функціонуванням системи, відповідно до пред'явлених вимог. Розробка концептуальної моделі складає перший етап формалізації процесу створення або розвитку системи. Результати концептуального моделювання є початковими даними для конструктивного моделювання і зокрема, математичного моделювання.

При концептуальному моделюванні виділяють наступні ***основні етапи*** (рис.5.10).

І. ***Визначення рівня деталізації моделі***. Модель системи, що створюється представляється у вигляді сукупності підсистем (агрегатів), які забезпечують збереження цілісності. Кожну підсистему шляхом декомпозиції розділяють на елементи з урахуванням глобальної мети і функцій, що покладаються на неї. В результаті декомпозиції системи на підсистеми і елементи виникає декілька нових моделей.

2. ***Локалізація моделі.*** На даному етапі враховуються дії на систему зовнішнього середовища у вигляді генераторів зовнішніх обурень. Причому ці генератори включаються до складу системи, у якості її елементів, як показано на рис.5.11.

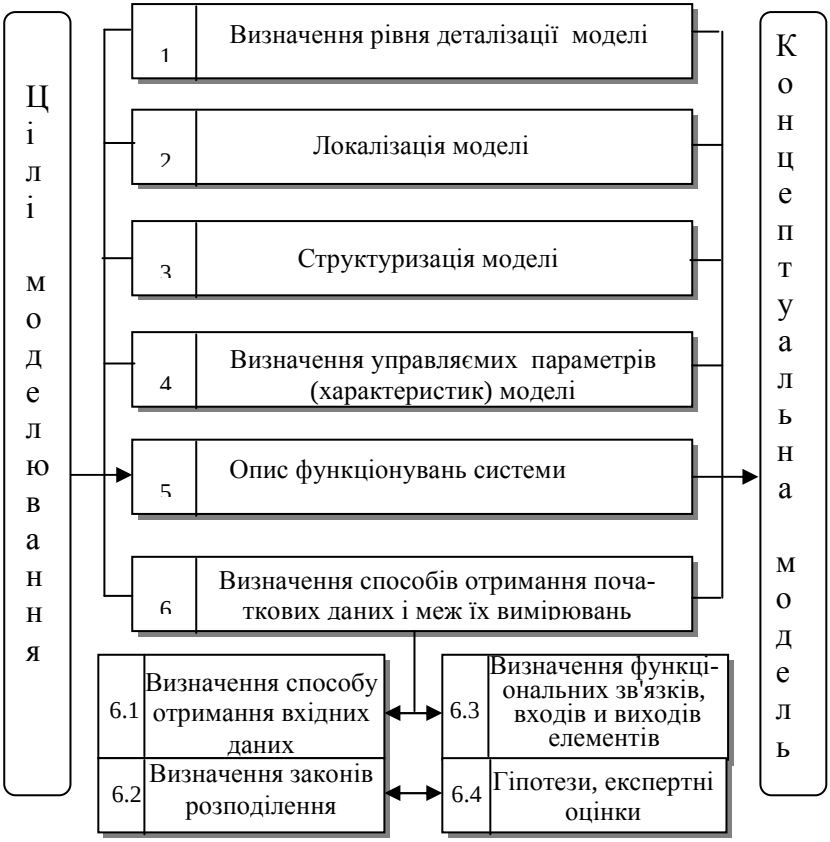


Рис. 5.10. Етапи концептуального моделювання АСУ

3. Структуризація моделі. Цім етапом завершується побудова структури системи (моделі з вказівкою зв'язків функціональних, інформаційних, матеріальних, підпорядкування і ін.). Основними зв'язками вважаються функціональні, які забезпечують адекватність і цілісність реальної моделі. В процесі структуризації система виділяється із зовнішнього середовища.

4. Визначення параметрів (характеристик) моделі, якими буде здійснено управління. До моделі повинні увійти ті параметри системи які допускають варіювання своїх значень в процесі моделювання і які забезпечать знаходження тих характеристик, що цікавлять розробника моделі. Решта параметрів моделі з метою збереження її адекватності повинна бути

включена в обмеження.

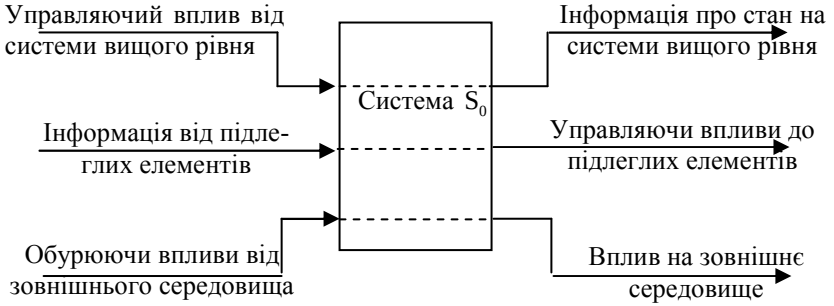


Рис. 5.11. Склад основних вхідних і вихідних потоків даних в АСУ

5. Опис функціонувань системи, що є процесом реалізації функцій при досягненні системою поставленої мети. Зазвичай в системах управління протікає декілька процесів одночасно. Так, наприклад, в деяких АСУ мета може досягатися одночасно при централізованому і децентралізованому управлінні. Тому при описі функціонування необхідно перш за все виділяти ті функції і процеси, що породжують, які є найбільш істотними в даному розгляді.

6. Визначення способів отримання початкових даних і меж їх вимірювань. Розрізняють якісні і кількісні характеристики системи. Для кількісних характеристик необхідно визначити межі їх вимірювань, які надалі використовуються при математичній моделюванні. Початкові дані можуть бути детерміновані і випадкові, в більшості випадків вони випадкові. Тому для випадкових параметрів необхідно організувати збір статистики і їх обробку для отримання закону про їх статистичний розподіл.

Для кожного елементу системи існує функціональний зв'язок між вхідними і вихідними характеристиками. Отже, встановлення зв'язків між ними дає кількісні початкові дані.

Гіпотези і експертні оцінки дозволяють перевірити припущення про доцільність тих або інших технічних і проектних рішень при створенні, експлуатації або розвитку АСУ.

Створена таким чином концептуальна модель повинна бути перевірена на адекватність і точність. При необхідній адекватності і точності вона може служити основою для розробки математичної моделі системи.

5.9. Питання до розділу 5

1. Наведіть основні завдання аналізу АСУ.
2. Дайте визначення поняттю синтез АСУ.
3. Дайте визначення поняттю аналіз АСУ.
4. Наведіть основні завдання синтезу АСУ.
5. Дайте визначення поняттю структура системи.
6. Які завдання вирішуються при аналізі функціональної структури АСУ.
7. Які завдання вирішуються при аналізі технічної структури АСУ.
8. Наведіть основні етапи структурного синтезу АСУ.
9. Наведіть особистісні критерії оптимізації АСУ.
10. Наведіть обмеження в особистісних завданнях синтезу.
11. Охарактеризуйте групу методів відсікання.
12. Охарактеризуйте групу комбінаторних методів.
13. Охарактеризуйте групу наближених методів.
14. Наведіть і пояснить модель структурного сполучення елементів в АСУ.
15. Які дані необхідно визначити для завдання будь-якої мережі масового обслуговування.
16. Наведіть структуру обчислювальної системи у вигляді мережі.
17. Сформулюйте теорему Джексона.
18. Дайте визначення морфологічному опису структур АСУ.
19. Дайте визначення інформаційному опису АСУ.
20. Дайте визначення функціональному опису АСУ.
21. Дайте визначення агрегатній схемі опису функціонування АСУ.
22. Дайте визначення поняттю концептуальна модель.
23. Наведіть основні етапи концептуального моделювання.

Розділ 6

Математичні методи рішення задач оптимізації АСУ

Наведено математичну постановку задачі оптимізації АСУ. розглянуті методи. Розглянуто математичні методи вирішення задачі оптимізації АСУ із застосуванням теорії графів, зокрема застосування динамічного програмування, метода гілок і меж, мережевого планування і управління, а також екстраполяції і лінійного програмування.

6.1. Математична постановка та вирішення завдання оптимізації АСУ

6.1.2. Математична постановка завдання оптимізації

Процес оптимізації припускає вибір такого варіанта управління, при якому досягається мінімальне або максимальне значення деякого критерію, що характеризує якість управління. Вибір належного критерію є основною проблемою правильної постановки задачі оптимізації. Обов'язково повинна бути сформульована мета. Якщо є різні шляхи досягнення цієї мети, то необхідно знайти найкращий з них.

Постановка задачі оптимізації містить у собі безліч припустимих рішень $X = \{x_1, x_2, ..., x_n\}$ та визначену на цій безлічі числову функцію f, що називається цільовою функцією.

Не можна ототожнювати критерій (критерії) оптимальності й цільову функцію.

цільова функція – це аналітична залежність між критерієм (критеріями) оптимальності та параметрами, що підлягають оптимізації, із вказівкою напрямку екстремуму.

Відмінність понять «критерій» і «цільова функція» полягає в такому:

1. Цільова функція може містити в собі більше одного критерію.
2. Для цільової функції завжди обов'язково вказується вид екстремуму:

$$f(x) \to max \ \ (f(x) \to min) .$$

Цей вибір залежить від загальних цілей, які належать перед управлінням. У одному випадку метою може служити досягнення максимального об'єму випуску продукції або отримання максимального прибутку, в іншому — мінімізація собівартості або вибір такого плану, при якому та або інша поставлена наперед мета досягається за мінімальний час, і т.п.

У завданнях, що реально зустрічаються на практиці, управління мають справу не з одним критерієм, а з багатьма. Причому, часто ці критерії суперечливі: поліпшення управління за одним з критеріїв погіршує значення інших і навпаки. Так, прагнення к збільшенню об'єму випуску продукції може привести до погіршення її якості, досягнення мети в найкоротші терміни - до додаткових витрат і т.п. В той же час математично правильна постановка завдання оптимізації припускає наявність лише одного критерію.

Вихід з положення досягається трьома основними шляхами.

Перший і найбільш часто вживаний спосіб полягає в тому, що для оптимізації вибирається один з критеріїв, а для інших встановлюються деякі порогові значення. Наприклад, ставиться завдання: отримати максимальний прибуток, при об'ємі виробництва за певної номенклатури не менше планового. В цьому випадку ставлять і вирішують не одну, а декілька завдань оптимізації. Так, якщо є n критеріїв $A_1\ A_2,...,\ An,$ то спочатку оптимізація проводиться за параметром A_1 (із завданням допустимих значень для решти критеріїв), потім за параметром A_2 і т.п.

Другий спосіб полягає в побудові змішаного критерію, що є деяку функцію від первинних параметрів. У більшості випадків, що зустрічаються на практиці, ця функція є лінійною:

$$f(A_1, A_2, ..., A_n) = a_1 A_1 + a_2 A_2 + ... + a_n A_n .$$

Вибір вагових коефіцієнтів $a_1, a_2, ..., a_n$ (вони можуть бути як позитивними, так і негативними) проводиться відповідно до якісного уявлення про відносну важливість різних критеріїв. Як і у попередньому випадку, при цьому способі вирішують не одне, а декілька завдань оптимізації для різних функцій, в лінійному випадку при різних значеннях вагових коефіцієнтів.

Третій спосіб полягає в зміні масштабу постановки завдання. Так при оптимізації управління дрібною економічною системою, наприклад, окремим заводом, виникає необхідність розгляду багатьох суперечливих критеріїв. Якщо розширити масштаб постановки завдання, взявши за об'єкт цілу галузь промисловості або навіть все народне господарство, то ці особистісні критерії можна вивести з меншого числа глобальних критеріїв. У масштабі всього народного господарства можна кінець кінцем звести

справу до одного глобального критерію, а саме до часу, потрібного для досягнення досить детальної мети за обсягами і складу кінцевого продукту на певний момент часу в майбутньому.

Класична ***математична постановка завдання оптимізації*** полягає в тому, щоб знайти екстремальне (мінімальне або максимальне) значення деякої функції $f(x_1, x_2, ..., x_n)$ в певній області S значень параметрів $x_1, x_2, ..., x_n$. Область S зазвичай задається системою нерівностей вигляду:

$$g(x_1, x_2, ..., x_n) > 0 \text{ або } g(x_1, x_2, ..., x_n) < 0.$$

Точка $M(x_1, x_2, ..., x_n)$ тоді і тільки тоді належить області S, коли її координати задовольняють всім нерівностям, що задають цю область. Якщо при цьому мають місце строгі нерівності, то точка виявляється усередині області S. У разі ж, коли хоч би одна з нерівностей перетворюється в рівність, точка потрапляє на межу області S. При цьому передбачається, що функції g, які задають межі області - безперервні.

Якщо функція f також безперервна (що зазвичай буває на практиці), то, як доводиться в математичному аналізі, в кінцевій області S знайдуться точки M_1 і M_2, в яких ця функція приймає найбільше і найменше значення. Якщо екстремум (максимум або мінімум) досягається у внутрішній точці області, а функція f диференціюємо, то в точці екстремуму всі особистісні похідні $\frac{df}{dx_i}$, $(i = 1, 2, ..., n)$ звертаються в нуль. На цьому заснований класичний метод знаходження екстремумів: знаходяться точки, $M(x_1, x_2, ..., x_n)$ координати яких задовольняють системі рівнянь $\frac{df}{dx_i} = 0$ і які лежать усередині області S.

Слід нагадати, що умова перетворення на нуль особистісних похідних є необхідною, але недостатньою умовою екстремуму. Тому всі знайдені точки піддаються додатковій перевірці. На практиці це найчастіше робиться обчисленням значень функції f у всіх знайдених точках і знаходження серед них найбільшого і найменшого значення. У разі, коли наперед відомо, що екстремальні значення досягаються функцією f усередині області, вказана процедура приводить до локального рішення задачі. На жаль, в реальних завданнях управління таке положення є скоріше виключенням, чим правилом: найчастіше екстремальні значення досягаються саме на межах області.

У такому разі виникає завдання на умовний екстремум: знайти точки $M(x_1, x_2, ..., x_n)$ екстремуму функції f за умови, що вони задовольняють одному або декільком граничним рівнянням

$g_1(x_{1t*2},...,x_n)=0$ або $g_m(x_1x_a,...,x_n)=0$.

Таким чином можна виділити два види завдань оптимізації:

1. Завдання мінімізації.
2. Завдання максимізації.

Щоб вирішити ***задачу мінімізації*** функції f на множині X, необхідно знайти такий вектор $x_0 \in X$ (а також відповідне значення цільової функції $f(x_0)$), щоб нерівність: $f(x_0) \le f(x)$ виконувалося для всіх $x \in X$. При цьому x_0 називають оптимальним рішенням (точніше тут – мінімальним рішенням),а $f(x_0)$ - оптимумом (мінімумом).

Щоб вирішити ***задачу максимізації*** функції f на множині X, необхідно знайти такий вектор $x_0 \in X$ (а також відповідне значення цільової функції $f(x_0)$), щоб нерівність: $f(x_0) \ge f(x)$ виконувалося для всіх $x \in X$. При цьому x_0 називають оптимальним (максимальним) рішенням, а $f(x_0)$ – оптимумом (максимумом).

У загальному вигляді знаходиться саме вектор x_0, оскільки, наприклад, при рішенні двопараметричної задачі, він включатиме два параметри, трьохпараметричною – три параметри і т.п.

При рішенні задач оптимізації слід мати на увазі, який вигляд має цільова функція.

Наприклад нехай $a \le x \le b$ і $f(x) \to min$, а цільова функція має вигляд, як показано на рис. 6.1.

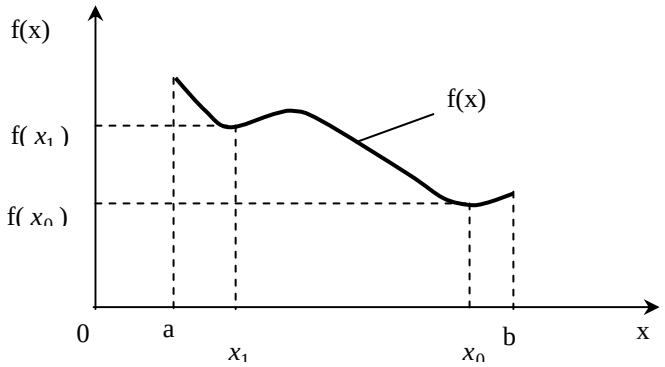


Рис. 6.1. Ілюстрація понять «локальний мінімум» і «глобальний мінімум» цільової функції

Тут точка x_0- глобальний мінімум, а точка x_1 - локальний мінімум цільової функції.

Нехай тепер $a \le x \le b$ і $f(x) \to max$, а цільова функція має вигляд, як показано на рис. 6.2.

Тут x_0- точка глобального максимуму, а x_1- точка локального максимуму цільової функції.

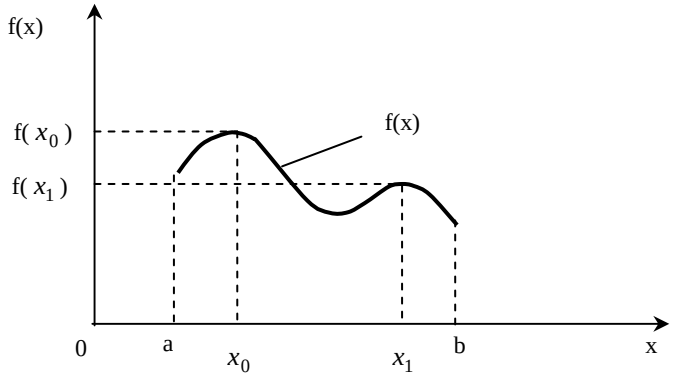


Рис. 6.2. Ілюстрація понять «локальний максимум» і «глобальний максимум» цільової функції

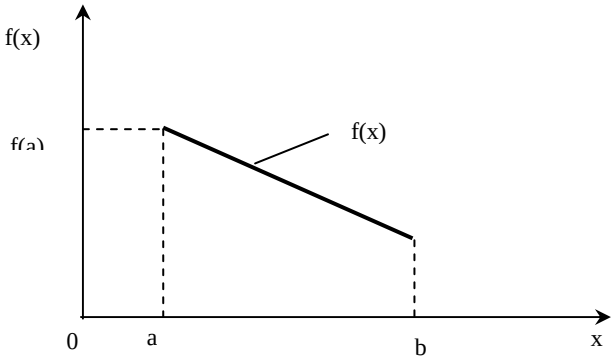


Рис. 6.3. Ілюстрація випадку, коли безліч допустимих рішень не замкнута

Приведене вище завдання оптимізації має рішення не при будь-яких цільових функціях і допустимих множинах. Існують завдання, в яких неможливо знайти оптимальне рішення і екстремум цільової функції. Напри-

клад, не існує точок мінімуму функції однієї змінної f на множині X $f(x) \to min$ у випадках, приведених нижче на рис. 6.3, 6.4 і 6.5.

Тут межа «a» безлічі допустимих рішень в інтервал входить, а межа «b» відсутня. Тобто множина X ***не замкнута***, отже, $f(b)$ – не існує.

У випадку, представленому на рис. 6.4, визначена лише одна ліва межа безлічі допустимих рішень. $X = [a, \infty)$, тобто безліч допустимих рішень ***необмежена***.

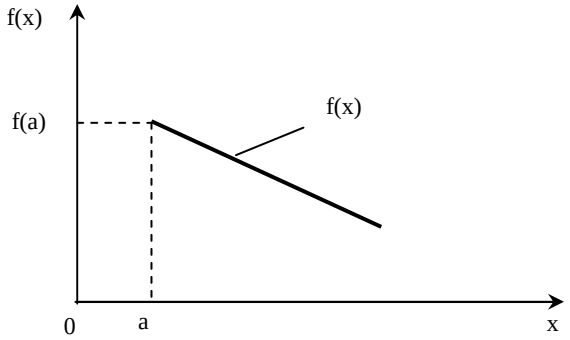


Рис. 6.4. Ілюстрація необмеженості безлічі допустимих рішень.

На рис. 6.5. показаний ще один випадок, коли завдання оптимізації не має однозначного рішення.

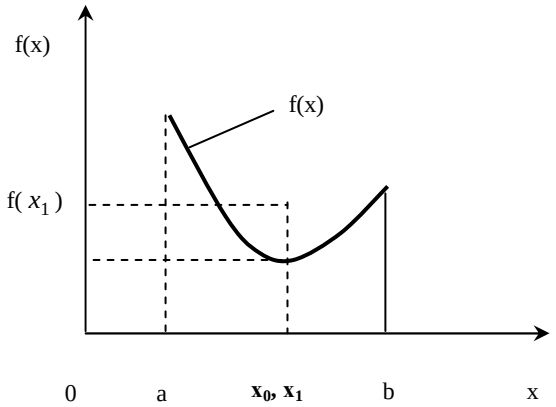


Рис. 6.5. Ілюстрація випадку, коли функція ***f(x)*** *не є безперервною.*

Тут функція $f(x)$ не є безперервною, оскільки в т. x_0 (x_1) існують два значення функції – $f(x_0)$ і $f(x_1)$.

Отже, завдання оптимізації вирішуване, якщо виконуються наступні три умови:

1. Безліч допустимих рішень X замкнута, тобто якщо граничні точки належать цій множині.
2. Множина X обмежена.
3. Цільова функція $f(x)$ безперервна.

Це несуворе формулювання ***теореми Вейерштраса.***

6.1.2. Методи вирішення завдання оптимізації АСУ

Графоаналітичний метод рішення задач оптимізації.

Цим методом вирішуються прості завдання оптимізації. Математичні моделі в цих завданнях не повинні бути складними, оскільки інакше потрібно багато часу для їх вирішення. Спершу розглянемо ***однопараметричне однокритеріальне завдання оптимізації***.

Постановка завдання: Даний один критерій y. Об'єкт (процес) описаний рівнянням (рівняннями), що включають один параметр $y = f(x)$, який потрібно знайти. Є система обмежень:

1) $x \geq a_1$;

2) $a_2 \leq x \leq b_1$; і т.п.

Необхідно знайти оптимальне значення параметра $x - x_{опт}$, що обертає цільову функцію $f(x)$ в максимум або мінімум.

Завдання вирішується в два етапи:

1. Побудова області допустимих рішень (ОДР).
2. Знаходження в межах ОДР оптимального рішення.

При побудові ОДР ***на першому етапі*** розглядається система обмежень. Всі обмеження повинні бути виконані. Виконання першого обмеження в приведеній вище постановці завдання оптимізації означає, що значення параметра x, яке потрібно знайти повинно знаходитися правіше a_1, причому, a_1 в дозволений інтервал входить (рис.6.6). Виконання другого обмеження означає, що значення параметра x, яке потрібно знайти повинно знаходитися в інтервалі (на відрізку) $[a_2, b_1]$, слід мати на увазі, що межі інтервалу в інтервал входять.

На другому етапі застосовують метод перебору. Суть його полягає в наступному. У межах ОДР через певний інтервал h вибирається ряд значень параметра x_i. У випадку, що розглядається нами, ОДР розбита на чо-

тири відрізки, і вибрано п'ять значень параметра x. Для цих значень параметра x розраховуються відповідні значення цільової функції. Серед них знаходять мінімальне (максимальне) значення. Значення параметра x_i, що обертає цільову функцію в мінімум (максимум), є оптимальним. Якщо у випадку $f(x)$, що розглядається нами, $f(x)$ прагне до мінімуму, то $x_{опт} = x_3$, якщо до максимуму, то $x_{опт} = x_5$.

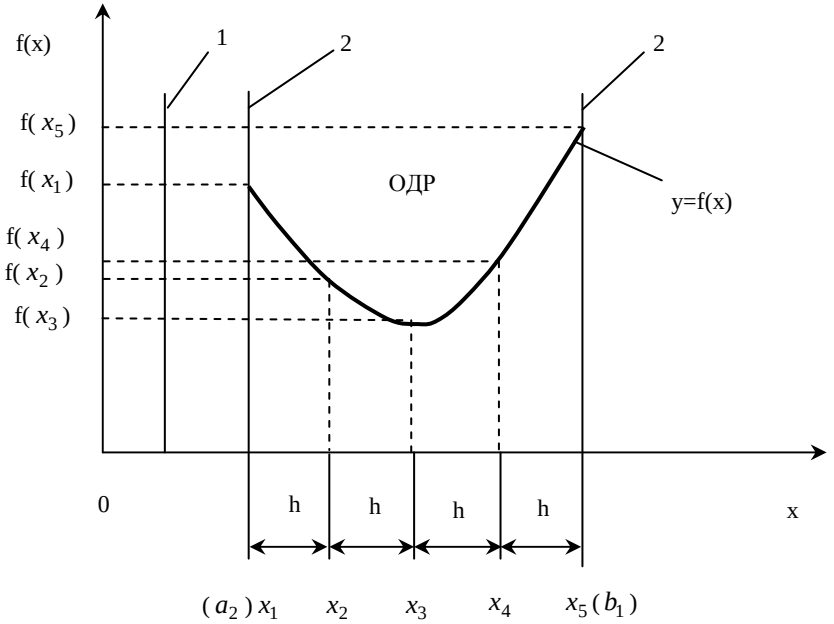


Рис. 6.6. Графічна ілюстрація рішення однопараметричної однокритеріальної задачі оптимізації

Зауваження. При рішенні практичних задач оптимізації завжди слід мати на увазі, яка цільова функція. Це значно спрощує роботу як при рішенні завдань оптимізації уручну із застосуванням графо-аналітичного методу, так і при рішенні таких задач з використанням комп'ютерних програм. Причому, це відноситься і до випадку використання готових програм, і, що особливо важливе, до розробки власних програм.

Розглянемо, наприклад, наступний окремий випадок, коли цільова функція лінійна (рис. 6.7).

В даному випадку на другому етапі обчислюють значення цільової функції тільки на межах ОДР. Ці значення порівнюють і вибирають найменше або найбільше. Для прикладу, приведеного на рис. 6.7, якщо $f(x) \to min$, то $x_{опт} = b_1$, якщо $f(x) \to max$, то $x_{опт} = a_2$.

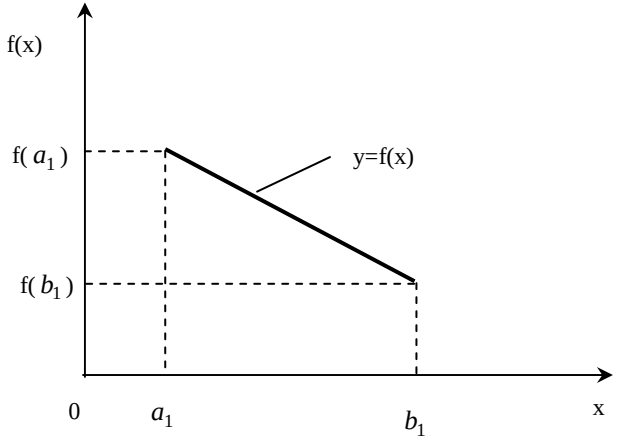


Рис. 6.7. Графічна ілюстрація рішення однопараметричної однокритеріальної задачі оптимізації для випадку лінійної цільової функції

Розглянемо тепер графоаналітичний ***метод рішення багатопараметричної однокритеріальної задачі оптимізації.*** Уручну цим методом реально можна вирішити максимум двопараметричну задачу оптимізації.

Постановка завдання:

Даний один критерій ***y***. Об'єкт (процес) описаний рівнянням (рівняннями), що включають ряд параметрів $y = f(x_1, x_2, ..., x_n)$. Є система обмежень:

1) $a_1 \le x_1 \le b_1$;
2) $a_2 \le x_2 \le b_2$;
….
n) $a_n \le x_n \le b_n$;
….
n+1) $x_1 \times x_2 \le c_1$;
n+2) $x_2 \times x_3 \le c_2$;
….

Потрібно визначити оптимальне значення ряду параметрів $x_{1опт}, x_{2опт}, ..., x_{mопт}$ $(m \le n)$, що обертають цільову функцію $f(x_1, x_2, ..., x_n)$ в максимум або мінімум.

Розглянемо рішення багатопараметричної однокритеріальної задачі оптимізації на наступному прикладі. Заданий критерій $y = x_2/x_1$. Потрібно знайти $x_{1опт}$ і $x_{2опт}$, що обертають в максимум цільову функцію $y = x_2/x_1 \to max$. Обмеження:

$$1 \le x_1 \le 8$$

$$2 \le x_2 \le 12$$

$$x_1 \times x_2 \ge 10$$

Завдання вирішується також в два етапи:

1. Побудова ОДР.
2. Знаходження в межах ОДР оптимального рішення.

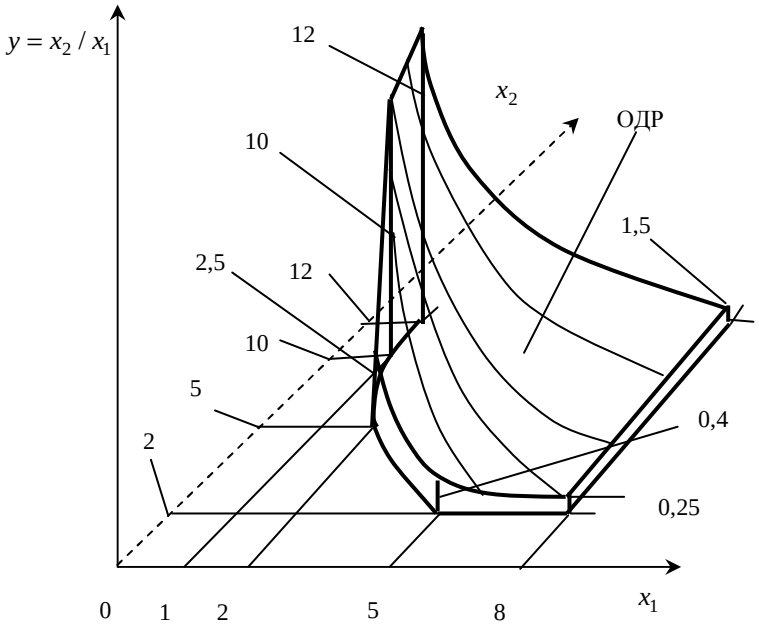


Рис. 6.8. Графічна ілюстрація рішення двопараметричної однокритеріальної задачі оптимізації

Побудова ОДР в даному завданні на відміну від завдання однопараметричного полягає в тому, що працювати потрібно в двох напрямах. У результаті в площині $x_1 x_2$. ОДР буде многогранником (рис. 6.8).

Для побудови нелінійного обмеження $x_1 \times x_2 \geq 10$ спочатку необхідно прирівняти ліву і праву частини нерівності і побудувати відповідну криву $x_1 \times x_2 = 10$, $x_2 = 10/x_1$ (табл.. 6.1)

Таблиця 6.1.

x_1	1	2	5
x_2	10	5	2

Після цього потрібно визначити напрям допустимості параметрів x_1 і x_2. Щоб не помилитися, для цього можна застосувати наступний прийом. Виберемо довільну точку на площині $x_1 x_2$ з будь-якого боку кривої. Наприклад, виберемо точку з координатами $x_1 = 5,\ x_2 = 5$, тобто «справа - вгорі» від кривої. Обчислимо значення лівої частини нерівності: $5 \times 5 = 25, а\ 25 > 10$, отже, нерівність виконується. Це означає, що вибрана точка знаходиться в допустимій області параметрів, які потрібно знайти. Тобто допустима область параметрів знаходиться «справа - вгорі» від кривої.

На другому етапі необхідно обчислити значення цільової функції в межах ОДР. У даному прикладі точка, що визначає оптимальні значення параметрів функції $y = x_2/x_1 \rightarrow max$, які потрібно знайти знаходитися на межі ОДР: $x_{1опт} = 1,\ x_{2опт} = 12$. Якщо необхідно знайти екстремум $y = x_2/x_1 \rightarrow min$, то $x_{1\,опт} = 8,\ x_{2опт} = 2$.

Параметрична оптимізація

Завданням параметричної оптимізації є визначення набору параметрів $X = \{x_1, x_2, ..., x_n\}$, оптимальних за деяким критерієм. У простому випадку це зводиться до мінімізації або максимізації цільової функції.

Загальне формулювання завдання параметричної оптимізації представляється таким чином: потрібно знайти такий вектор $X = \{x_1, x_2, ..., x_n\}$, що забезпечує мінімум цільової функції при заданих обмеженнях, наприклад $a \leq x \leq b$, $f(x) \rightarrow min$.

Зауваження. У пакеті прикладних програм «Optimization Toolbox» системи «Matlab» приведені: функції мінімізації, рішення рівнянь, підбору

кривих, які дозволяють вирішувати задачі оптимізації при проведенні експериментів.

Метод множників Лагранжа.

Одним з методів рішення задач на умовні екстремуми є метод множників Лагранжа. Суть його полягає в тому, що функція f замінюється функцією (Лагранжа)

$$F = f + \lambda_1 g_1 + \lambda_2 g_2 + ... + \lambda_m g_m$$

де λ_i - деякі невідомі поки числові множники Лагранжа.

Далі, як завжди, вирішується система рівнянь $dF/dx_i = 0$ $(i = 1,2,...,n)$ спільно з системою граничних рівнянь. Якщо при цьому буде отриманий ряд рішень $x = (x_{1t},..., x_n)$, $\lambda = (\lambda_1,..., \lambda_m)$, то знову можна обчислити значення функції f у всіх знайдених точках $x = (x_{1t},..., x_n)$ і визначити найбільше або найменше значення.

У тих випадках, коли виходить тільки одне рішення, потрібна додаткова перевірка (з використанням других похідних): чи є це рішення точкою локального мінімуму, максимуму або точкою перегину. У зв'язку з тим, що перебір безлічі рішень системи рівнянь операція, що практично не реалізовується, метод множників Лагранжа не набув широкого поширення при рішенні складних практичних завдань. Подібні складні екстремальні завдання вирішуються зазвичай іншими методами, в основі яких лежить ідея поступового наближення до екстремуму.

Метод найскорішого (градієнтного) спуску.

Ще одним з найбільш відомих методів рішення задач на умовні екстремуми є метод найскорішого (градієнтного) спуску або підйому. Його ідею найпростіше пояснити на прикладі, коли цільова функція f залежить лише від двох змінних $f = f(x, y)$. В цьому випадку вона описує звичайну двовимірну поверхню, яку зручно уявляти собі у вигляді якогось рельєфу (зазвичай сильно порізаної) земної поверхні.

Припустимо, що наше завдання полягає в знаходженні максимуму функції f в деякій області S значень x і y. Візьмемо довільну точку $A(x,y)$ цієї області і уявимо, що у відповідній нею точці поверхні $B[x,y,f(x,y)]$ знаходиться людина. Якщо рельєф на всі боки від нього знижується, тобто, якщо B — найвища, в порівнянні зі всіма достатньо близькими до неї , то вона (і, відповідно, A) є точкою локального максимуму функції f. Якщо ж

локальний максимум в цій не досягається, то серед всіх направлень руху з неї можна вибрати такий напрям, за яким підйом буде найбільш крутим. Цей напрям носить назву ***градієнта функції f*** або ***напряму найскорішого підйому***. У математичному аналізі доводиться, що, у разі диференційованості функції ***f***, градієнт визначається єдиним чином для всіх , виключаючи ті, в яких всі особистісні похідні цієї функції одночасно в нуль. Напрям, протилежний градієнту, буде ***напрямом найскорішого спуску***.

Усе розглянуте легко узагальнити на випадок функції ***n*** змінних $f = f(x_1, x_2, ..., x_n)$. Напрям градієнта (найскорішого підйому) такої функції задається вектором $g = (df/dx_1, df/dx_2, ..., df/dx_n)$, а протилежний напрям (найскорішого спуску) - вектором (-***g***). Якщо потрібно знайти екстремум функції ***f*** в області ***S***, то процес наближення до нього може бути початий з будь-якої точки $A_0(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, ..., x_n^{(0)})$ цієї області. Для цього обчислюється градієнт g_0 в цій і здійснюється зрушення від A_0 на вектор c_0 g_0, де c_0 - деяка константа (позитивна при русі до максимуму і негативна при русі до мінімуму). В результаті отримуємо нову $A_1(x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, ..., x_n^{(1)})$ в якій знову повторюємо описану процедуру і т.п. і т.п., , нарешті, не дійдемо до точки умовного екстремуму.

Вказана процедура і складає метод найскорішого спуску (підйому). Вибір значень констант $c_0, c_1, \ldots$ для кожного кроку може здійснюватися декількома різними способами. Найбільше простий (але не далеко найкращий) них полягає в тому, щоб вибирати ці значення відповідно до точності $\acute{a}$, з якою визначаються значення змінних $x_1, x_2, \ldots x_n$ (наприклад, 0,01, 0,001 і т.п.). Значення константи c_1 приймається при цьому рівним $\acute{a}_i / g_i$, де через g_i - позначена довжина вектора $\overline{g}_i$, яка дорівнює:

$$\sqrt{\left(\frac{df}{dx_1}\right)^2 + \left(\frac{df}{dx_2}\right)^2 + ... + \left(\frac{df}{dx_n}\right)^2},$$

(, що значення похідних $\left(\frac{df}{dx_i}\right)$ - обчислюються в A_i).

Раціональнішим може бути підбір методом послідовних проб найбільшого (за абсолютною величиною) значення c_i при якому уздовж вектора $c_i g_i$ все ще до збільшення (при знаходженні максимуму) або до зменшення (при знаходженні мінімуму) значення функції ***f***. При цьому, зрозуміло, треба весь час стежити, щоб нова A_{i+1} залишалася в межах заданої області ***S***. Коли процес найскорішого спуску (підйому) на якомусь кроці приводить до межі області, подальший рух повинен проводитися уздовж цієї межі.

Градієнтний метод (як, втім, і описаний вище класичний) приводить спочатку до знаходження лише локальних екстремумів. Абсолютний екстремум вибирається після знаходження всіх локальних екстремумів методом простого порівняння значень цільової функції f в усіх точках локальних екстремумів. Класичний метод приводить, проте, до знаходження всіх локальних екстремумів, а градієнтний метод в описаному вище виді - лише одного з них. Тому зазвичай градієнтний метод застосовується багато разів — при різному (випадковому) виборі початкових точок A_0. Якщо при чималому числі повторень перестають відшукуватися нові локальні екстремуми, це може служити відомою (але, зрозуміло, не абсолютною) гарантією того, що знайдені всі локальні екстремуми, і можна переходити до їх порівняння і вибору абсолютного екстремуму.

При практичному застосуванні градієнтного методу, як правило, замість дійсного напряму градієнта знаходиться його наближене значення. З цією метою кожній із змінних $x_1, x_2, ..., x_n$ додається послідовно один і той же достатньо малий приріст δ і обчислюються відповідні прирости цільової функції $\Delta_1, \Delta_2, ..., \Delta_n$. Наближення напряму градієнта, що шукається задає вектор $P = (\Delta_1/\delta, \Delta_2/\delta, ..., \Delta_n/\delta)$. У подальших обчисленнях замість градієнта використовується цей вектор.

У більшості практичних завдань оптимізації градієнтний метод виявляється у багато разів економнішим в порівнянні з класичним. Його перевага перед класичним методом стає особливо відчутною при зростанні числа змінних $x_1, x_2, ..., x_n$ тобто, при зростанні розмірності завдання оптимізації.

Єі подальша можливість зменшення кількості обчислень в методах послідовного наближення до екстремуму. Можна, зокрема, замість градієнта g вибирати випадковий вектор g і досліджувати значення цільової функції f в , що отримується початкової точки достатньо малим cg. Якщо значення функції f збільшується, то при пошуку максимуму цей замінює градієнтний, а при пошуку мінімуму треба змінити напрям на протилежний. У випадку, якщо при первинному функція f зменшується, то вибір потрібного напряму проводиться прямо протилежним чином. Описана процедура складає суть так званого методу ***стохастичного програмування***. Подібний процес стохастичного наближення зводиться до локального екстремуму при достатньо загальних припущеннях про цільову функцію $f = f(x_1, x_2, ..., x_n)$.

6.2. Методи екстраполяції

При рішенні задач управління часто доводиться зустрічатися з необхідністю передбачати, які значення прийматиме та або інша безперервна величина $X=X(t)$ в майбутньому, якщо відомий ряд її значень в минулі моменти часу $X_1=X(t_1),..., X_n=X(t_n)$.

Завдання такого роду прийнято називати ***завданнями екстраполяції***. З екстраполяцією доводиться зустрічатися при управлінні складними динамічними системами, при вивченні майбутнього попиту в економічних системах і т.п.

Рішення задачі екстраполяції зводиться до знаходження залежності $X=f(t)$, яка з достатньою точністю описує поведінку змінної X у минулому і разом з тим визначена також і для деякого інтервалу часу в майбутньому. Простим, хоч і не завжди достатньо ефективним, способом рішення цієї задачі є знаходження точної залежності, такої що $X1=f(t_1),...,X_n=f(t_n)$. Інакше кажучи, йдеться про те, щоб знайти рівняння кривої $X=f(t)$, що проходить через всі n заданих точок.

Завдання це має нескінченно багато різних рішень. Проте на практиці заряду міркувань вважають за краще шукати рішення у вигляді полінома можливо меншого ступеню. Як доводиться в курсах математичного аналізу, таке рішення для n точок може бути завжди отримане у вигляді полінома $P(t)$ $n-1$-го ступеню від t, причому цей поліном визначається заданими точками однозначно. Однією з простих форм представлення вказаного полінома є наступна формула:

$$P(t) = \frac{(t-t_2)(t-t_3)...(t-t_n)}{(t_1-t_2)(t_1-t_3)(t_1-t_n)}X_1 + \frac{(t-t_1)(t-t_3)...(t-t_n)}{(t_2-t_1)(t_2-t_3)(t_2-t_n)}X_2 + ... + \frac{(t-t_1)(t-t_2)...(t-t_{n-1})}{(t_n-t_1)(t_n-t_3)(t_n-t_{n-1})}X_n \quad (6.1)$$

Не виключений випадок звироднілості, коли ступінь полінома виявляється меншим, ніж $n-1$. Дійсно, при $t=t_1$ перший член суми звернеться в X_1, тоді як інші будуть рівні нулю, при $t=t_2$ другий член буде рівний X_2, а інші нулю і т.п. Поліном, що задається формулою (6.1), називається зазвичай ***інтерполяційним поліномом Лагранжа***. Цією назвою підкреслюється, що вказаний поліном може використовуватися не тільки для екстраполяції, але і для інтерполяції, тобто для знаходження (наближених) значень функції $X(t)$ для моментів часу, лежачих між заданими моментами $t_1, t_2,..., t_n$.

Розглянемо простий приклад застосування інтерполяційного полінома Лагранжа. Хай при значеннях $t=0,1,2$, змінна X приймає значення відповідно $0,1,3$. Потрібно екстраполювати значення X для $t = 3$:

$$P(t) = 0\frac{(t-0)(t-2)}{(1-0)(1-2)} \times 1 + \frac{(t-0)(t-1)}{(2-0)(2-1)} \times 3 = -t(t-2) + \frac{3}{2}t(t-1)$$

Безпосередньою перевіркою переконуємося, що поліном дійсно приймає в заданих точках значення ***0,1*** і ***3***. Підставляючи в нього значення ***t=3***, отримуємо як необхідне екстрапольоване значення ***X=6***.

При великому числі точок ступінь інтерполяційного полінома зростає і його використання для цілей екстраполяції і інтерполяції приводить до дуже громіздких обчислень. Ці ускладнення далеко не завжди необхідні з погляду необхідної точності інтерполяції і екстраполяції. Тому на практиці часто використовують не всі задані точки, а тільки деяку їх частина. У разі екстраполяції беруть деяке число ***k*** останніх точок. Інтерполяційний поліном будується тільки за цими точками. При ***k=2*** - пряму проводять через дві точки, і екстраполяція (і, відповідно, інтерполяція) називається лінійною. При ***k=3*** поліном має вид квадратного тричлена і екстраполяція (інтерполяція) носить назву квадратичної.

Поліноміальна екстраполяція є достатньо зручною, проте ніщо не заважає використовувати для екстраполяції функції будь-якого іншого вигляду. Так, якщо відомо, що функція, яка екстраполюється, є періодичною з періодом ***T***, то екстраполяцію краще всього виконувати за допомогою відрізка ряду Фур'є:

$$f(t) = a_0 + a_1 \cos pt + b_1 \sin pt + \ldots + a_n \cos npt + b_n \sin npt,$$

де $p = 2\pi/T$.

Невідомі коефіцієнти a_i і b_i можуть бути визначені з рівнянь, що виходять підстановками $t = t_i$; $f(t_i) = X_i$ для всіх заданих точок.

В цьому випадку, як і при поліноміальній екстраполяції, отримуємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь. У інших випадках можуть виникати системи нелінійних і навіть неалгебраїчних (так званих трансцендентних) рівнянь. Наприклад, для функції ***f(t)*** виду ae^{bt} і двох точок (***t=1, X=2***); (***t=2, X=5***) виникає система двох трансцендентних рівнянь

$$2 = ae^{b} \quad 5 = ae^{2b}.$$

Отриману систему неважко вирішити аналітично (наприклад, поділивши ліві і праві частини рівнянь одну на одну. У більш загальних випадках застосовують різні чисельні методи. За допомогою сучасних ЕОМ такого роду завдання вирішуються порівняно просто.

Використаний нами до цих пір принцип точного проведення екстраполюючої кривої через задані точки не враховує однієї важливої обставини. Річ у тому, що в складних випадках задані точки (t_1, X_1) (t_2, X_2) ..., (t_n, X_n) не відображають залежність, яку потрібно екстраполювати, абсолютно точно. Є дві основні причини такого положення. По-перше, у вимірювання величин t_i і X_i можуть вкрастися випадкові помилки. По-друге, навіть при

точних вимірюваннях крива $X(t)$, що вивчається, (на якій лежать задані точки) може мати різного роду випадкові відхилення, не пов'язані безпосередньо із залежністю, яку треба виявити і використовувати для екстраполяції.

Тому, як це на перший погляд ні парадоксально, результати екстраполяції можуть бути навіть кращими, якщо екстраполююча крива пройде поблизу заданих точок, а не точно через них. На принципі наближеного проведення екстраполяційної кривої заснований так званий ***метод найменших квадратів***.

Сенс цього методу полягає в наступному. Перш за все будується клас екстраполюючих функцій $f(t, a_1, a_2, ..., a_m)$, залежних від параметрів $a_1, a_2, ..., a_m$. Вибір значень цих параметрів, які задають необхідну екстраполюючу функцію, проводиться з умови мінімальності суми квадратів різниць значень функцій f і X при заданих значеннях $t = t_1, t_2, ..., t_n$. Вказана сума має вигляд:

$$S=[f(t_1,a_1,...,a_m)-X(t_1)]^2+[f(t_2,a_1,...,a_m)-X(t_2)]^2+\ldots+[f(t_n,a_1,...,a_m)-X(t_n)]^2.$$

Пошук значень параметрів $a_1\ a_2, ..., a_m$, що обертають величину S в мінімум, проводиться будь-яким із способів знаходження екстремумів, описаних в підрозділі 1 даного розділу. Для ряду простих класів функцій $f(t, a_1, ..., a_m)$ необхідний мінімум може бути знайдений класичним шляхом в результаті рішення системи рівнянь $\frac{ds}{da_i} = 0$ $(i=1,2.,m)$.

У разі, коли є підстави для введення відмінності між заданими точками (t_i, X_i) з погляду бажаної близькості проходження до них екстраполяційної кривої, кожен член суми S може бути забезпечений спеціальним ваговим коефіцієнтом, що задається. При необхідності точного проходження кривої через ті або інші точки, відповідні члени виключаються з суми S, і для них пишуться точні рівняння виду $f(t_i, a_1 ..., a_m) = X_i$, що дозволяють виключити з виразу відповідне число параметрів.

Розглянемо простий приклад екстраполяції з використанням методу найменших квадратів. Припустимо, що йдеться про лінійну екстраполяцію затрьом точкам $A_1(t_1=0, X_1=2); A_2(t_2=2, X_3=3); A_3(t_3=2, X_3=5)$. Потрібно екстраполювати значення X для $t = 3$.

Екстраполююча функція f матиме вигляд $at + b$, а сума S запишеться у вигляді:

$$S= (b — 2)^2 + (a + b — 3)^2 + (2a + b— 5)^2$$

Далі

$$\frac{ds}{da_i} = 2(a + b - 3) + 4(2a + b - 5) = 10a + 6b - 26$$

$$\frac{ds}{da_i} = 2(b - 2) + 2(a + b - 3) + 2(2a + b - 5) = 6a + 6b - 20$$

Для визначення a і b отримуємо систему рівнянь:

$$5a + 3b = 13;$$
$$3a + 3b = 10.$$

Звідси

$$a = \frac{3}{2}, b = \frac{11}{6}$$

$$X\big|_{t=3} = a * 3 + b = \frac{9}{2} + \frac{11}{6} = \frac{19}{3} = 6\frac{1}{3}$$

Отримані результати наочно відображені на рис. 6.9. Легко бачити, що екстраполяційна пряма не проходить точно ні через одну із заданих точок A_1, A_2, A_3.

Метод найменших квадратів зручний тим, що дозволяє застосовувати аналітичні прийоми знаходження мінімуму. При використанні чисельних методів можна застосовувати і інші засоби вимірювання відхилення екстраполюючої кривої від заданих точок, наприклад, суму абсолютних величин різниць $f(t_i, a_1, ..., a_m) — X_i$.

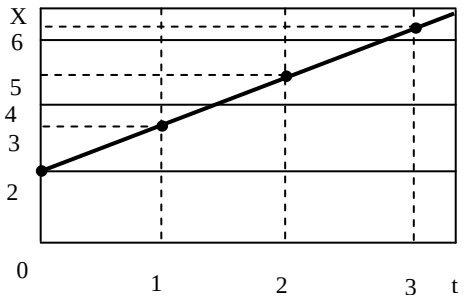


Рис. 6.9. Графік лінійної екстраполяції

Найважливіше значення має питання про точність екстраполяції. На жаль, в загальному випадку, не маючи ніяких гіпотез про властивості кривої $X = X(t)$, що екстраполюється, провести оцінку точності екстраполяції неможливо. Припущення про достатньо високий ступінь гладкості кривої $X = X(t)$ (безперервність не тільки самої функції $X(t)$, але і її похідних) при-

зводить до того, що поліноміальна екстраполяція (і, взагалі, екстраполяція за допомогою гладких функцій) дає хорошу точність в безпосередній близькості відрізка $A=[t_1,t_n]$, на якому розташована задана ділянка кривої, що екстраполюється.

Припущення про існування і обмеженість всіх похідних функції $X(t)$, на деякому відрізку B, охоплюючому відрізок A, дозволяє здійснити її поліноміальну екстраполяцію на цей відрізок з будь-яким заданим ступенем точності.

Центральним питанням для отримання хорошої екстраполяції є правильний вибір виду екстраполюючої функції $f(t, a_1, ..., a_m)$. Рішення цього питання, достатньо складне саме засобі, і ще більше ускладнюється при накладенні на основну закономірність зміни функції, що екстраполюється різного роду випадкових перешкод. Припустимо спочатку, що перешкода мала за абсолютною величиною порядок її величини приблизно відомий. Крім того, вважатимемо, що перешкода діє з рівною імовірністю як у бік збільшення величини $X(t)$, що вивчається, так і у бік її зменшення, так що середнє значення перешкоди дорівнює нулю.

Приведемо тепер в описаних умовах одну достатню ознаку правомірності поліноміальної екстраполяції. Ця ознака заснована на використанні так званих розділених різниць для будь-якої функції $X = F(t)$, що задана в кінцевій безлічі точок $t_1, t_2, \dots, t_n$.

Позначимо через $X_1, X_2 ..., X_n$ значення функції $F(t)$ у відповідних точках. Тоді перші розділені різниці обчислюються за формулою

$$\Delta X_i = \frac{X_{i+1} - X_i}{t_{i+1} - t_i} \quad (i=1,2.,n-1).$$

другі розділені різниці

$$\Delta^2 X_i = \frac{\Delta X_{i+1} - \Delta X_i}{t_{i+2} - t_i} \quad (i=1,2.,n-2).$$

треті розділені різниці

$$\Delta^3 X_i = \frac{\Delta^2 X_{i+1} - \Delta^2 X_i}{t_{i+3} - t_i} \quad (i=1,2.,n-3).$$

Розділені різниці порядку $k \le n - 1$

$$\Delta^k X_i = \frac{\Delta^{k-1} X_{i+1} - \Delta^{k-1} X_i}{t_{i+k} - t_i} \quad (i=1,2.,n-k).$$

Якщо функція $f(t)$ є поліномом k - го ступеня, то її $k + 1$ - і розділені різниці перетворюються в нуль. При точних методах екстраполяції (проведенні екстраполюючої кривої через задані точки) перетворення на нуль розділених різниць деякого порядку p (розділені різниці обчислюються в

заданих точках) означає можливість екстраполяції поліномом ступеня ***p-1***. При малій перешкоді з нульовим середнім значенням умова перетворення різниць ***p-го*** порядку в нуль повинна бути замінена сукупністю двох умов: перша, абсолютні величини розділених різниць ***p-го*** порядку малі (порівняно з величиною перешкоди), друга, середнє значення цих різниць має ще менший порядок величини. За цих умов в методі найменших квадратів екстраполюючою функцією слід вибрати поліном ***(p - 1)*** -го ступеня.

Описана ознака може бути поширена і на деякі неполіноміальні залежності. З цією метою використовується відповідна заміна змінних, що зводить початкову залежність до поліноміальної.

Наприклад, залежність вигляду

$$X = a_0 + a_1 e^t + a_2 e^{2t} + ... + a_n e^{nt}$$

підстановкою $\tau = lnt$ зводиться до поліноміальної залежності

$$X = a_0 + a_1 \tau + a_2 \tau^2 + ... + a_n \tau^n$$

Підстановка $y = lnX$, $\tau = lnt$ перетворює залежність виду $X = a/t$ на лінійну залежність $y = lna - \tau$ і т.п.

Властивості людського зору дозволяють швидко уловлювати лінійні залежності, коли задані точки (t_i, X_i) групуються на площині біля деякої прямої. Якщо лінійна залежність виходить лише після деякої підстановки, на графіку можуть застосовуватися так звані функціональні шкали. Суть їх полягає в тому, що на шкалі від початку координат відкладаються відрізки, довжина яких дорівнює не значенням самої величини, а є деяка задана функція від цих значень. На рис. 6.10 як приклад на осі абсцис побудована логарифмічна шкала. Використання логарифмічної шкали за віссю координат перетворює на пряму лінію графік будь-якої функції вигляду $y = ae^{bx}$. Логарифмічні шкали за обома осями лінеарізують залежності вигляду $y = at^b$ і т.п.

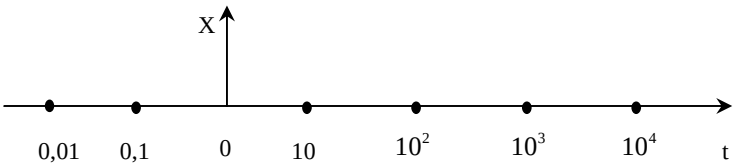


Рис. 6.10. Логарифмічна шкала

Іноді вид екстраполюючої функції може підказати самою природою процесу, що вивчається. Так, наприклад, динаміку роздрібного попиту на той або інший споживчий товар природно характеризувати перемноженням функцій ***f(t), φ (t), ψ(t)***, де ***φ (t)*** і ***ψ(t)***, періодичні функції з періодами,

рівними відповідно тижню і півмісяцю (виплата зарплат). Для характеристики товарів (одяг, взуття і т. п.) може додатися третій періодичний множник з періодом в один рік, що характеризує сезонні зміни попиту. Цей множник ***f(t)*** визначає динаміку зміни середньорічного попиту. Він може екстраполюватися за допомогою поліноміальних або експоненціальних наближень. Для періодичних множників, як вже наголошувалося вище, можна використовувати наближення у вигляді початкових відрізків відповідних рядів Фур'є.

Метод найменших квадратів і інші аналогічні йому методи наближеної екстраполяції дають добрі результати лише тоді, коли випадкова перешкода має порівняно невелику величину. Якщо ця умова не виконується, то для успішної екстраполяції необхідно заздалегідь відфільтрувати перешкоду. У ряді випадків така фільтрація може бути зроблена на підставі змістовного уявлення про процес, що вивчається. Розглянемо як приклад динаміку ремонтно-відновлювальних робіт житлового фонду деякого міста за ряд років (рис. 6.11 а). Допустимо, що викид ***A***, що є на кривій, з'явився результатом стихійного лиха, яке трапляється в середньому раз в тисячу років. Розмір цієї «перешкоди» настільки великий, що її облік при екстраполяції повністю спотворив би реальну картину. Відфільтрувавши перешкоду (тобто видаливши з графіка витрати, викликані стихійним лихом), ми можемо значно покращити прогноз. Інший випадок, коли завдання фільтрації перешкод отримує достатньо задовільне рішення, має місце за умови, що основний процес виявляється порівняно поволі змінною функцією, тоді як перешкода (не обов'язково мала за величиною), зберігаючи нульове середнє значення, міняє знак з великою частотою. Характерна картина такого процесу зображена на рис. 6.11, б.

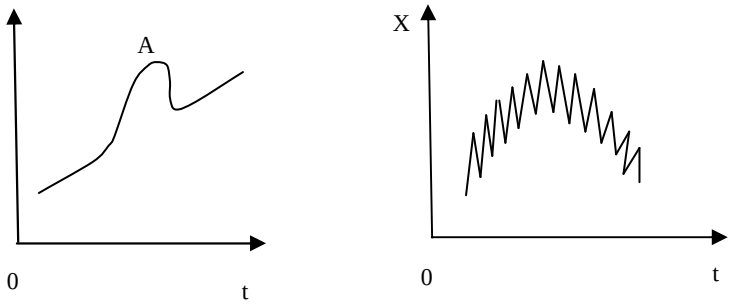


Рис. 6.11. Графік, що пояснює принцип фільтрації перешкод:
а) перешкода одинична;
б) перешкода змінюється з великою частотою

Один з методів, що дозволяють (хоч би частково) фільтрувати перешкоду, є метод згладжування па основі простого усереднювання. Нехай X_0, $X_1, X_2, ..., X_n$ — значення функції (рис. 6.11 б). Припустимо, що точки $t_0, t_1, t_2, ..., t_n$, в яких обчислені ці значення, розташовані на осі абсцис досить густо так, щоб уловити всі «зльоти» і «падіння» швидкозмінної періодичної складової функції, що вивчається. Виберемо часовий інтервал τ таким, щоб він був істотно більше середнього інтервалу τ_0, на якому швидкозмінна періодична складова процесу міняє знак, і в той же час менше інтервалу τ_1 на якому складова процесу, що повільно змінюється перетвориться істотно з погляду прийнятої точності екстраполяції.

Рухаючи τ уздовж інтервалу $[t_1, t_n]$, замінюємо для всіх точок $t_p, t_{p+1}, t_{p+2}, ..., t_{p+k}$, що потрапили в нього, відповідні значення $X_p, X_{p+1}, ..., X_{p+k}$ їх середніми значеннями $\frac{1}{k+1}(X_p + ... + X_{p+k})$, відносячи ці значення до середини відповідного інтервалу. При усередненні значення швидкозмінної періодичної складової гасять один одного, і частина процесу, що повільно змінюється виявляється виразніше.

Коли точки t_i розташовані на рівних відстанях один від одного, то вибираються числа q і заміні значення X_q на

$$X_q = \frac{1}{2q}(X_0 + X_1 + ... + X_{2q})$$

значення X_{q+1} на

$$X_{q+1} = \frac{1}{2q+1}(X_0 + X_1 + ... + X_{2q+1})$$

і т.п. Якнайкращий вибір інтервалу τ (або числа q) визначається припущеннями про властивості швидкозмінної періодичної і поволізмінної складових процесу $X(t)$ і вимагає спеціального додаткового дослідження.

Іноді для згладжування вигляду функції використовують середні значення для інтервалів, що не перекривають один одного. Так, замість щоденних значень попиту (365 точок за рік) вивчають поведінку середнього попиту за кожен тиждень (52 точки за рік). Інший спосіб фільтрації швидкозмінних періодичних складових заснований на використанні перетворення Фур'є.

На закінчення відзначимо одну важливу відмінність, яка є при екстраполяції детермінованих процесів (із випадковими перешкодами) і чисто випадкових процесів.

Сенс екстраполяції детермінованого процесу полягає у вгадуванні закономірності, яка має місце для всієї ділянки процесу, що вивчається. У

випадкових процесах зустрічаємося з протилежним явищем, оскільки пошук такої закономірності заперечує самій їх суті. Правда, властивість безперервності випадкового процесу призводить до того, що його значення в близьких одна до одної точках взаємозалежні (хоч і не в строго функціональному, а лише в імовірнісному плані).

У міру віддалення точок одна від одної ця залежність робиться все більш слабкою. Методи екстраполяції випадкових процесів повинні враховувати цю обставину, віддаючи більшу перевагу точкам, близьким до дійсного моменту, в порівнянні з більш далекими точками.

При застосуванні методу найменших квадратів відмічений факт може бути врахований введенням спеціальних вагових коефіцієнтів $\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_n$, що убувають у міру віддалення в минуле. При рівномірному розташуванні точок $t_1, t_2, ..., t_n$ (у яких заданий процес) уздовж осі абсцис краще всього скористатися експоненціальним законом убування коефіцієнтів λ_i (справа наліво). Іншими словами, вибравши деяке позитивне число $r \le 1$, вважаємо:

$$\lambda_1 = r^{n-1},\ \lambda_2 = r^{(n-2)},\ \dots,\ \lambda_{n-1} = r,\ \lambda_n = 1$$

При екстраполюючій функції $f(t, a_1, ..., a_m)$, зважена сума квадратів S, яку потрібно мінімізувати, запишеться у вигляді:

$$S = \sum_{i=1}^{n} r^{n-i} (f(t, a_1, ..., a_m) - X_i)^2$$

Результат екстраполяції не зміниться, якщо замість $r \le 1$ узяти число $R = \frac{1}{r} > 1$ і записати зважену суму квадратів:

$$S = \sum_{i=1}^{n} R^{i-1} [f(t, a_1, ..., a_m) - X_i]^2$$

Вибір величини r (або, відповідно, R) залежить від ступеня гладкості процесу. Для її визначення необхідне глибше дослідження даного процесу і, перш за все, вивчення кореляційної функції цього процесу. Для так званих стаціонарних випадкових процесів, з якими зазвичай доводиться мати справу па практиці, кореляційна функція $r(s)$ процесу $X(t)$ обчислюється за формулою

$$r(s) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t + s)X(t)dt\ .$$

6.3. Застосування теорії графів для вирішення задач оптимізації АСУ

6.3.1. Поняття топологічної структури мереж АСУ. Основні визначення теорії графів

У загальному вигляді система, в якій реалізується процес управління, включає: зовнішнє середовище, об'єкти управління, об'єкти, що управляють, дію, що управляє, і інформацію стану (рис.6.12).

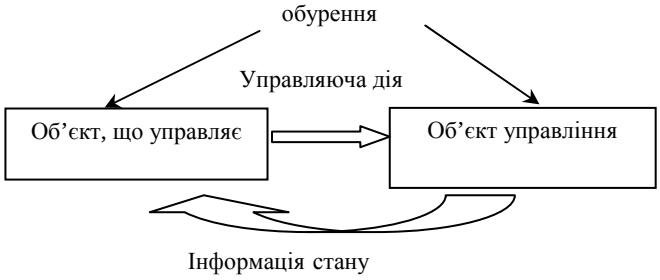


Рис. 6.12. Система управління

Об'єкт, що управляє, отримує інформацію про стан об'єкту управління, аналізує її і виробляє дію, що управляє, яка переводить об'єкт управління в новий стан. Таким чином, найважливішою умовою для здійснення управління є забезпечення обміну інформацією між об'єктами системи, які, як правило, знаходяться на значному віддаленні один від одного. Необхідність виконання вимог за часом доведення, надійності доставки і достовірності інформації, що передається привела до створення вищої організаційної форми взаємодії територіально розосереджених об'єктів автоматизованої системи управління, а саме: до створення мереж АСУ.

Мережа АСУ- це складна розподілена в просторі система, що складається з безлічі зосереджених (локальних) підсистем (ланок), що має програмно-апаратні засоби реалізації складових процесу управління і безліч засобів, що забезпечують з'єднання і взаємодію цих підсистем.

Оскільки мережі АСУ, за аналогією з мережами електрозв'язку, можна віднести до складних систем, то повний формалізований опис їх структури математичними методами практично не реалізовується. ***Структура мережі АСУ*** – це характеристика, що визначає стійкі зв'язки і способи взаємодії її елементів, цілісність побудови і основи організації мережі.

При аналізі і синтезі мереж АСУ широко використовується поняття ***топологічної структури мереж***, яка задає спосіб розміщення вузлових і кінцевих пунктів і спосіб їх взаємозв'язку для обміну різнорідною інформацією.

За допомогою математичного апарату теорії множин топологічна структура мережі АСУ може задаватися бінарним відношенням G на безлічі M вузлів комутації і кінцевих пристроїв мережі. Згадаємо, що ***множина*** – це об'єднання в одне ціле об'єктів, добре помітних нашою інтуїцією або нашою думкою (Кантор).

Нехай M– множина.

$$M = \{m_1, m_2, ..., m_n\},$$

де $m_1, m_2, ..., m_n$ – елементи множини.

Декартовим (прямим) перемноженням двох множин M_a і M_b називається безліч вигляду:

$$M = M_a \times M_b = \{(m_i m_j)/m_i \in M_a, m_j \in M_b\},$$

де $(m_i m_j)$ – впорядкована множина, в якій заданий порядок елементів.

Приклад 1. Дано дві множини $M_a = \{a_1, a_2, a_3\}$ і $M_b = \{b_1, b_2\}$. Декартовим перемноженням цих множин буде множина

$$M = M_a \times M_b = \{(a_1 b_1), (a_1 b_2), (a_2 b_1), (a_2 b_2), (a_3 b_1), (a_3 b_2)\}.$$

Кількість елементів декартового перемноження визначається таким чином (для нашого прикладу):

$$|M_a \times M_b| = |M_a| \times |M_b| = 3 \cdot 2 = 6.$$

Квадратом множини M називається декартове перемноження двох рівних між собою множин:

$$M \times M = M^2.$$

Бінарним відношенням T в множині M називається підмножина його квадрата.

Приклад 2. Нехай $M = \{m_1, m_2\}$. Квадрат цієї множини запишеться:

$$M^2 = M \times M = \{(m_1 m_1), (m_1 m_2), (m_2 m_1), (m_2 m_2)\}.$$

Бінарним відношенням в цій множині є, наприклад, наступне:

$$T = \{(m_1 m_2)\}, T \subset M_2.$$

Так, якщо $M = \{m_1, m_2, ..., m_n\}$ $G = \{m_i m_j \,|\, i, j = \overline{1,n}\}$. Так, для мережі представленою на рис. 6.13 топологічна структура задається наступним бінарним відношенням:

$$G = \{m_1 m_2, m_2 m_1, m_3 m_1, m_1 m_4, m_4 m_1, m_3 m_2, m_3 m_4, m_2 m_5, m_5 m_3, m_4 m_5, m_5 m_4\}$$

Іншим способом завдання топологічної структури мережі АСУ є використання математичного апарату теорії графів. Наочне уявлення про граф можна отримати, якщо уявити собі деяку безліч точок площини ***X***, званих ***вершинами,*** і безліч направлених відрізків ***U***, що з'єднують всі або деякі з вершин і званих ***дугами*** або стосовно мереж електрозв'язку, – ***гілками*** (каналами дротяного, радіо і супутникового зв'язку). Математично граф ***G*** можна визначити як пару множин ***X*** і ***U***:

$$G = (X,U).$$

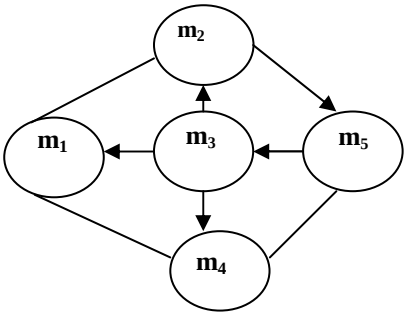


Рис. 6.13

Зображений на рис.6.14 граф, вершинами якого є точки a,b,c,d,e,g,h, а дугами - відрізки $(a,a),(c,b),(c,d),(d,c),(d,d),(c,e),(e,d),(g,h)$. Прикладами графів є карта шляхів на місцевості, схема з'єднань електричних приладів. Дуга, що з'єднує ***вершини*** ***a*** і ***b*** і направлена від ***a*** до ***b***, позначається $u = (a,b)$.

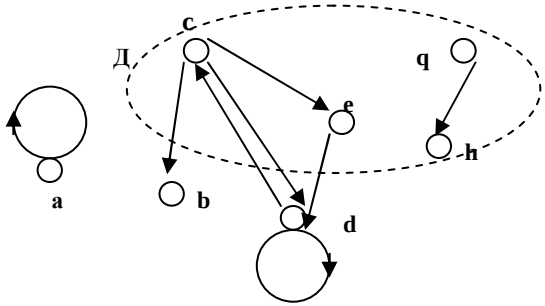


Рис. 6.14

Іноді буває зручно дати графу інше визначення. Можна вважати, що безліч направлених дуг ***U***, що з'єднують елементи множини ***X***, відображає

цю множину саму в себе. Тому можна вважати граф заданим, якщо дані безліч його вершин X і спосіб відображення Γ множини X в X. Таким чином, граф G є парою (X,Γ), що складається з множини X і відображення Γ, заданого на цій множині:

$$G = (X, \Gamma)$$

Так, для графа, зображеного на рис. 6.14, відображення Γ визначається таким чином:

$$\Gamma_a = a;\ \Gamma_b = 0;\ \Gamma_c = \{b, d, e\};\ \Gamma_d = \{d, c\};\ \Gamma_e = d;\ \Gamma_q = h,\ \Gamma_h = 0.$$

Іноді зручно представляти графи у вигляді матриць суміжності і інциденцій.

Дві вершини x і y є ***суміжними,*** якщо вони різні і якщо існує дуга, що йде з x в y.

Введемо числа:

$r_{ij} = 1$ - якщо є дуга, що з'єднує вершину i з вершиною j;

$r_{ij} = 0$ - якщо такої дуги немає.

Квадратна матриця $R = [r_{ij}]$ порядку $n \times n$ називається ***матрицею суміжності графа***.

Для графа представленого на рис. 6.15 матриця суміжності матиме наступний вигляд:

$$B = \begin{matrix} & \begin{matrix} m_1 & m_2 \end{matrix} \\ \begin{matrix} m_1 \\ m_2 \end{matrix} & \begin{Vmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{Vmatrix} \end{matrix}$$

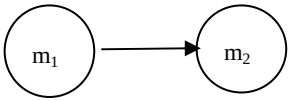


Рис 6.15.

Дуга u називається ***інцидентною*** до вершини x, якщо вона заходить в цю вершину або виходить з неї.

Введемо далі числа: $s_{ij} = -1$, якщо u_j виходить з x_i;;

$s_{ij} = +1$, якщо u_j заходить в x_i;;

$s_{ij} = 0$, якщо u_j не інцидентна x_i.

Матриця $S = [s_{ij}]$ порядку $n \times m$ називається ***матрицею інциденцій*** для дуг графа. Матриці інциденцій в описаному вигляді застосовуються тільки до графів без петель. У разі наявності в графі петель цю матрицю слід розбити на дві напівматриці: позитивну і негативну.

Для графа на рис.6.16 матриці суміжності і інциденцій матимуть вигляд:

$$R = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad S = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix};$$

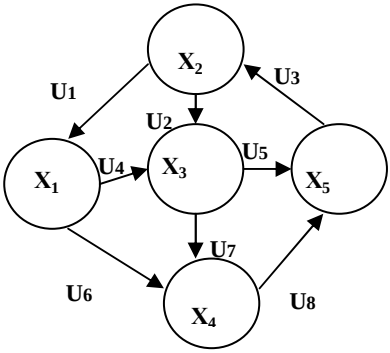


Рис. 6.16.

Введемо деякі поняття і визначення, які служать для опису різних видів графів.

Підграфом G_A графа $G = (X, \Gamma)$ називається граф, до якого входить лише частина вершин графа G, що створюють множину A разом з дугами, що з'єднують ці вершини, як, наприклад, обкреслена пунктиром область на рис. 6.14. Математично підграф G_A визначається таким чином:

$$G_A = (A, \Gamma_A),$$

де: $A \subseteq X, \Gamma_A$.

Частковим графом G_Δ за відношенням до графа $G = (X, \Gamma)$ називається граф, що містить тільки частину дуг графа G, тобто, що визначається умовою

$$G_\Delta = (X, \Delta x)$$

де $\Delta x \subseteq \Gamma x$.

Наприклад. Нехай $G = (X, \Gamma)$ - карта шосейних доріг України. Тоді карта шосейних доріг Київської області є підграф, а карта головних доріг України - частковий граф.

Не менш важливими поняттями є поняття шляху і контура.

Шляхом в графі G називається така послідовність дуг $\mu = (x_1,\ldots,x_n)$, в якій кінець кожної попередньої дуги співпадає з початком подальшої. Шлях u, послідовними вершинами якого є вершини $a,b,..,m$ поз-

начається через $u = (a, b,., m)$. Довжиною шляху $\mu = (u_1,\ldots,u_k)$ називається число $l(\mu)=\sum l(u_i)$, рівне числу дуг, що складають шлях μ. Шлях, в якому ніяка дуга не зустрічається двічі, називається ***простим***, такі шляхи використовуються в мережах зв'язку. Шлях, в якому ніяка вершина не зустрічається двічі, називається ***елементарним***.

Контур - це кінцевий шлях $\mu = (x_1,\ldots,x_n)$, у якого початкова вершина x_1 співпадає з кінцевою $x_к$. При цьому контур називається ***елементарним***, якщо всі його вершини різні (за винятком початкової і кінцевої, які співпадають). Контур одиничної довжини, утворений дугою вигляду ***(a, a)***, називається ***петлею.*** Так, на рис. 6.14 ***(e, d, c, b)*** - шлях, ***(c, e, d, c)*** - контур, ***(d, d)*** - петля.

Іноді граф розглядають без урахування орієнтації його дуг. В цьому випадку його називають ***неорієнтованим графом***. Для неорієнтованого графа поняття дуга, шлях і контур замінюються поняттями ребро, ланцюг, цикл. ***Ребро*** — це відрізок, що з'єднує дві вершини. Граф на рис. 6.14 має вісім дуг, але сім ребер. ***Ланцюгом*** називається послідовність ребер. ***Циклом*** називається кінцевий ланцюг, у якого початкові і кінцеві вершини співпадають.

Якщо граф на рис. 6.16 буде неорієнтований то матриця суміжності матиме наступний вигляд:

$$R = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}$$

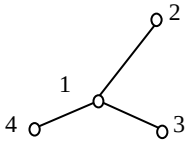
З поняттям неорієнтованого графа пов'язана важлива характеристика, що має назву зв'язність графа. Говорять, що граф ***зв'язний***, якщо будь-які дві його вершини можна з'єднати ланцюгом. Якщо граф G не зв'язний, то його можна розбити на такі підграфи G_i, що всі вершини в кожному підграфі зв'язні, а вершини з різних підграфів не зв'язні. Такі підграфи G_i - називаються ***компонентами зв'язності*** графа G.

Для того, щоб визначити зв'язність орієнтованого графа, не потрібно звертати увагу на орієнтацію дуг. Граф, зображений на рис.6.14, не є зв'язним. Проте його підграф, що складається з вершин ***b, c, d, e*** є зв'язним. Для орієнтованого графа існує поняття сильної зв'язності. Граф ***сильно зв'язний***, якщо для будь-яких двох вершин x і y $(x \neq y)$ і існує шлях, що йде з x в y наприклад граф на рис.6.16.

Серед всієї безлічі графів, що мають ***x*** вершин, можна виділити графи з особливою топологічною структурою. Елементарні структури, що лежать в основі побудови будь-якої мережі надані на рис. 6.17 та 6.18.

- радіальна «Р»;

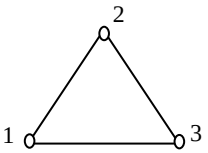
$$R = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}; \quad U = x - 1$$



а)

- кільцева «К»;

$$R = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}; \qquad U = x$$

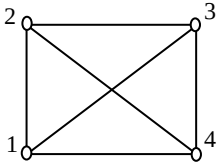


б)

Рис. 6.17. Елементарні структури мереж

а) повно зв'язна структура;

$$U = x(x-1)/2$$



б) решітка;

$$U = x + 1$$

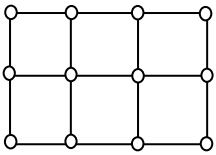


Рис. 6.18. Різновиди «К» структури

У повнозв'язного графа (рис. 6.17 а) для будь-яких двох вершин існує дуга, що з`єднує їх. У таких графах кожній вершині інцидентна ***X-1*** дуга, а загальне число дуг ***U*** дорівнює ***U = X(X - 1)/2*** .

Комбінація «Р» і «К» структур є радіально – вузлова структура (рис. 6.19):

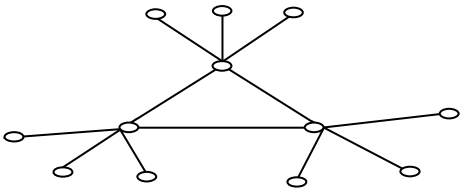


Рис. 6.19.

Важливим окремим випадком неорієнтованого графа «Р» структури є ***дерево*** (рис. 6.20) - кінцевий зв'язний неорієнтований граф, що не має циклів. Видалення одного ребра робить його не зв'язним.

Якщо дана безліч вершин ***a, b, c ...***, то дерево можна побудувати таким чином. Одну з вершин, наприклад ***a***, приймають за початкову і називають її ***коренем дерева***. З цієї вершини проводяться ребра в навколишні поблизу лежачі вершини ***b, c, d,***..., з них проводяться ребра в сусідні з ними вершини ***e, f, g, h..*** і т.п. Таким чином, дерево можна побудувати, послідовно додаючи ребра до його вершин. Це дає можливість встановити зв'язок між числом вершин і числом ребер дерева. Просте дерево складається з 2 вершин, з'єднаних ребром. Кожного разу, при додаванні ще одного ребра, додається також і вершина. Отже, дерево з X_n вершинами має ***n - 1*** ребро.

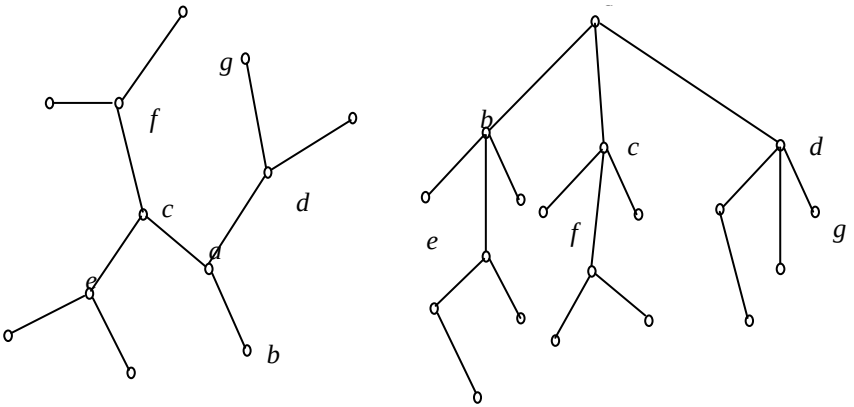


Рис. 6.20. Приклади графа «Р» структури - дерев.

Підмножина дуг або вершин графа ***G = (X, U)***, видалення яких перериває всі шляхи з вершини X_i у вершину X_j називають ***перетином*** графа

за дугами (гілками) або вершинами (вузлами) відповідно. Число таких перетинів для будь-якого графа зазвичай більш за один. Так для графа на рис. 6.21 показані різні варіанти перетинів за дугами щодо вершин X_1 і X_9.

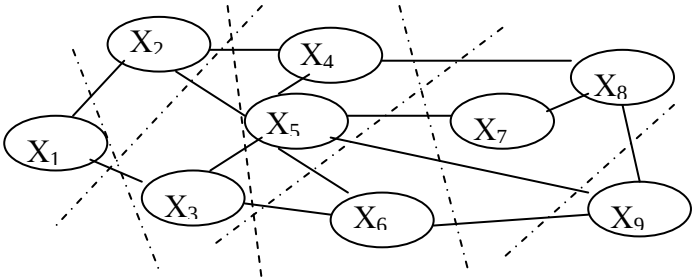


Рис. 6.21. Варіанти перетинів за дугами щодо вершин X_1 і X_9.

Як видно, граф дає зручне геометричне представлення відносин на множині.

Вважатимемо, що на графі $G = (X, U)$ введено ***відношення порядку,*** якщо для будь-яких двох вершин x і y, що задовольняють умові $x \le y$, існує шлях з x в y. В цьому випадку говорять, що вершина x передує вершині y або що вершина y слідує за вершиною x.

Покажемо, що дане визначення відображає на графі всі властивості відношення порядку, а саме.

Рефлексивність. Умова $x \le x$ – істинно, означає еквівалентність вершини самої собі, тобто виконується умова $x \equiv x$. Проте при бажанні цю умову можна розглядати як петлю у вершині x (рис. 6.22, а).

Транзитивність. Умова $x \le y, y \le z \rightarrow x \le z,$ означає, що вершини x, y, z послідовно зустрічаються на одному і тому ж шляху (рис. 6.22, б).

Антисиметричність. Покажемо справедливість умови $x \le y, y \le x \rightarrow x \equiv y$. Ліва частина цього виразу говорить про те, що існує шлях з x в y, а також існує шлях з y в x. Але це означає, що в графі є контур, на якому лежать вершини x і y (рис. 6.22, в).

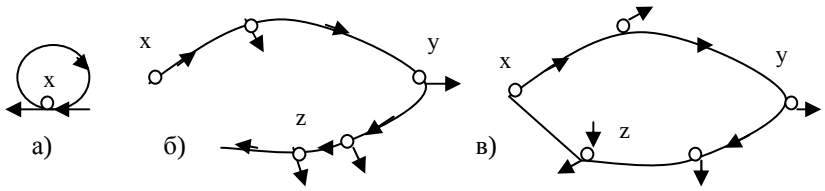


Рис. 6.22. Ілюстрація властивостей відношення порядку.

З правої частини умови антисиметричності витікає, що вершини, які лежать на одному і тому ж контурі, є еквівалентними. Розглядатимемо цей висновок як визначення еквівалентності на графі.

Таким чином, відношення порядку сумісне з відношенням еквівалентності визначає деякий граф.

На графі може бути також введене відношення ***строгого порядку***. В цьому випадку для будь-яких двох вершин x і y, що задовольняють умові $x<y$, існує шлях, що йде з x в y. Умова транзитивності $x<y, y<z \rightarrow x<z$, означає, як і у попередньому випадку, що вершини x, y і z зустрічаються послідовно на одному і тому ж шляху. Умова антирефлексивності ($x<x$ - помилково) говорить про відсутність петель на графі, а умова несиметрії ($x<y, y<x$ - взаємовиключаються) говорить про відсутність контурів.

Таким чином, відношення строгого порядку визначає граф без контурів.

Рішення багатьох технічних задач методами теорії графів зводиться до визначення тих або інших характеристик графів. Ознайомимося з найважливішими характеристиками графів.

Цикломатичне число. Нехай G - неорієнтований граф, що має n вершин, m ребер і r компонент зв'язності. Цикломатичним числом графа G називається число $v(G) = m-n+r$.

Це число має цікавий фізичний сенс: воно рівне найбільшому числу незалежних циклів в графі. При розрахунку електричних ланцюгів цикломатичним числом можна користуватися для визначення числа незалежних контурів.

Хроматичне число. Нехай p - натуральне число. Граф G називається p - хроматичним, якщо його вершини можна розфарбувати p різними кольорами, так, щоб ніякі дві суміжні вершини не було б розфарбовано однаково. Найменше число p , при якому граф є p -хроматичним, називається хроматичним числом графа і позначається $\gamma(G)$.

Хроматичне число грає важливу роль при рішенні задачі найбільш економічного використання елементів пам'яті при програмуванні. Проте його визначення, за винятком випадку біхроматичного графа ($\gamma(G) = 2$), є досить важким завданням, що вимагає застосування ЕОМ.

Таким чином хроматичне розкладання графа це розкладання безлічі вершин графа на неперетинні класи незалежних величин.

Безліч $S \subseteq X$ графа $G = (X,\Gamma)$ називається ***внутрішньо стійкою***, якщо ніякі дві вершини з S не суміжні, тобто для будь-якого $x \in S$ має місце $\Gamma_x \cap S = 0$.

Безліч внутрішньої стійкості, що містить найбільше число елементів, називається найбільшою внутрішньо стійкою множиною, а число елемен-

тів цієї множини називається числом внутрішньої стійкості графа ***G***. Найбільша внутрішня стійка множина грає важливу роль в теорії зв'язку.

Безліч $T \subset X$ графа $G = (X,Г)$ називається ***зовні стійкою***, якщо будь-яка вершина, не належна ***T***, з'єднана дугами з вершинами з ***T***, тобто для будь-якого $x \notin T$ має місце . $Г_x \cap T \neq 0$

Безліч зовнішньої стійкості, що містить найменше число елементів, називається найменшою зовні стійкою множиною, а число елементів цієї множини називається числом зовнішньої стійкості.

Стосовно мережі АСУ важливою характеристикою є її здатність забезпечити з'єднання вузлів (абонентів мережі) при відмовах (несправностях) окремих елементів, кількісно така характеристика оцінюється ***вірогідністю збереження зв'язності мережі***.

$$W_\partial = 1 - \frac{\partial}{U} P_\partial$$

де ∂ - число гілок, що відмовили ($0 \le \partial \le U$);

U- загальне число гілок;

P_∂ - вірогідність відмови ∂ гілок, визначається як $P_\partial = \frac{1}{C_U^\partial}$

де $C_U^\partial = \frac{U!}{\partial!(U-\partial)!}$ - число поєднань з U за ∂ .

Таким чином, можемо записати

$$P_\partial = \frac{\partial!(U-\partial)!}{U!}$$

тоді

$$W_\partial = 1 - \frac{\partial! \times \partial(U-\partial)!}{U!U} \qquad (6.2)$$

Отже, для вирішення даного завдання необхідно побудувати залежність $W_\partial = f(\partial)$.

Приклад. Нехай маємо граф $G = (5,7)$ рис. 6.23 для якого матриці суміжності і відстаней мають вигляд:

$$R = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}; \quad L = \begin{vmatrix} 0 & 5 & \infty & \infty & 20 \\ 5 & 0 & 10 & \infty & 10 \\ \infty & 10 & 0 & 15 & 5 \\ \infty & \infty & 15 & 0 & 20 \\ 20 & 10 & 5 & 20 & 0 \end{vmatrix}$$

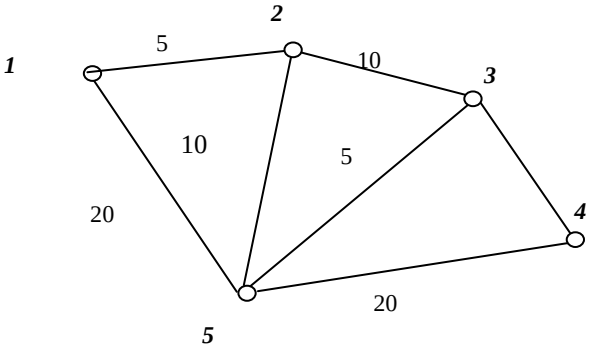


Рис. 6.23.

Тоді використовуючи вираз 6.2 отримуємо значення вірогідності збереження зв'язності мережі від числа гілок, що відмовили:

$\partial = 0$	$W_1 = 1$
$\partial = 1$	$W_2 = 0{,}99959$
$\partial = 2$	$W_3 = 0{,}99639$
$\partial = 3$	$W_4 = 0{,}98776$
$\partial = 4$	$W_5 = 0{,}98367$
$\partial = 5$	$W_6 = 0{,}96599$
$\partial = 6$	$W_7 = 0{,}87755$
$\partial = 7$	$W_8 = 0$

6.3.2. Завдання про найкоротший шлях

У практичних застосуваннях має велике значення завдання про знаходження найкоротшого шляху між двома вершинами зв'язного неорієнтованого графа (між двома об'єктами). До такого завдання зводяться завдання вибору найбільш раціонального (з погляду відстані, часу або вартості) маршруту на карті шляхів або завдання вибору найбільш економічного способу переводу динамічної системи з одного стану в інше. У математиці розроблено ряд методів для вирішення подібних завдань. Проте вельми часто методи, засновані на використанні графів, виявляються найменш трудомісткими.

Велике практичне значення має наступне завдання, яке можна сформулювати у вигляді завдання про побудову інформаційно-обчислювальної

мережі. Є декілька міст ***a, b, c...,*** які потрібно з'єднати між собою лініями інформаційно-обчислювальній мережі. Для кожної пари міст ***(x, y)*** відома вартість ***l(x, y)*** будівництва лінії зв'язку, що з'єднує їх. Завдання полягає в тому, щоб побудувати найдешевшу з можливих інформаційно-обчислювальну мережу. Називаючи в графові, що зображає мережу, величину ***l(x, y)*** довжиною ребра ***(x, y)***, приходимо до завдання про побудову графа найменшої довжини. Тому далі замість вартості ліній зв'язку розглядатимемо довжину ребер графу.

Завдання про найкоротший шлях на графі в загальному вигляді може бути сформульоване таким чином. Дано неорієнтований граф ***G=(X, U)***. Кожному ребру цього графу приписано деяке число ***l(u) ≥ 0***, що має назву довжина ребра. У окремих випадках ***l(u)*** може бути відстанню між вершинами, що з'єднуються ребром ***u***, часом або вартістю проїзду за цим ребром і т.п. При цьому будь-який ланцюг μ, характеризуватиметься довжиною:

$$l(\mu) = \sum_{u \in \mu} l(u)$$

Таким чином потрібно для двох довільних вершин ***a*** і ***b*** графа ***G*** знайти шлях μ_{ab}, причому такий, щоб його повна довжина була найменшою.

Іноді доводиться мати справу з графами, ребра яких мають однакову довжину, що приймається за одиницю. Вершини такого графа зазвичай є станами деякої системи, в якій всі переходи, що робляться за один крок, еквівалентні. Найкоротший шлях для простих графів неважко знайти просто шляхом перебору можливих шляхів. Проте для складних графів повинен бути знайдений систематичний метод.

Загальне правило для знаходження найкоротшого шляху в графі полягає в тому, щоб кожній вершині x_i приписати індекс λ_i, рівний довжині найкоротшого шляху з даної вершини в кінцеву. Приписування індексів вершинам у разі графа з ребрами одиничної довжини проводиться в наступному порядку (рис. 6.24):

1. кінцевій вершині x_0 приписується індекс ***0***;

2. всім вершинам, з яких йде ребро в кінцеву вершину, приписується індекс ***1***;

3. далі всім вершинам, що ще не мають індексів, з яких йде ребро у вершину з індексом λ_i, приписується індекс $\lambda_i + 1$.

Цей процес продовжується до тих пір, поки не буде помічена початкова вершина. Після закінчення розмітки індекс у початкової вершини буде рівний довжині найкоротшого шляху. Сам найкоротший шлях знайдемо, якщо рухатимемося з початкової вершини у напрямі убування індексів.

Відзначимо, що описаний спосіб визначення найкоротшого шляху є окремим випадком знаходження оптимального рішення за методом дина-

мічного програмування.

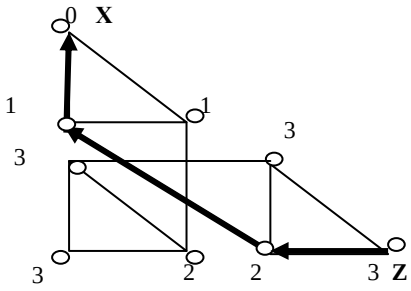


Рис. 6.24. Загальне правило для знаходження найкоротшого шляху.

Завдання приписування вершинам графа числових індексів ускладнюється, якщо ребра графа мають довільну довжину. Ускладнення викликане тим, що в складному графі шлях, що проходить через найменше число вершин, часто має більшу довжину, ніж деякі обхідні шляхи. Так, в графі на рис.6.25, що зображує карту шляхів, прямий шлях з вершини, відмічений зірочкою, в кінцеву вершину має довжину $L = 12$, тоді як обхідний шлях через вершину, відмічену трикутником, має довжину $L = 10$. Цифри у ребер указують час проїзду за кожною з доріг. Індекси вершин дають час проїзду від даної вершини до кінцевої.

Процес приписування індексів для такого виду графів полягає в наступному.

1. Кожна вершина x_i позначається індексом λ_i. Спочатку кінцевій вершині x_0 приписується індекс $\lambda_0=0$. Для решти вершин заздалегідь вважаємо $\lambda_i = \infty \quad (i \neq 0)$.

2. Шукаємо таку дугу (x_i, x_j), для якої різниця індексів вершин $\lambda_j - \lambda_i > l(x_i, x_j)$, - більше можливого найкоротшого шляху, і замінюємо індекс λ_j індексом $\lambda_j' = \lambda_i + l(x_i, x_j) < \lambda_j$. Продовжуємо цей процес заміни індексів до тих пір, поки залишається хоч би одна дуга, для якої можна зменшити λ_j.

Відзначимо дві властивості, якими володітимуть приписані вершинам індекси.

1. Нехай (x_k, x_s) - довільне ребро. Для нього обов'язково виконується умова $\lambda_s - \lambda_k \leq l(x_k, x_s)$.

2. Для довільної вершини x_p з індексом λ_p. знайдеться вершина λ_n.,

з'єднана ребром з x_p, така, що $\lambda_p - \lambda_q = l(x_q, x_p)$.

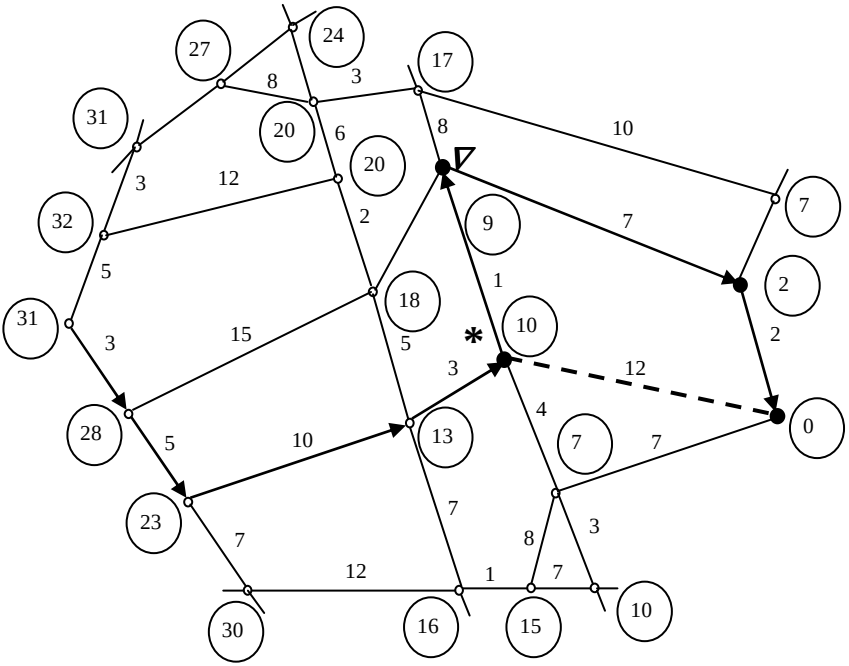


Рис. 6.25. Карта шляхів

Ці властивості дозволяють сформулювати наступне ***правило для знаходження найкоротшого шляху.***

Нехай $x_n = a$ - початкова вершина з індексом λ_n. Шукаємо вершину x_{p1}, таку, що $\lambda_n - \lambda_{p1} = l(x_{p1}, x_n)$. Далі шукаємо вершину x_{p2}, таку, що $\lambda_{p1} - \lambda_{p2} = l(x_{p2}, x_{p1})$ і т.п. до тих пір, поки не дійдемо до кінцевої вершини $x_{pk+1} = x_Q = b$. Шлях $\mu_o = (x_n, x_{p1}, .., x_{pk}, x_o)$, довжина якого рівна λ_n є найкоротшим.

Для доказу розглянемо довільний шлях з a в b: $\mu = (x_n, x_{k1}, ..., x_{ks}, x_0)$. Його довжина буде $l(\mu)$. Згідно правилу розстановки індексів виконуватимуться наступні нерівності:

$$\lambda_n - \lambda_{k1} \le l(x_n, x_{k1});$$

$$\lambda_{k1} - \lambda_{k2} \le l(x_{k1}, x_{k2});$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\lambda_{ks} - 0 \le l(x_{ks}, x_0);$$

Складаючи ці нерівності, знаходимо, що для будь-якого шляху μ, має місце $\lambda_n - 0 \le l(\mu)$. Оскільки для шляху μ_0 виконується умова $\lambda_n - l(\mu)=0$, то шлях μ_0 є найкоротшим.

Якщо є всього три вершини ***a, Ь, c,*** то досить побудувати один із з'єднуючих ланцюгів ***abc, acb, bac***, причому якщо ***bc*** - щонайдовше ребро, то саме його і треба виключити, побудувавши ланцюг ***bac***.

Граф найменшої довжини завжди є деревом, оскільки якби він містив цикл, можна було б видалити одне з ребер цього циклу і вершини все одно залишилися би з'єднаними. Тобто для з'єднання n вершин потрібно побудувати $n - 1$ ребро.

Стосовно дерева граф найменшої довжини можна побудувати, користуючись наступним правилом. Перш за все, з'єднуємо дві вершини з найбільш коротким з'єднуючим ребром u_1. На кожному з наступних кроків додаємо найкоротше з ребер u_i, при приєднанні якого до вже наявних ребер не утворюється ніякого циклу. Якщо є декілька ребер однакової довжини, вибираємо будь-яке з них. Кожне дерево Q, побудоване таким чином, називатимемо ***економічним деревом***. Його довжина дорівнює сумі довжин окремих ребер:

$$l(Q) = l(u_1) + \ldots + l(u_{n-1}).$$

Очевидно, що ніяке інше дерево, що з'єднує ті ж вершини, не може мати довжини, меншої ніж довжина економічного дерева Q,.

6.3.3. Поняття транспортної мережі АСУ

Транспортною мережею або в нашому випадку мережею обміну інформацією між об'єктами АСУ, називається кінцевий граф без петель, у якого:

1. існує одна і лише одна така вершина x_0,, що $\Gamma x_0 = 0$ (ця вершина називається входом мережі);
2. існує одна і лише одна така вершина z, що $\Gamma z = 0$ (вона називається виходом мережі);
3. кожній дузі графа u віднесено ціле число $c(u)$, зване пропускною спроможністю дуги u.

З поняттям транспортної мережі тісно пов'язано поняття потоку (наприклад інформації). Нехай x - довільна вершина. Позначимо через U_x^+

безліч дуг, що заходять в x, а через U_x^- - безліч дуг, що виходять з x. ***Потоком затранспортної мережі*** називається функція $\varphi(u)$, що задовольняє умовам

$$0 \le \varphi(u) \le c(u), \quad u \in U, \tag{6.3}$$

і

$$\sum_{u \in U_X^-} \varphi(u) - \sum_{u \in U_X^+} \varphi(u) = 0, \quad x \ne x_0, \; x \ne z. \tag{6.4}$$

Функцію $\varphi(u)$ можна розглядати як кількість речовини, що протікає (у одиницю часу) за дузгою $u = (x, y)$ від x до y. Згідно умові (6.3) це кількість речовини не може перевищувати пропускної спроможності дуги $c(u)$. Згідно умові (6.4) в кожній вершині x, відмінній від входу x_0 і виходу z, кількість речовини, що притікає, дорівнює кількості, що витікає. Отже, речовина не може накопичуватися ні в одній з вершин транспортної мережі, за винятком входу і виходу. А це означає, що потік, що виходить з вхідної вершини x_0, в точності рівний потоку, що входить у вихідну вершину z:

$$\sum_{u \in U_x^-} \varphi(u) = \sum_{u \in U_x^+} \varphi(u) = \varphi_z .$$

Величина $\varphi(z)$ називається ***величиною потоку транспортної мережі***.

На рис.6.26 приведений приклад транспортної мережі. Цифри в розривах дуг означають пропускну спроможність дуги. Стрілки указують напрям потоків, а цифри біля стрілок - величину потоку.

Для дослідження розподілу потоку за транспортною мережею зручно використовувати перетини транспортної мережі.

Оскільки кожна частинка, речовини, що рухається від x_0 до z, обов'язково пройде за якою-небудь дугою перетину, то загальний потік через перетин буде рівний величині потоку транспортної мережі. Для будь-якого перетину A має місце співвідношення

$$\sum_{u \in U_x^+} \varphi(u) - \sum_{u \in U_x^-} \varphi(u) = \varphi_z .$$

Назвемо пропускною спроможністю перетину A суму пропускних спроможностей дуг, що заходять в цей перетин:

$$c(A) = \sum_{u \in U_X^+} c(u)$$

Оскільки для будь-якої дуги має місце $\varphi(u) \le c(A)$, то $\varphi_z \le c(A)$.

Розглянемо ***задачу про найбільший потік в транспортній мережі***, яку сформулюємо таким чином. При заданій конфігурації транспортної мережі і відомої пропускної спроможності дуг знайти найбільшу величину потоку, який може пропустити транспортна мережа, а також розподіл цього

потоку за дугами транспортної мережі.

Введемо декілька допоміжних визначень. Дугу ***u*** назвемо ***насиченою***, коли $\varphi(u) = c(u)$. Потік φ_z називається ***повним***, якщо кожен шлях з x_0 до z містить, принаймні, одну насичену дугу.

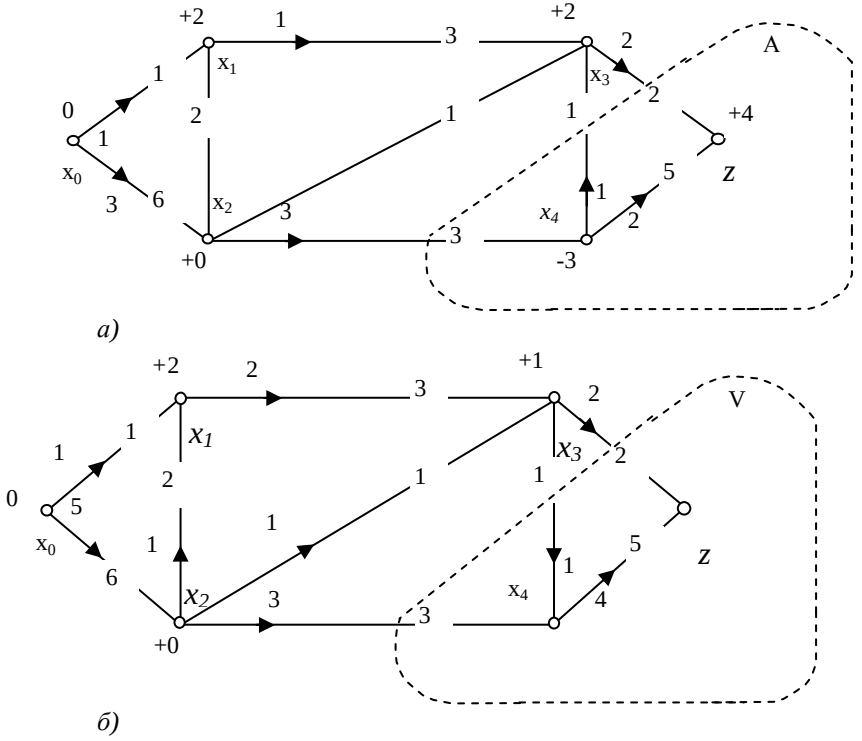


Рис. 6.26. Розподіл потоків в транспортній мережі.

Повний потік для даної транспортної мережі не є строго визначеною величиною і залежить від напряму потоків в окремих дугах. Так, на рис. 6.26 надані два різні розподіли потоку за однією і тією ж транспортною мережею.

Алгоритм для знаходження найбільшого потоку, запропонований Фордом і Фалкерсоном, полягає в поступовому збільшенні потоку φ_z до тих пір, поки він не стане найбільшим. При цьому передбачається, що пропускні спроможності дуг $c(u)$ є цілі числа, так що потоки за дугами також виражатимуться цілими числами. Знаходження найбільшого потоку про-

водиться в два етапи.

Перший етап. ***Знаходження повного потоку.*** Нехай $\varphi(u)$ - деякий розподіл потоку за дугами транспортної мережі. Шукаємо шлях μ з x_0 в z, всі дуги якого ненасичені, і вважаємо:

$$\varphi`(u) = \varphi(u) + 1 \quad \text{при } u \in \mu$$

$$\varphi(u) \text{ при } u \notin \mu .$$

При цьому потік φ_z зміниться до величини $\varphi'_z = \varphi_z + 1 > \varphi_z$. Таким шляхом проводимо поступове збільшення φ_z до тих пір, поки він не стане найбільшим.

Приклад. Знайдемо повний потік на транспортній мережі (див. рис. 6.26,а). Послідовно розглядаємо наступні шляхи, відзначаючи насичені дуги:

$\mu_1 = (x_0, x_1, x_3, z)$, $\varphi(\mu_1) = 1$ - насичена дуга (x_0, x_1);

$\mu_2 = (x_0, x_2, x_4, x_3, z)$, $\varphi(\mu_2) = 1$- насичені дуги (x_4, x_3) і (x_3, z);

$\mu_3 = (x_0, x_2, x_4, z)$, для насичення цього шляху можна узяти $\varphi(\mu_3) = 3$ - насичена дуга (x_2, x_4).

Легко бачити, що більше немає шляхів з x_0 в z, що містять ненасичені дуги. Отже, повний потік

$$\varphi_z = \varphi(\mu_1) + \varphi(\mu_2) + \varphi(\mu_3) = 5.$$

Другий етап. ***Знаходження найбільшого потоку***. Нехай φ_z - повний потік, а $\varphi(x, y)$ - потік за дугою $u = (x, y)$, направлений від вершини x до вершини y. Процес збільшення φ_z полягає в розмітці вершин графа індексами, вказуючими шлях, на якому можливе збільшення потоку. Заздалегідь всі вершини графа повинні бути перенумеровані.

Позначаємо x_0 індексом 0. Якщо x_i - - вже помічена вершина, то позначаємо індексом $+1$ всі непомічені вершини, в які йдуть ненасичені дуги з x_i , це вершини y, для яких

$$\varphi(x_i, y) < c(x_i, y),$$

і індексом -1 всі непомічені вершини, з яких йдуть дуги у вершину x_i (вершини y, тобто вважаємо:

$\varphi'(u) = \varphi(u)$, якщо $u \notin \mu$

$\varphi'(u) = \varphi(u) + 1$, якщо $u \in \mu$, і при русі від x_0 до z напрям дуги u проходить у напрямі орієнтації шляху;

$\varphi'(u) = \varphi(u) - 1$, якщо $u \in \mu$ і при русі від x_0 до z напрям дуги u проходить в напрямі, протилежному орієнтації шляху.

В результаті цього процесу отримаємо новий потік за мережі $\varphi'_z = \varphi_z + 1$, тобто величина потоку зростає. Далі цей процес повторюється.

Якщо деякий потік φ°_z неможливо збільшити описаним методом, то $\varphi^\circ_{\underline{z}}$ є найбільшим потоком мережі.

Дійсно, нехай V є перетин, причому такий, що не має дуг, що виходять (інакше деякі вершини цього перетину були б помічені негативними індексами), а всі вхідні дуги насичені:

$$U^{+}_{x} = U_V, \quad U^{-}_{x} = 0, \qquad \varphi(г) = c(г) \text{ для } u \in U^{+}_{x}.$$

При цьому

$$\varphi^{0}_{z} = \sum_{u \in U^{+}_{V}} \varphi(u) - \sum_{u \in U^{-}_{V}} \varphi(u) = c(z)$$

Значення потоку φ^{0}_{z} (на рис. 6.26,б) знайдемо, визначивши пропускну спроможність перетину V:

$$\varphi^{0}_{z} = c(x_2,x_4) + c(x_3,x_4) + c(x_3,z) = 3+1+2 = 6.$$

Таким чином збільшити найбільший потік транспортної мережі можна шляхом збільшення пропускної спроможності дуг, що заходять в перетин V.

6.3.4. *Транспортне завдання*

Разом із завданням відшукання найбільшого потоку велике практичне значення має завдання найбільш економічного розподілу потоку за дугами транспортної мережі, що отримала назву транспортного завдання. Оскільки транспортна мережа у багатьох випадках є схемою організації доставки чого-небудь (інформації, вантажів), то рішення транспортної задачі дозволяє визначити найбільш раціональний план перевезень, тобто такий розподіл маршрутів, який забезпечує: по-перше, мінімальні витрати, а по-друге мінімальний час на доставку чого-небудь до споживача. Перше завдання отримало назву транспортного завдання за критерієм вартості, а друге — транспортного завдання за критерієм часу.

Для зручності подальшого викладу позначимо:

$c_{ij} = c(x_i, x_j)$ - пропускна спроможність дуги (x_i, x_j);

$d_{ij} = d(x_i, x_j)$ - витрати на проходження одиниці потоку за дугою (x_i, x_j).

Транспортне завдання за критерієм витрат в термінах теорії графів можна сформулювати таким чином.

Дані транспортна мережа з найбільшим потоком φ^{0}_{z} і потік $\varphi_z \le \varphi^{0}_{z}$ який повинен бути пропущений за цією транспортною мережею. Потрібно знайти, такий розподіл потоку φ_z за дугами транспортної мережі, який забезпечує мінімальні витрати на проходження потоку. При цьому для кожної дуги повинне виконуватися співвідношення $\varphi(x_i, x_j) \le c_{ij}$, а витрати проходження потоку за дугою (x_i, x_j) дорівнювали $d_{ij}\varphi(x_i, x_j)$.

Для вирішення цього завдання розглядатимемо величини d_{ij} як довжини відповідних дуг. В цьому випадку вартість проходження потоку φ за

яким-небудь шляхом μ від x_0 до z буде дорівнювати перемноженню довжини цього шляху на величину потоку φ і завдання мінімізації витрат проходження потоку зведеться до рішення розглянутої раніше задачі знаходження найкоротшого шляху в графі від x_0 до z.

У випадку, якщо немає обмежень на пропускну спроможність дуг, найкоротший шлях є шляхом, який забезпечує мінімальні витрати проходження потоку.

За наявності обмежень на пропускну спроможність дуг завдання вирішується у декілька етапів шляхом знаходження часткових потоків на кожному етапі. Загальний алгоритм рішення задачі полягає в наступному.

У графові $G_1=(X, \Gamma)$, що зображує транспортну мережу з довжинами дуг $d_{ij}=l(x_i, x_j)$, шукається найкоротший шлях μ_i від x_0 до z. Нехай c_1 - пропускна спроможність шляху μ_1. За цим шляху пропускається потік який дорівнює $\varphi_1 = \varphi_z$, якщо $\varphi_z < c_1$, або c_1 якщо $\varphi_z > c_1$;

Якщо $\varphi_z < c_1$ - то задача вирішена і шлях μ_1 є найбільш економічним для потоку φ_z.

Якщо $\varphi_z > c_1$ те потік φ_1 розглядаємо, як частковий і переходимо до графа G_2, який отримуємо з графа G_1 шляхом заміни пропускних спроможностей дуг c_{ij} на c'_{ij} із співвідношення $c'_{ij} = c_{ij} - c_1$ для $u \in \mu_1$, або c_{ij} якщо $u \notin \mu_1$.

При цьому дуги, у яких $c'_{ij} = 0$, виключаються з розгляду. Потік, розподіл якого шукається на графі G_2, приймаємо рівним $\varphi'_z = \varphi_z - \varphi_1$.

Тепер виникає первинне завдання відшукання найбільш економічного розподілу потоку φ'_z, але вже за відношенням до графа G_2. Її рішення дає шлях μ_2 з пропускною спроможністю c_2 через який пропускається частковий потік який дорівнює $\varphi_2 = \varphi'_z$ якщо $\varphi'_z \le c_2$, або c_2 якщо $\varphi'_z > c_2$.;

Якщо $\varphi'_z \le c_2$, то задача вирішена і найбільш економічним розподілом потоків в графі G_1 буде проходження потоку φ_1 дорогою μ_1 і потоку φ_2 дорогою μ_2.

Якщо $\varphi'_z > c_2$., то слід перейти до нового графа G_3 і знайти новий частковий потік φ_3. Цей процес повторюється до тих пір, поки сума часткових потоків не досягне значення φ_z. Ці часткові потоки, пропущені за графом G_1, і дають найбільш економічний розподіл потоку φ_z.

Для ілюстрації описаного методу розглянемо варіант транспортного завдання, що часто найбільш зустрічається за критерієм вартості.

Однорідний вантаж є на станціях $x_1,\ldots,x_m$ в кількостях $a_1\ldots, a_m$. Його потрібно доставити на станції $y_1,\ldots, y_r$ в кількостях $b_1\ldots, b_r$. Передбачається, що загальна кількість необхідного вантажу дорівнює наявним запасам:

$$\sum_{i=1}^{m} a_i = \sum_{j=1}^{r} b_j$$

Вартість перевезення одиниці вантажу із станції x_i на станцію y_j рівна d_{ij}. Потрібно знайти найбільш економічні маршрути перевезення вантажів. Початкові дані зручно записувати у вигляді таблиці (табл.. 6.1).

Транспортна мережа, відповідна цьому завданню, будується таким чином. Вхід x_0 з'єднується з кожною з вершин x_i дугою з пропускною спроможністю $c(x_0, x_i) = a_i$. Кожна з вершин y_j з'єднується з виходом z дугою з пропускною спроможністю $c(y_j, z) = b_j$. Вартість проходження потоку за дугами (x_0, x_i) і (y_j, z) вважається рівною нулю. Нарешті, кожна вершина x_i з'єднується з кожною вершиною y_j- дугою з нескінченною пропускною спроможністю, вартість проходження одиниці потоку за якою дорівнює d_{ij}. Далі до цієї транспортної мережі застосовується розглянутий метод.

Таблиця 6.1.

Початкові дані транспортного завдання

a_i	b_j		
	b_1	....	b_r
a_1	d_{11}	….	d_{1r}
….	…..	….	….
a_m	d_{m1}	….	d_{mr}

Як приклад розглянемо схему надану на рис. 6.27. Застосовуючи описаний вище метод, знаходимо часткові потоки і маршрути, які перераховані в табл. 6.2 в порядку їх отримання.

Таблиця 6.2.

Розподіл часткових потоків за критерієм вартості

до	Маршрут (x_i, x_j)	Частковий потік φ_k	d_{ij}	Вартість перевезення $a_{ij} \cdot \varphi_k$
1	(x3, y1)	5	1	5
2	(x2,y2)	10	1	10
3	(x1, y4)	10	2	20
4	(x3, y4)	5	3	15
5	(x3, уз)	15	4	60
6	(x2., уз)	5	6	30
—	—	50	—	140

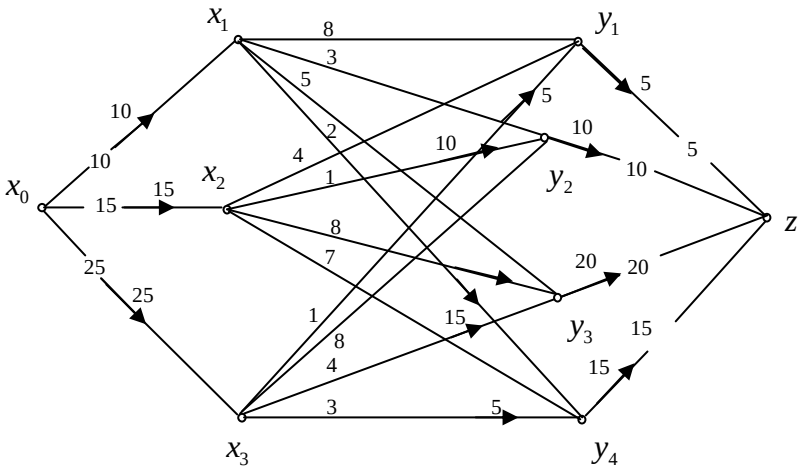


Рис.6.27. Рішення транспортної задачі за критерієм вартості.

Неважко бачити, що в загальному випадку вартість перевезення вантажів за транспортною мережею розглянутого вигляду визначається виразом

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{r} d_{ij}\varphi(x_i, y_j).$$

Отже, розібраний метод рішення транспортної задачі дає за суттю спосіб знаходження величин часткових потоків $\varphi(x_i, y_j)$, що мінімізують вказану суму. Розглянутий спосіб рішення не є єдиним. З подібними завданнями зустрічаються при вивченні лінійного програмування.

Рішення ***транспортне завдання за критерієм часу*** розберемо на прикладі транспортної мережі, в якої величини d_{ij}. тепер трактуватимемо як час, потрібний на перевезення вантажу з пункту x_i, в пункт y_j і позначати далі через t_{ij}. З подібними завданнями можна зіткнутися при доставці засобів допомоги в райони стихійних лих, при передачі термінових повідомлень і т.п. У всіх цих завданнях стоїть вимога доставки всіх вантажів в пункти призначення за можливо коротший проміжок часу.

Розглянемо загальний шлях рішення цієї задачі. Припустимо, що яким-небудь методом знайдений деякий розподіл потоку φ_z в графові G, що зображає дану транспортну мережу. Виділимо з графа G частковий граф G', в якого включимо тільки дуги, що беруть участь в передачі потоку φ_z. Хай μ - деякий шлях, ведучий з x_0 до z, а t_μ - час проходження потоку

цим шляхом. Очевидно, що час, необхідний на перевезення всіх вантажів з x_0 до z, визначатиметься шляхом, що має найбільшу тривалість проходження потоку, оскільки перевезення вантажів рештою шляхів закінчиться раніше. Отже, час T, потрібний на перевезення всіх вантажів, буде рівний:

$$T = \max_{\mu \in G'} t_\mu$$

Рішення транспортної задачі за критерієм часу зводиться, таким чином, до того, щоб виділити з графа G такий частковий граф G', який був би здатний пропустити весь потік φ_z, і в якому довжина найбільш тривалого шляху була б мінімальною в порівнянні зі всіма іншими подібними графами. При цьому рішення, знайдене за описаним раніше критерієм вартості, мінімізує величину, що визначається виразом:

$$\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{r} d_{ij} \varphi (x_i , y_j).$$

може і не бути якнайкращим з погляду критерію часу.

Рішення поставленої задачі зводиться до послідовного поліпшення графа G' шляхом видалення з нього найбільш тривалих шляхів і введення коротших, але невикористаних раніше, і відповідного перерозподілу потоку φ_z.

Звернемося до розглянутого прикладу. Як перше наближення до найкращого рішення приймемо рішення, отримане на основі критерію вартості. Розподіл потоків для цього випадку показаний на рис. 6.28. З цього рисунка бачимо, що час проходження потоку за найбільш тривалим маршрутом (x_2, y_3) дорівнює 6. Проте виявилися невикористаними менш тривалі маршрути (x_1, y_2), (x_2, y_1), (x_1, y_3). Тому можливо, що використання якого-небудь з цих маршрутів дозволить виключити маршрут (x_2, y_3).

Побудуємо частковий граф G', в якого включимо тільки дуги графа G, що мають $t_{ij} < 6$, і в якому розподіл потоку залишився тим же, що і в графі G. Граф G' показаний на рис.6.28. Потік φ_z через цей граф рівний 45 од., тобто менше, ніж первинний потік φ_z =50 од. Цей потік є повним, оскільки в графі G' всі шляхи з x_0 до z містять насичені дуги. Проте можливо, що він не є найбільшим.

Якщо найбільший потік в графі G' рівний φ_z, то знайдеться розподіл цього потоку, при якому найбільш тривалий шлях матиме час $t_\mu < 6$ од. Отже, подальше рішення задачі зводиться до визначення найбільшого потоку в графі G'.

На рис. 6.28 проведена розмітка вершин графа G' відповідно до розглянутого раніше правила. Розмітка вершин указує на існування шляху $(x_0, x_2, x_4, x_3, x_6, z)$, на якому потік в напрямі від x_0 до z може бути збільшений на 5 од. Цей додатковий потік показаний стрілками. Як бачимо найбільший

потік в графі G' дорівнює φ_z =50 од., а найбільш тривалий маршрут має час 4 од. Подальшого зменшення часу проходження потоку добитися неможливо, оскільки до вершини $y_3(x_6)$ не йдуть маршрути з часом, меншим 4 од.

Остаточний розподіл часткових потоків за маршрутами що дає рішення транспортної задачі за критерієм часу, приведений в табл. 6.3.

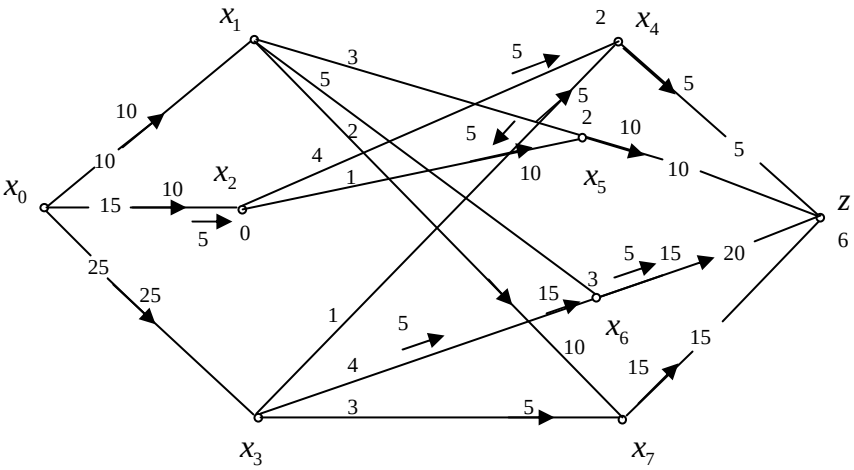


Рис. 6.28.. Рішення транспортної задачі за критерієм часу.

Таблиця 6.3.

Розподіл часткових потоків за критерієм часу

Маршрут	Частковий потік	Час проходження потоку
$(x_2., y_2)$	10	1
$(x_1.v_4)$	10	2
$(x_3.v_4)$	5	3
(x_2, y_1)	5	4
(x_3, y_3)	20	4
-	φ_z =50	$t_{макс}$ = 4

6.3.5. Критерій оптимальності шляху передачі інформації

Теорія графів широко застосовуватися при розгляді критеріїв оптимальності шляху передачі інформації в АСУ.

План розподілу інформації складається з урахуванням оптимальності шляхів. Для визначення оптимального шляху передачі інформації необхідно вибрати критерій оптимальності шляху Q. При цьому оптимізація плану розподілу полягатиме, як це розглянуто раніше, у виборі шляху, що характеризується мінімальною або максимальною величиною критерію Q залежно від його змісту (наприклад: час доведення інформації до споживача, старіння інформації в дорозі, вірогідність доведення інформації).

Багато з перерахованих критеріїв залежать один від одного, тому зазвичай вибирається один з критеріїв і за ним проводиться оптимізація плану розподілу інформації. Природно, що знайдений шлях буде оптимальним тільки за вказаним критерієм. Найбільш загальним критерієм, що дозволяє повніше враховувати ситуацію, що склалася, в мережі, є ***вірогідність доведення інформації до абонента***. Природно, що оптимізувати шлях за цим критерієм складніше. Для визначення вірогідності доведення інформації $P_д$ за деяким шляхом μ_i необхідно знати вірогідність доведення інформації $P_{дс\ ks}$ між двома сусідніми вузлами k і s. Вона залежить від кількості гілок, їх надійності, пропускної спроможності, параметрів потоку інформації на вході гілки β_{ks}.

Для визначення вірогідність доведення інформації $P_{дс\ ks}$ за гілкою β_{ks}, скористаємося марківською моделлю "елементарної" мережі, що складається з двох вузлів і каналів зв'язку, які їх з'єднують.

Припустимо, що на вхід гілки β_{ks} поступає потік повідомлень, моменти надходження яких розподілені за стаціонарним пуассоновським законом

$$P_m(\tau) = ((\tau\lambda)^m / m!)e^{-\tau\lambda},\ (m = 0,1,...),$$

де λ – інтенсивність потоку на інтервалі часу від t_0 до $t_0 + \tau$;

$P_m(\tau)$ - вірогідність надходження т повідомлень в інтервалі часу τ.

Гілка β_{ks} має кінцеву надійність і інтенсивність виходу з ладу

$$\Lambda = 1 / T_{iв},$$

де $T_{iв}$ - інтервал часу між відмовами.

Час відновлення після відмов $T_в$ також розподілений за показовим законом з інтенсивністю відновлення

$$\xi = 1/ T_в.$$

Час передачі повідомлення T_c за гілкою залежить від швидкості передачі, довжини повідомлення, алгоритму передачі, помилок в каналах і ме-

тоду кодування. Воно розподілене за показовим законом з інтенсивністю $c = 1/T_c$.

Повідомлення на виході гілки поступає в буферну пам'ять (БП) приймального вузла, в яку поступають повідомлення і з інших вхідних гілок. Тому інтерес представляє інтенсивність сумарного потоку на вході одного елементу БП куди записується повідомлення

$$b = b_{\Sigma}/N ,$$

де N число елементів в БП.

Час звільнення БП $T_{зв}$ підпорядкований показовому закону з інтенсивністю $n = 1/T_{зв}$. Воно залежить від швидкості обробки інформації у вузлі, тобто від його пропускної спроможності.

Елементарна мережа (рис.6.29) може знаходитися в наступних найбільш вірогідних станах:

1) гілка β_{ks} справна і не зайнята (є хоч би один справний і незайнятий канал), і є хоч би один вільний елемент БП, готовий до прийому одного повідомлення;

2) гілка несправна (немає жодного справного каналу);

3) гілка зайнята. У момент передачі повідомлення за всіма справними каналами гілки передаються інші повідомлення;

4} в момент t у вузлі не знайшлося жодного вільного елементу пам'яті для прийому повідомлення.

Решта можливих станів мережі маловірогідна, і їх можна не враховувати. В процесі функціонування мережа переходить з одного стану в інше. Граф станів, що вказує можливі переходи, показаний на рис. 6.29.

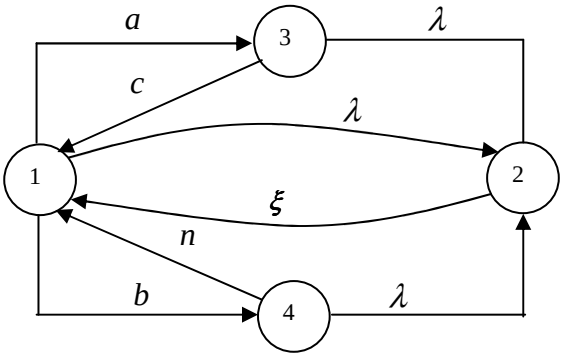


Рис.6.29. Граф станів елементарної мережі

За складеним графом станів з вказаними інтенсивностями переходів з

одного стану в інше може бути складена система диференціальних рівнянь Колмогорова, яку легко отримати, використовуючи наступне ***мнемонічне правило***: похідна за часом від вірогідності перебування системи в i-му стані рівна алгебраїчній сумі перемножень інтенсивностей переходів, відповідних i-у стану, на вірогідності станів, з яких здійснюється перехід, причому складові, яким відповідають стрілки переходів, що виходять з i-го стану, беруться із знаком мінус, а складові, яким відповідають вхідні в i-й стан стрілки переходів, - із знаком плюс.

Допустимо, що мережа в початковий момент часу t знаходиться в першому стані, тоді система диференціальних рівнянь має вигляд:

$$d P_1(t)/dt = -(\lambda + \Lambda + b) P_1(t) + \xi P_2(t) + c P_3(t) + n P_4(t)$$

$$d P_2(t)/dt = \Lambda P_1(t) - \xi P_2(t) + \Lambda P_3(t) + \Lambda P_4(t) \qquad (6.5)$$

$$d P_3(t)/dt = \acute{\alpha} P_1(t) - (c + \Lambda) P_3(t)$$

$$d P_4(t)/dt = b P_1(t) - (n + \Lambda) P_4(t)$$

Інтерес зазвичай представляє сталий режим в мережі, тобто коли $t \to \infty$,, що відповідає стаціонарному процесу. Тоді систему диференціальних рівнянь (6.5) з урахуванням умови, що вірогідність станів $P_i(t)$ складає повну групу подій можна представити у вигляді системи лінійних рівнянь, яку можна вирішивши відносно P_1.

Проте для складання плану розподілу інформації необхідно знати вірогідність доведення інформації всіма шляхами від x_0 до z.

Оскільки процес передачі інформації за гілками можна вважати незалежним, то вірогідність доведення інформації всіма шляхами μ_i визначатиметься перемноженням вірогідностей доведення інформації за гілками. Так, для i-го шляху

$$P_{\mu i \cdot} =. P_{дс12} P_{дс23} P_{дс34}.$$

Для будь-якого шляху вираз для вірогідності доведення інформації має вигляд

$$P_д = \prod_{i=1}^{\kappa} P_{дсi}$$

де i - номер за порядком гілки, що входить в шлях.

Значення $P_д$ можна брати як показник ефективності шляху.

6.4. Динамічне програмування

На практиці достатньо часто виникають задачі, коли метою оптимізації є знаходження найкращої за визначеним критерієм якості послідовності

тих чи інших дій (операцій виробництва, етапів будівництва складних об'єктів, доставки вантажів на декілька об'єктів тощо). Типовою для автоматизованих систем управління є задача знаходження найкоротшого шляху доведення інформації до декількох споживачів за умови обслуговування кожного споживача лише один раз та отримання вихідним джерелом інформації контрольного сигналу.

Одним з перших завдань такого роду було так зване завдання про комівояжера (бродячого торговця). Суть її полягає в наступному: є $n+1$ міст $A_1, A_2, ...A_n \; (n \geq 1)$ із заданими між ними відстанями $d_{ij} \; (i, j = 0,1,...,n)$; потрібно, відправляючись з A_1, вибрати такий маршрут пересування $A_1, A_2, ...A_n, A_1$, при якому комівояжер, побувавши в кожному місті по одному разу, повернувся б в початковий пункт A_1, пройшовши мінімально можливий сумарний шлях.

Ця задача може бути в принципі вирішена методом простого перебору всіх можливих маршрутів. Легко бачити, проте, що загальне число таких маршрутів дорівнює $1 \times 2 \times 3 ... (n-1) n$, а ця величина вже при n, вимірюваному декількома десятками, така величезна, що практично виключає можливість прямих обчислень навіть при використанні ЕОМ. Проблема, отже, полягає в тому, щоб різко скоротити перебір, відкидаючи наперед свідомо непридатна безліч варіантів. Методи вирішення цієї проблеми складають суть так званого динамічного програмування.

Основний прийом динамічного програмування — знаходження правил домінування, які дозволяють проводити порівняння варіантів розвитку послідовностей і завчасне відсіювання безперспективних варіантів. У ряді випадків в завданнях динамічного програмування вдається отримати такі сильні правила домінування, що вони визначають елементи оптимальної послідовності однозначно один за іншим. В цьому випадку правила домінування називають зазвичай вирішуючими правилами.

Вирішуючи правила (у разі їх існування) зазвичай виводяться за допомогою ***принципу оптимальності Беллмана***. Суть принципу оптимальності полягає в наступному.

Нехай критерій F (що задається формулою або алгоритмом), який дає числову оцінку якості варіанту (послідовності) $A_n = a_{i1}, a_{i2}, ..., a_{in}$, можна застосовувати не тільки до всієї послідовності, але і до будь-якого її початкового відрізка . $A_k = a_{i1}, a_{i2}, ..., a_{ik}$. Послідовність, A_n якої відповідає екстремальне значення критерію, F називається оптимальною. Якщо будь-який початковий відрізок оптимальної послідовності також оптимальний (у класі всіх послідовностей, складених з тих же елементів і, можливо ще маючий початок і кінець, що і даний відрізок), то говорять, що для відповідно-

го завдання справедливий принцип оптимальності.

Принцип оптимальності, як неважко зрозуміти, завжди виконується для адитивних критеріїв ***F***, які характеризуються тією властивістю, що для будь-якої послідовності ***A***, складеною з двох підпослідовностей ***B*** і ***C*** (A=BC),

$$F(A) = F(BC) = F(B) + F(C).$$

Число тих траєкторій, що підлягають розгляду може бути ще більш зменшено, якщо до правил домінування, що витікають з принципу оптимальності, пред'являються додаткові обмеження, що витікають з конкретного сенсу завдання (наприклад, відсутність різких зламів траєкторії, її обов'язкове проходження через задані проміжні пункти і т.п.).

Розглянемо основні принципи динамічного програмування на прикладі завдання про комівояжера. Нехай є всього п'ять пунктів: A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 (рис. 6.30) з наступною таблицею відстаней (табл. 6.4).

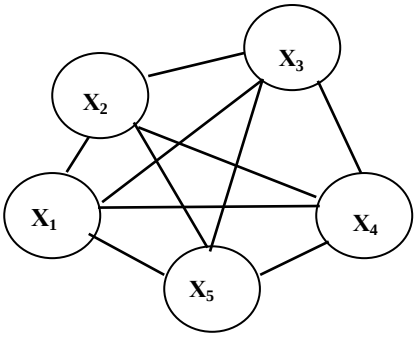


Рис. 6.30.

Таблиця 6.4.

	j				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
1	×	5	4	7	3
2	10	×	2	1	5
3	3	1	×	2	1
4	7	2	4	×	4
5	5	5	1	7	×

В кожний момент часу комівояжер знаходяться в одному з об’єктів

A_i ($i = 1, 2, ..., 5$), і приймає рішення в який наступний об'єкт A_j необхідно рухатися, щоб показник якості (сумарний шлях) був мінімальним. Область допустимих напрямків руху на кожному кроці зменшується, оскільки з неї виключаються всі об'єкти, в яких вже був комівояжер.

Почнемо з перебору послідовних комбінацій $A_1 A_{i2} A_{i3} A_{i4}$, що поєднують чотири об'єкта (три переходи), і групують їх за останнім об'єктом A_{i4}. Вибір такої довжини початкової послідовної комбінації обумовлений тим, що такі комбінації, з одного боку, охоплюють велику кількість можливих шляхів, а з іншого боку, є достатньо нескладними для їх повного перебору.

Всі можливі послідовні комбінації $A_1 A_{i2} A_{i3} A_{i4}$ записують у таблицю, у другий стовбець якої записують довжину сумарного шляху, що відповідає цим комбінаціям (суму довжин дуг (A_1, A_{i2}), (A_{i2}, A_{i3}), (A_{i3}, A_{i4}). Далі проводять аналіз отриманих послідовних комбінацій. З усіх послідовних комбінацій, що закінчуються в тому самому об'єкті A_{i4} і проходять крізь однакові об'єкти, вибирають послідовну комбінацію, якій відповідає шлях мінімальної довжини, і записують напроти неї у третьому стовпці "так", розуміючи, що саме її дометано надалі розглядати для побудови оптимального маршруту. Напроти інших послідовних комбінацій, що закінчуються в цьому ж об'єкті A_{i4} і проходять крізь однакові об'єкти і яким не відповідає шлях мінімальної довжини записують "ні" і виключають їх з подальшого розгляду як свідомо неперспективні варіанти рішення.

На наступному кроці у нову таблицю записують лише ті послідовні комбінації, що позначені у попередній таблиці позначкою "так", і додають до них ще за одним об'єктом A_{i5} (одному переходу), такому, якого не було у послідовній комбінації $A_1 A_{i2} A_{i3} A_{i4}$, до якої додається об'єкт. Знов записують довжини шляхів, що задаються отриманими послідовними комбінаціями $A_1 A_{i2} A_{i3} A_{i4} A_{i5}$. З усіх послідовних комбінацій, що закінчуються в тому самому об'єкті A_{i5} і проходять крізь однакові об'єкти, вибирають для подальшого розгляду послідовну комбінацію, якій відповідає шлях мінімальної довжини, і записують напроти неї у третьому стовпці "так". Напроти інших послідовних комбінацій, що закінчуються в цьому ж об'єкті A_{i5} і проходять крізь однакові об'єкти, записують "ні" і виключають їх з подальшого розгляду як свідомо неперспективні варіанти рішення.

Кількість таких кроків визначається кількістю об'єктів, крізь які повинний пройти комівояжер. Коли отримують послідовні комбінації, що

проходять крізь всі об'єкти, переходять до останнього етапу, на якому до отриманих послідовних комбінацій додають перехід у об'єкт A_1, з якого починався рух. Розраховують довжини отриманих контурів і як оптимальний шлях вибирають той, що має мінімальну довжину.

Приклад. Знайдемо замкнений шлях мінімальної довжини, що проходить крізь п'ять об'єктів, для таблиці 6.4.

Таблиця 6.5.

Варіант маршруту	Довжина маршруту, км	Перспективно чи ні
$A_1\ A_3A_4\ A_2$	8	так
$A_1\ A_4A_3\ A_2$	12	ні
$A_1\ A_3A_5\ A_2$	10	ні
$A_1\ A_5A_3\ A_2$	5	так
$A_1\ A_4A_5\ A_2$	16	ні
$A_1\ A_5A_4\ A_2$	12	так
$A_1\ A_2A_4\ A_3$	10	так
$A_1\ A_4A_2\ A_3$	11	ні
$A_1\ A_2A_5\ A_3$	11	ні
$A_1\ A_5A_2\ A_3$	10	так
$A_1\ A_4A_5\ A_3$	12	так
$A_1\ A_5A_4\ A_3$	14	ні
$A_1\ A_2A_3\ A_4$	9	ні
$A_1\ A_3A_2\ A_4$	6	так
$A_1\ A_2A_5\ A_4$	17	ні
$A_1\ A_5A_2\ A_4$	9	так
$A_1\ A_3A_5\ A_4$	12	ні
$A_1\ A_5A_3\ A_4$	6	так
$A_1\ A_2A_3\ A_5$	8	так
$A_1\ A_3A_2\ A_5$	10	ні
$A_1\ A_2A_4\ A_5$	10	так
$A_1\ A_4A_2\ A_5$	14	ні
$A_1\ A_3A_4\ A_5$	10	так
$A_1\ A_4A_3\ A_5$	12	ні

Перший крок. Складемо всі можливі послідовні комбінації

$A_1A_{i2}A_{i3}A_{i4}$, що поєднують чотири об'єкта, і запишемо їх у табл. 6.5, групуючи їх за останнім об'єктом A_{i4}. Розрахуємо довжини шляхів, що відповідають цим послідовним комбінаціям, і запишемо їх у другий стовбець табл. 6.5.

Далі проведемо аналіз отриманих послідовних комбінацій. З послідовних комбінацій $A_1A_3A_4A_2$ і $A_1A_4A_3A_2$, що закінчуються в одному об'єкті A_2 і проходять крізь ті ж самі об'єкти A_3, A_4, напроти послідовної комбінації $A_1A_3A_4A_2$ пишемо "так", оскільки їй відповідає шлях меншої довжини (8 км) в порівнянні з послідовною комбінацією $A_1A_4A_3A_2$ (12 км), напроти якої пишемо "ні".

Аналогічно з послідовних комбінацій $A_1A_3A_5A_2$ і $A_1A_5A_3A_2$, що закінчуються в одному об'єкті A_2 і проходять крізь ті ж самі об'єкти A_3, A_5, напроти послідовної комбінації $A_1A_5A_3A_2$ пишемо "так", оскільки їй відповідає шлях меншої довжини (5 км) в порівнянні з послідовною комбінацією $A_1A_3A_5A_2$ (10 км), напроти якої пишемо "ні". Таким чином заповнюємо весь третій стовбець табл. 6.5.

Другий крок. В наступну таблицю (табл.6.6) запишемо лише ті послідовні комбінації з табл.6.5, напроти яких написано "так", і додамо до цих послідовних комбінацій ще за одним об'єктом A_{i5}, якого ще не має в послідовній комбінації. Розрахуємо довжини отриманих шляхів, що відповідають цим послідовним комбінаціям, і запишемо їх у другий стовбець табл. 6.6.

Таблиця 6.6.

Варіант маршруту	Довжина маршруту, км	Перспективно чи ні
A_1 A_3A_4 A_2 A_5	13	ні
A_1 A_5A_3 A_2 A_4	6	так
A_1 A_5A_4 A_2 A_3	14	ні
A_1 A_2A_4 A_3 A_5	11	ні
A_1 A_5A_2 A_3 A_4	12	ні
A_1 A_4A_5 A_3 A_2	13	ні
A_1 A_3A_2 A_4 A_5	10	так
$A_1A_5A_2$ A_4 A_3	13	ні
A_1 A_5A_3 A_4 A_2	8	так
A_1 A_2A_3 A_5 A_4	15	ні
A_1 A_2A_4 A_5 A_3	11	так
A_1 A_3A_4 A_5 A_2	15	ні

Проведемо аналіз отриманих послідовних комбінацій. З послідовних комбінацій $A_1A_3A_4A_2A_5$, $A_1A_3A_4A_2A_5$ і $A_1A_3A_2A_4A_5$, що закінчуються в одному об'єкті A_5 і проходять крізь ті ж самі об'єкти A_2, A_3, A_4 напроти послідовної комбінації $A_1A_3A_2A_4A_5$ пишемо "так", оскільки їй відповідає шлях меншої довжини (10 км) в порівнянні з іншими послідовними комбінаціями $A_1A_3A_4A_2A_5$ (13 км) і $A_1A_3A_4A_2A_5$ (11 км), напроти яких пишемо "ні".

Аналогічно з послідовних комбінацій $A_1A_5A_3A_2A_4$, $A_1A_5A_2A_3A_4$ і $A_1A_5A_2A_3A_4$, що закінчуються в одному об'єкті A_4 і проходять крізь ті ж самі об'єкти A_2, A_3, A_5, напроти послідовної комбінації $A_1A_5A_3A_2A_4$ пишемо "так", оскільки їй відповідає шлях меншої довжини (6 км) в порівнянні з іншими послідовними комбінаціями $A_1A_5A_2A_3A_4$ (12 км) і $A_1A_5A_2A_3A_4$ (15 км), напроти яких пишемо "ні". Таким чином заповнюємо весь третій стовбець табл.6.6.

Третій крок. Оскільки отримані на другому кроці послідовні комбінації проходять крізь усі об'єкти, перейдемо до останнього кроку. В наступну таблицю (табл. 6.7) запишемо лише ті послідовні комбінації з табл. 6.6, напроти яких написано "так", і замкнемо отримані шляхи, додавши до цих послідовних комбінацій перехід до об'єкту A_1. Розрахуємо довжини отриманих шляхів, що відповідають цим послідовним комбінаціям, і запишемо їх у другий стовбець.

З аналізу замкнених шляхів, що записані в табл. 6.7 випливає, що у задачі, що розглядається, оптимальним є шлях $A_1A_5A_3A_2A_4A_1$, який має мінімальну довжину, що складає 13 км.

Таблиця 6.7.

Варіант маршруту	Довжина маршруту, км	Перспективно чи ні
$A_1\ A_3A_2\ A_4\ A_5\ A_1$	15	ні
$A_1\ A_5A_3\ A_2\ A_4\ A_1$	13	так
$A_1\ A_2A_4\ A_5\ A_3\ A_1$	14	ні
$A_1\ A_5A_3\ A_4\ A_2\ A_1$	18	ні

У описаній процедурі в загальному випадку піддається аналізу

$$n(n-1)(n-2)+\frac{n(n-1)(n-2)(n-3)}{2}+\frac{n(n-1)(n-2)(n-3)(n-4)}{2\times 3}+\ldots$$ н

еповних варіантів (за винятком останніх). Якби процедура відсіву починалася з часткових варіантів, що включають одну ділянку (а не 3, як це має

місце в даному випадку), то загальне число досліджуваних – варіантів виразилося б сумою

$$c_n^1 + c_n^2 + ... + c_n^{n-1} = 2^n - 2,$$

що при великих n значно менше, ніж загальне число всіх варіантів, рівне, як було вже відмічено вище $n!$.

6.5. Метод гілок і меж

6.5.1. Загальні положення методу

Вирішимо задачу комівояжера за допомогою методу гілок і меж.

Нехай є декілька варіантів рішення деякої задачі, які утворюють множину можливих варіантів рішення задачі $U = \{1, 2, ..., m\}$. Кожний (і-й) варіант рішення задачі будемо характеризувати деяким показником (критерієм) якості q_i. Причому оптимальним буде такий варіант рішення задачі, якому відповідає мінімальне значення показника якості

$$q^* = \min_{i \in U} q_i .$$

Величина q^* називається ***точною нижньою межею*** (найменшим значенням) множини показників якості $Q = \{q_1, q_2, ..., q_m\}$, що відповідає множині варіантів рішення задачі U.

При знаходженні оптимального рішення задачі методом гілок і меж широко використовується поняття оцінки знизу для всієї множини варіантів рішення задачі U та для її складових частин. ***Оцінкою знизу (оптимістичною оцінкою знизу)*** $\hat{q}$ для множини U називається таке значення показника якості, яке не перевищує його оптимального значення. Тобто можливі два випадки $\hat{q} < q^*$ або $\hat{q} \le q^*$. В останньому випадку оцінка називається ***досяжною***.

Якщо розбити множину варіантів рішення задачі U на дві підмножини U_A і U_B з точними нижніми межами (мінімальними значеннями) показника якості q_A^* і q_B^* відповідно, то оптимальне значення показника якості множини U співпадає з мінімальним з q_A^* і q_B^*:

$$q^* = \min\left\{ q_A^*, q_B^* \right\} .$$

Розбиття множини варіантів рішення задачі на підмножини дометано, оскільки чим менше множина варіантів рішення задачі, тим простіше і точніше можна отримати оцінку знизу. Більш того, імовірно, що оптимальний варіант рішення задачі буде знаходитися в тій підмножині з $\boldsymbol{U}_A$ і $\boldsymbol{U}_B$, для якої оцінка знизу буде меншою. При цьому імовірність знаходження оптимального варіанта рішення у підмножині варіантів рішення, для якої оцінка знизу менша, буде тим більша, чим більша різниця між оцінками знизу для отриманих в результаті розбиття підмножин.

На цьому заснований ***метод гілок і меж***, який зводиться до поступового розбиття множини варіантів рішення задачі на підмножини та знаходження оцінок знизу для підмножин. Розбиття проводиться, доки не отримують підмножину, що відповідає варіанту рішення задачі, який має мінімальну оцінку знизу з усіх отриманих у ході розбиття підмножин. При цьому процес розбиття відображають у вигляді дерева розбиття, що починається з множини варіантів рішення задачі $\boldsymbol{U}$ і поділяється на гілки, які відображають отримані на кожному етапі підмножини і їх оцінки знизу.

Як відзначено вище, задача комівояжера полягає у знаходженні замкненого шляху, що проходить крізь всі об'єкти (один раз) та має мінімальну довжину. Такий шлях називається ***гамільтоновим контуром***. Отже, в задачі комівояжера в якості варіантів рішення виступають всі гамільтонові контури, а як показник якості розглядають довжину контурів.

Нехай відстані між об'єктами задані у вигляді таблиці відстаней (табл. 6.8), де елемент $\boldsymbol{d_{ij}}$ – відстань від ***i***-го об'єкту до ***j***-го. Відзначимо, що діагональні елементи таблиці відстаней не дорівнюють нулю, а позначені хрестиками, які відображають заборону руху з об'єкта в самого себе.

Таблиця 6.8.

u	*j*				
	1	2	3	.	n
1	x	d_{12}	d_{13}	.	d_{1n}
2	d_{21}	x	d_{23}	.	d_{2n}
3	d_{31}	d_{32}	x	.	d_{3n}
.	.	.	.	x	-
n	d_{n1}	d_{n2}	d_{n3}	.	x

Оскільки відповідно до визначення гамільтонова контуру будь-який шлях повинний заходити в кожний об'єкт та виходити з кожного об'єкта, то будь-який гамільтонів контур повинний містити хоча б за одним елементом кожного стовпця та хоча б за одному елементу кожного

рядка. З іншого боку, будь-який шлях повинний заходити в кожний об'єкт і виходити з кожного об'єкта лише один раз, тому всі гамільтонові контури містять лише за одним елементом кожного рядка і кожного стовпця. Звідси випливає, що при зменшенні елементів якогось рядку (стовпця) таблиці відстаней на однакове число довжина всіх можливих гамільтоновів контурів зменшиться на це число, оскільки в кожний гамільтонів контур входить якийсь один елемент цього рядка (стовпця). Отже, оцінка знизу для множини варіантів рішення задачі (гамільтоновів контурів) збільшиться на величину цього числа. Таке зменшення елементів рядку (стовпця) можна проводити, доки хоча б один елемент рядку (стовпця) не стане рівним нулю. Тобто, зменшення елементів рядку (стовпця) слід проводити на величину мінімального елементу рядку $\boldsymbol{h_i}$ (стовпця $\boldsymbol{g_j}$). Зменшення елементів рядків (стовпців) таблиці відстаней називається ***приведенням таблиці за рядками (стовпцями)***. Приведення таблиці за рядками (стовпцями) проводять, доки хоча б один елемент кожного рядку (стовпця) не стане рівним нулю. При цьому в ході приведення таблиці за рядками (стовпцями) отримують збільшення оцінки знизу $\hat{\boldsymbol{q}}_{\boldsymbol{p}}$ ($\hat{\boldsymbol{q}}_{\boldsymbol{c}}$) множини варіантів рішення задачі як суму мінімальних елементів $\boldsymbol{h_i}$ ($\boldsymbol{g_j}$) всіх рядків (стовпців):

$$\hat{\boldsymbol{q}}_{\boldsymbol{p}} = \sum_{i} \boldsymbol{h_i} , \tag{6.6}$$

$$\hat{\boldsymbol{q}}_{\boldsymbol{c}} = \sum_{j} \boldsymbol{g_j} . \tag{6.7}$$

Оцінку знизу (збільшення оцінки знизу) множини варіантів рішення задачі знаходять як суму збільшень оцінки, що отримані в ході приведення таблиці відстаней за рядками та за стовпцями:

$$\hat{\boldsymbol{q}} = \hat{\boldsymbol{q}}_{\boldsymbol{p}} + \hat{\boldsymbol{q}}_{\boldsymbol{c}} . \tag{6.8}$$

У задачі комівояжера розбиття множини варіантів рішення задачі здійснюється шляхом включення якійсь дуги ***(i,j)*** до складу гамільтонова контуру. При цьому множина варіантів рішення задачі (всіх гамільтоновів контурів) поділяється на підмножину ***[(i,j)]***, що містить дугу ***(i,j)***, і підмножину $\overline{\boldsymbol{[(i,j)]}}$, що не містить цієї дуги.

Таблицю відстаней для множини ***[(i,j)]*** отримують шляхом викреслення з вихідної таблиці відстаней ***i***-го рядка та ***j***-го стовпця, виходячи з того, що до гамільтонова контуру може входити лише один елемент ***i***-го рядка та один елемент ***j***-го стовпця, це елемент, що відповідає дузі ***(i,j)***.

Таблицю відстаней для множини $\overline{\boldsymbol{[(i,j)]}}$ отримують шляхом заборони дуги ***(i,j)*** у вихідній таблиці відстаней, замінюючи елемент $\boldsymbol{d_{ij}}$ хрестиком, як діагональні елементи таблиці відстаней.

Таким чином, питання розбиття множини варіантів рішення задачі на підмножини зводиться до вибору дуги ***(i,j)***, яку слід віднести до оптимального варіанту рішення (гамільтонова контуру).

Вибір дуги ***(i,j)*** для включення до оптимального варіанту рішення задачі слід проводити, виходячи з того, що множина ***[(i,j)]*** менша за множину $\overline{[(i,j)]}$, оскільки містить меншу кількість елементів. Отже, для множини ***[(i,j)]*** можна точніше визначити оцінку знизу і подальше розбиття доцільно проводити саме для цієї множини. З іншого боку подальше розбиття буде проводитися для множини***[(i,j)]***, якщо імовірність знаходження оптимального рішення у цій множині буде більше, ніж у множині $\overline{[(i,j)]}$. Останнє має місце, коли оцінка знизу для множини ***[(i,j)]*** менша за оцінку знизу для множини $\overline{[(i,j)]}$. Причому, чим більше буде різниця між оцінками, тим імовірніше буде знаходження оптимального рішення у множині ***[(i,j)]***. Отже, дугу ***(i,j)*** слід вибирати таким чином, щоб оцінка знизу для множини $\overline{[(i,j)]}$ була як можна більша за оцінку знизу для множини [(i,j)].

Якщо як дугу ***(i,j)*** взяти таку, для якої $d_{ij} \neq 0$, то оцінка знизу для множини ***[(i,j)]*** збільшиться на величину d_{ij}, оскільки дуга ***(i,j)*** буде входити у всі гамільтонові контури цієї множини. При цьому оцінка знизу для множини $\overline{[(i,j)]}$ не зміниться, оскільки таблиця відстаней для цієї множини залишиться приведеною. Отже, якщо взяти дугу ***(i,j)*** з $d_{ij} \neq 0$, то оцінка знизу для множини ***[(i,j)]*** буде більше за оцінку знизу для множини $\overline{[(i,j)]}$, що не є бажаним.

Таким чином, як дугу ***(i,j)*** слід брати таку, для якої $d_{ij} = 0$. Причому з усіх дуг, для яких $d_{ij} = 0$, слід вибирати ту, яка забезпечує максимальне збільшення оцінки знизу для множини $\overline{[(i,j)]}$. Оскільки при отриманні таблиці відстаней для множини $\overline{[(i,j)]}$ дуга ***(i,j)*** замінюється хрестиком, то таблиця відстаней для множини $\overline{[(i,j)]}$ може стати неприведеною і вході її приведення оцінка знизу для множини $\overline{[(i,j)]}$ збільшиться на величину

$$\Delta(i,j) = h_i^* + g_j^*, \qquad (6.9)$$

де h_i^* та g_j^* – мінімальні елементи ***i***-го рядку та ***j***-го стовпця вихідної таблиці відстаней без урахування дуги ***(i,j)***.

При цьому оцінка знизу для множини $\overline{[(i,j)]}$ буде визначатися як сума оцінки знизу вихідної множини варіантів рішення задачі та величини збільшення оцінки $\Delta(i,j)$, а оцінка знизу для множини ***[(i,j)]*** є сумою оцінки знизу вихідної множини варіантів рішення задачі та збільшення оцінки знизу, яке отримують для таблиці відстаней множини ***[(i,j)]***.

Таким чином, розбиття множини варіантів рішення задачі виконується шляхом вибору дуги ***(i,j),*** для якої $d_{ij} = 0$ і $\Delta(i,j)$ є максимальним.

Розглянемо ***алгоритм застосування методу гілок і меж*** для розв'язання задачі комівояжера:

1) скласти таблицю відстаней для вихідної множини варіантів рішення задачі;

2) провести приведення таблиці відстаней вихідної множини варіантів рішення задачі, в ході якого визначити оцінку знизу вихідної множини варіантів рішення задачі згідно з виразами (6.6) – (6.8);

3) відкласти на дереві розбиття вершину, що відповідає вихідній множині варіантів рішення задачі, та записати біля неї отриману оцінку знизу;

4) з дуг, яким відповідають нульові елементи приведеної таблиці відстаней, вибрати дугу ***(i,j)***, яка забезпечує максимальне збільшення оцінки знизу $\Delta(i,j)$ (вираз (6.9)) для множини $\overline{[(i,j)]}$ для можливого включення її в оптимальне рішення;

5) відкласти на дереві розбиття вершину, що відповідає множині $\overline{[(i,j)]}$ варіантів рішення задачі, поєднати її лінією з попередньою вершиною, записати біля цієї лінії отримане на етапі 4 збільшення оцінки знизу $\Delta(i,j)$ та записати біля відкладеної вершини оцінку знизу для множини $\overline{[(i,j)]}$, яка дорівнює сумі оцінки знизу для множини, що відповідає попередній вершині, та збільшенню оцінки знизу, отриманому на етапі 4;

6) скласти таблицю відстаней для множини ***[(i,j)]*** варіантів рішення задачі; якщо у отриманій таблиці відстаней є дуга ***(i,j)***, яка достроково замикає контур, замінити елемент, що відповідає цій дузі, хрестиком для виключення дострокового замикання гамільтонова контуру;

7) провести приведення таблиці відстаней множини ***[(i,j)]*** варіантів рішення задачі, в ході якого визначити збільшення оцінки знизу для множини ***[(i,j)]*** варіантів рішення задачі згідно з виразами (6.6) – (6.8);

8) відкласти на дереві розбиття вершину, що відповідає множині ***[(i,j)]*** варіантів рішення задачі, поєднати її лінією з попередньою вершиною, записати біля цієї лінії отримане на етапі 7 збільшення оцінки знизу та записати біля відкладеної вершини оцінку знизу для множині ***[(i,j)]***, яка дорівнює сумі оцінки знизу для множини, що відповідає попередній вершині, та збільшенню оцінки знизу, отриманому на етапі 7;

9) в якості вихідної множини для наступного розбиття вибрати ту підмножину з ***[(i,j)]*** і $\overline{[(i,j)]}$, що має меншу оцінку знизу та повторити кроки 1, 2, 4 – 8.

При виборі вихідної множини на етапі 9 слід ураховувати не лише під-

множини ***[(i,j)]*** і $\overline{[(i, j)]}$ поточного розбиття, а й усі підмножини, що отримані в результаті попередніх рішень. Тобто з усіх підмножин, якими закінчуються знизу гілки дерева розбиття як вихідну множину слід вибирати ту, яка має мінімальну оцінку знизу. Відзначимо, що у випадку, коли на етапі 9 як вихідна множина на наступне розбиття вибирається множина ***[(i,j)]***, то в ході наступного розбиття етапи 1, 2 не виконуються.

В результаті застосування вищенаведеного алгоритму отримують оптимальне рішення, яке складається з дуг, що обиралися в ході виконання етапів 1 – 9, та записують довжину мінімального гамільтонова контуру (мінімально можливого шляху), яка співпадає з оцінкою знизу, для множини, що охоплює всі об'єкти в гамільтонів контур і має меншу оцінку знизу в порівнянні з іншими множинами, що отримані в процесі розв'язання задачі.

6.5.2. Приклад розв'язання задачі комівояжера методом гілок і меж

Знайдемо замкнений шлях мінімальної довжини, що проходить крізь п'ять об'єктів, для таблиці відстаней, що задана табл. 6.9.

Перше розбиття.

Згідно з етапом 2 алгоритму проведемо приведення табл. 6.9. Спочатку виконаємо приведення за рядками. Для цього додамо до табл. 6.9 додатковий стовбець, в який запишемо мінімальні елементи кожного рядка h_i, і зменшимо елементи кожного рядка на величину мінімального елементу цього рядка. В результаті отримаємо таблицю відстаней (табл. 6.10), що приведена за рядками (у кожному рядку є нульовий елемент).

Знайдемо збільшення оцінки знизу, як суму елементів додаткового стовпця:

$$\hat{q}_p = \sum_i h_i = 8 .$$

Таблиця 6.9.

u	*j*				
	1	2	3	4	5
1	x	5	4	7	3
2	10	x	2	1	5
3	3	1	x	2	1
4	7	2	4	x	4
5	5	5	1	7	x

Таблиця 6.10.

u	*j*					h_i
	1	2	3	4	5	
1	x	2	1	4	0	3
2	9	x	1	0	4	1
3	2	0	x	1	0	1
4	5	0	2	x	2	2
5	4	4	0	6	x	1

Таблиця 6.11.

u	*j*				
	1	2	3	4	5
1	x	2	1	4	0
2	7	x	1	0	4
3	0	0	x	1	0
4	3	0	2	x	2
5	2	4	0	6	x
g_j	2	0	0	0	0

Далі виконаємо приведення за стовпцями. Для цього додамо до табл. 6.10 (без урахування додаткового стовпця) додатковий рядок, в який запишемо мінімальні елементи кожного стовпця $\boldsymbol{g_j}$, і зменшимо елементи кожного стовпця на величину мінімального елементу цього стовпця. В результаті отримаємо таблицю відстаней (табл. 6.11), що приведена за стовпцями (у кожному стовпці є нульовий елемент).

Збільшення оцінки знизу знайдемо, як суму елементів додаткового рядка:

$$\hat{\boldsymbol{q}}_c = \sum_j \boldsymbol{g}_j = \boldsymbol{2}\,.$$

Оскільки у кожному рядку і у кожному стовпці табл. 6.11 є нульові елементи, то таблиця відстаней є приведеною, і оцінка знизу для множини варіантів рішення задачі $\boldsymbol{U}$ складає

$$\hat{\boldsymbol{q}} = \hat{\boldsymbol{q}}_p + \hat{\boldsymbol{q}}_c = \boldsymbol{10}\,.$$

Згідно з етапом 3 будуємо вершину $\boldsymbol{U}$ і записуємо біля неї оцінку знизу (рис. 6.31).

Для визначення дуги, яку дометано включити в оптимальне рішення, на етапі 4 для всіх нульових дуг табл. 4 визначимо відповідно до виразу (8) збільшення оцінок знизу для множин, що не місять цих дуг,:

$$\Delta(1,5)=1;\ \Delta(2,4)=2;\ \Delta(3,1)=2;\ \Delta(3,2)=0;$$
$$\Delta(3,5)=0;\ \Delta(4,2)=2;\ \Delta(5,3)=3.$$

Максимальне збільшення оцінки знизу дає дуга ***(5,3)***, отже вибираємо її для можливого включення в оптимальне рішення.

Згідно з етапом 5 будуємо вершину $\overline{[(5,3)]}$, з'єднуємо її лінією з вершиною ***U*** і записуємо біля лінії збільшення оцінки знизу ***Δ(5,3) = 3*** (рис. 6.30). Тоді оцінка знизу для множини $\overline{[(5,3)]}$ дорівнює сумі оцінки знизу для множини ***U*** і збільшення оцінки ***Δ(5,3)*** і складає 13. Саме її записуємо біля вершини $\overline{[(5,3)]}$.

Таблиця 6.12.

u	*j*			
	1	2	4	5
1	x	2	4	0
2	7	x	0	4
3	0	0	1	x
4	3	0	x	2

На етапі 6, викреслюючи з табл. 6.11 рядок, що відповідає п'ятому об'єкту, та стовбець, що відповідає третьому об'єкту, отримаємо таблицю відстаней для множини ***[(5,3)]*** (табл. 6.12). У ній для виключення дострокового замикання гамільтонова контуру заблоковано дугу ***(3,5)*** шляхом заміни відповідного елементу таблиці хрестиком.

Згідно з етапом 7 необхідно провести приведення табл. 6.12. Оскільки у кожному рядку і у кожному стовпці табл. 6.12 є нульовий елемент, то таблиця відстаней є приведеною і збільшення оцінки знизу для множини ***[(5,3)]*** не відбувається.

На етапі 8 будуємо вершину ***[(5,3)]***, з'єднуємо її лінією з вершиною ***U*** і записуємо біля лінії нульове збільшення оцінки знизу (рис. 6.31). Тоді оцінка знизу для множини ***[(5,3)]*** співпадає з оцінкою знизу для множини ***U*** і складає 10. Саме її записуємо біля вершини ***[(5,3)]***.

Як вихідну множину для подальшого розбиття на етапі 9 вибираємо множину ***[(5,3)]***, оскільки з отриманих у ході розбиття множин $\overline{[(5,3)]}$ і ***[(5,3)]*** вона має мінімальну оцінку знизу. Завдяки такому вибору вихідної множини наступне розбиття починається з етапу 4.

Друге розбиття.

На етапі 4 для визначення дуги, яку дометано включити в оптимальне рішення, для всіх нульових дуг табл. 6.12 визначимо збільшення оцінок

знизу для множин, що не місять цих дуг,:

Δ(1,5) = 4; ***Δ(2,4) = 5***; ***Δ(3,1) = 3***; ***Δ(3,2) = 0***; ***Δ(4,2) = 2***.

Максимальне збільшення оцінки знизу дає дуга ***(2,4)***, отже вибираємо її для можливого включення в оптимальне рішення.

Згідно з етапом 5 будуємо вершину $\left[(5,3),\overline{(2,4)}\right]$, з'єднуємо її лінією з вершиною ***[(5,3)]*** і записуємо біля лінії збільшення оцінки знизу ***Δ(2,4) = 5*** . Тоді оцінка знизу для множини $\left[(5,3),\overline{(2,4)}\right]$ дорівнює сумі оцінки знизу для множини ***[(5,3)]*** і збільшення оцінки ***Δ(2,4)*** і складає 15. Саме її записуємо біля вершини $\left[(5,3),\overline{(2,4)}\right]$.

Таблиця 6.13.

u	*j*		
	1	2	5
1	x	2	0
3	0	0	x
4	3	x	2

На етапі 6, викреслюючи з табл. 6.12 рядок, що відповідає другому об'єкту, та стовбець, що відповідає четвертому об'єкту, отримаємо таблицю відстаней для множини $\left[(5,3),(2,4)\right]$ (табл. 6.13). У ній для виключення дострокового замикання гамільтонова контуру заблоковано дугу ***(4,2)*** шляхом заміни відповідного елементу таблиці хрестиком.

Згідно з етапом 7 необхідно провести приведення табл. 6.13. Останній рядок табл. 6.13 не містить нульового елементу, отже необхідно провести приведення таблиці за рядками. Для цього додамо до табл. 6.13 додатковий стовбець, в який запишемо мінімальні елементи кожного рядка $\boldsymbol{h_i}$, і зменшимо елементи кожного рядка на величину мінімального елементу цього рядка. В результаті отримаємо таблицю відстаней (табл. 6.14), що приведена за рядками (у кожному рядку є нульовий елемент).

Таблиця 6.14.

u	*j*			h_i
	1	2	5	
1	x	2	0	0
3	0	0	x	0
4	1	x	0	2

Збільшення оцінки знизу знайдемо як суму елементів додаткового стовпця:

$$\hat{q}_p = \sum_i h_i = 2 .$$

Оскільки всі стовпці табл. 6.14 мають нульові елементи, в проведенні приведення за стовпцями не має сенсу і збільшення оцінки знизу не відбувається $\hat{q}_c = 0$. Отже, збільшення оцінки знизу для множини $\left[(5,3),(2,4)\right]$ складає

$$\hat{q} = \hat{q}_p + \hat{q}_c = 2 .$$

На етапі 8 будуємо вершину $\left[(5,3),(2,4)\right]$, з'єднуємо її лінією з вершиною ***[(5,3)]*** і записуємо біля лінії збільшення оцінки знизу, що дорівнює 2. Тоді оцінка знизу для множини $\left[(5,3),(2,4)\right]$ дорівнює сумі оцінки знизу для множини ***[(5,3)]*** і збільшення оцінки знизу і складає 12. Саме її записуємо біля вершини $\left[(5,3),(2,4)\right]$.

Як вихідну множину для подальшого розбиття на етапі 9 вибираємо множину $\left[(5,3),(2,4)\right]$, оскільки з отриманих у ході розбиття множин $\overline{[(5,3)]}$, $\left[(5,3),\overline{(2,4)}\right]$ і $\left[(5,3),(2,4)\right]$ вона має мінімальну оцінку знизу. Завдяки такому вибору вихідної множини наступне розбиття починається з етапу 4.

Третє розбиття.

На етапі 4 для визначення дуги, яку дометано включити в оптимальне рішення, для всіх нульових дуг табл. 6.14 визначимо збільшення оцінок знизу для множин, що не місять цих дуг,:

$$\Delta(1,5) = 2; \Delta(3,1) = 1; \Delta(3,2) = 2; \Delta(4,5) = 1.$$

Максимальне збільшення оцінки знизу дають дві дуги ***(1,5)*** і ***(3,2)***, отже для можливого включення в оптимальне рішення можна вибрати будь-яку з них. Виберемо, наприклад, дугу ***(1,5)***.

Згідно з етапом 5 будуємо вершину $\left[(5,3),(2,4),\overline{(1,5)}\right]$, з'єднуємо її лінією з вершиною $\left[(5,3),(2,4)\right]$ і записуємо біля лінії збільшення оцінки знизу $\Delta(1,5) = 2$. Тоді оцінка знизу для множини $\left[(5,3),(2,4),\overline{(1,5)}\right]$ дорівнює сумі оцінки знизу для множини $\left[(5,3),(2,4)\right]$ і збільшення оцінки $\Delta(1,5)$ і складає 14. Саме її записуємо біля вершини $\left[(5,3),(2,4),\overline{(1,5)}\right]$.

На етапі 6, викреслюючи з табл. 6.14 рядок, що відповідає першому об'єкту, та стовбець, що відповідає п'ятому об'єкту, отримаємо таблицю відстаней для множини $\left[(5,3),(2,4),(1,5)\right]$ (табл. 6.15). У ній для виключення дострокового замикання гамільтонова контуру заблоковано дугу (3,1).

Таблиця 6.15.

u	*j*	
	1	2
3	x	0
4	1	x

Згідно з етапом 7 необхідно провести приведення табл. 6.15. Останній рядок табл. 6.15 не містить нульового елементу, отже необхідно провести приведення таблиці за рядками. Для цього додамо до табл. 6.15 додатковий стовбець, в який запишемо мінімальні елементи кожного рядка h_i, і зменшимо елементи кожного рядка на величину мінімального елементу цього рядка. В результаті отримаємо таблицю відстаней (табл. 6.16), що приведена за рядками (у кожному рядку є нульовий елемент).

Таблиця 6.16.

u	*j*		h_i
	1	2	
3	x	0	0
4	0	x	1

Збільшення оцінки знизу знайдемо як суму елементів додаткового стовпця:

$$\hat{q}_p = \sum_i h_i = 1 .$$

Оскільки всі стовпці табл. 6.16 мають нульові елементи, в проведенні приведення за стовпцями не має сенсу і збільшення оцінки знизу не відбувається $\hat{q}_c = 0$. Отже, збільшення оцінки знизу для множини $\left[(5,3),(2,4),(1,5)\right]$ складає

$$\hat{q} = \hat{q}_p + \hat{q}_c = 1 .$$

На етапі 8 будуємо вершину $\left[(5,3),(2,4),(1,5)\right]$, з'єднуємо її лінією з вершиною $\left[(5,3),(2,4)\right]$ і записуємо біля лінії збільшення оцінки знизу,

що дорівнює 1. Тоді оцінка знизу для множини $\left[(5,3),(2,4),(1,5)\right]$ дорівнює сумі оцінки знизу для множини $\left[(5,3),(2,4)\right]$ і збільшення оцінки знизу і складає 13. Саме її записуємо біля вершини $\left[(5,3),(2,4),(1,5)\right]$.

Як вихідну множину для подальшого розбиття на етапі 9 необхідно вибирати або множину $\left[(5,3),(2,4),(1,5)\right]$, або множину $\overline{[(5,3)]}$, оскільки з отриманих у ході розбиття множин $\overline{[(5,3)]}$, $\left[(5,3),\overline{(2,4)}\right]$, $\left[(5,3),(2,4),\overline{(1,5)}\right]$, $\left[(5,3),(2,4),(1,5)\right]$ вони мають мінімальні оцінки знизу. Проаналізуємо спочатку множину $\left[(5,3),(2,4),(1,5)\right]$, а потім множину $\overline{[(5,3)]}$. Завдяки вибору як вихідної множини $\left[(5,3),(2,4),(1,5)\right]$ наступне розбиття починається з етапу 4.

Четверте розбиття.

На етапі 4 для визначення дуги, яку дометано включити в оптимальне рішення, для всіх нульових дуг табл. 6.16 необхідно визначити збільшення оцінок знизу для множин, що не місять цих дуг. Проте визначити збільшення оцінки не вдається для жодної з дуг. Це означає, що вибір будь-якої дуги з двох дуг, що відповідають нульовим елементам табл. 6.16, дає однакове (нульове) збільшення оцінки знизу, отже до оптимального рішення можна включити будь-які з них. Для того, щоб отриманий шлях охоплював всі об'єкти, до множини $\left[(5,3),(2,4),(1,5)\right]$ слід додати обидві дуги ***(3,2)*** і ***(4,1)***, що відповідають нульовим елементам табл. 6.16. При цьому, оскільки збільшення оцінки знизу відсутнє, оцінка знизу для множини $\left[(5,3),(3,2),(2,4),(4,1),(1,5)\right]$ співпадає з оцінкою знизу для множини $\left[(5,3),(2,4),(1,5)\right]$ і складає 13.

П'яте розбиття.

Проаналізуємо множину $\overline{[(5,3)]}$. Завдяки вибору як вихідної множини $\overline{[(5,3)]}$ наступне розбиття починається з етапу 1.

На етапі 1 складемо таблицю відстаней для множини $\overline{[(5,3)]}$ (табл. 6.17), замінюючи у табл. 6.9 елемент, що відповідає дузі ***(5,3)***, хрестиком.

Таблиця 6.17.

u	*j*				
	1	2	3	4	5
1	x	5	4	7	3
2	10	x	2	1	5
3	3	1	x	2	1
4	7	2	4	x	4
5	5	5	x	7	x

Згідно з етапом 2 алгоритму проведемо приведення табл. 6.17. Спочатку виконаємо приведення за рядками. Для цього додамо до табл. 6.17 додатковий стовбець, в який запишемо мінімальні елементи кожного рядка $\boldsymbol{h_i}$, і зменшимо елементи кожного рядка на величину мінімального елементу цього рядка. У результаті отримаємо таблицю відстаней (табл. 6.18), що приведена за рядками (у кожному рядку є нульовий елемент).

Таблиця 6.18.

u	*j*					h_i
	1	2	3	4	5	
1	x	2	1	4	0	3
2	9	x	1	0	4	1
3	2	0	x	1	0	1
4	5	0	2	x	2	2
5	0	0	x	2	x	5

Збільшення оцінки знизу знайдемо як суму елементів додаткового стовпця:

$$\hat{\boldsymbol{q}}_p = \sum_i \boldsymbol{h}_i = \boldsymbol{12} \cdot$$

Далі виконаємо приведення за стовпцями. Для цього додамо до табл. 6.18 (без урахування додаткового стовпця) додатковий рядок, в який запишемо мінімальні елементи кожного стовпця $\boldsymbol{g_j}$, і зменшимо елементи кожного стовпця на величину мінімального елементу цього стовпця. В результаті отримаємо таблицю відстаней (табл. 6.19), що приведена за стовпцями (у кожному стовпці є нульовий елемент).

Збільшення оцінки знизу знайдемо як суму елементів додаткового рядка:

$$\hat{\boldsymbol{q}}_c = \sum_j \boldsymbol{g}_j = \boldsymbol{1} \cdot$$

Таблиця 6.19.

u	J				
	1	2	3	4	5
1	x	2	0	4	0
2	9	x	0	0	4
3	2	0	x	1	0
4	5	0	1	x	2
5	0	0	x	2	x
g_j	0	0	1	0	0

Оскільки у кожному рядку і у кожному стовпці табл. 6.19 є нульові елементи, то таблиця відстаней є приведеною, і оцінка знизу для множини $\overline{[(5,3)]}$ складає

$$\hat{q} = \hat{q}_p + \hat{q}_c = 13,$$

що співпадає з оцінкою знизу, яка отримана для цієї множини у ході першого розбиття.

Для визначення дуги, яку дометано включити в оптимальне рішення, на етапі 4 для всіх нульових дуг табл. 6.19 визначимо збільшення оцінок знизу для множин, що не місять цих дуг:

$$\Delta(1,3) = 0; \Delta(1,5) = 0; \Delta(2,3) = 0; \Delta(2,4) = 1; \Delta(3,2) = 0; \Delta(3,5) = 0;$$
$$\Delta(4,2) = 1; \Delta(5,1) = 2; \Delta(5,2) = 0.$$

Максимальне збільшення оцінки знизу дає дуга $(5,1)$, отже вибираємо її для можливого включення в оптимальне рішення.

Згідно з етапом 5 будуємо вершину $\left[\overline{(5,3)},\overline{(5,1)}\right]$, з'єднуємо її лінією з вершиною $\overline{[(5,3)]}$ і записуємо біля лінії збільшення оцінки знизу ; $\Delta(5,1) = 2$. Тоді оцінка знизу для множини $\left[\overline{(5,3)},\overline{(5,1)}\right]$ дорівнює сумі оцінки знизу для множини $\overline{[(5,3)]}$ і збільшення оцінки $\Delta(5,1)$ і складає 15. Саме її записуємо біля вершини $\left[\overline{(5,3)},\overline{(5,1)}\right]$.

На етапі 6, викреслюючи з табл. 6.19 рядок, що відповідає п'ятому об'єкту, та стовбець, що відповідає першому об'єкту, отримаємо таблицю відстаней для множини $\left[\overline{(5,3)},(5,1)\right]$ (табл. 6.20). У ній для виключення дострокового замикання гамільтонова контуру заблоковано дугу $(1,5)$, шляхом заміни відповідного елементу таблиці хрестиком.

Згідно з етапом 7 необхідно провести приведення табл. 6.20. Оскільки

у кожному рядку і у кожному стовпці табл. 6.20 є нульовий елемент, то таблиця відстаней є приведеною і збільшення оцінки знизу для множини $\left[\overline{(5,3)},(5,1)\right]$ не відбувається.

Таблиця 6.20.

u	*j*			
	2	3	4	5
1	2	0	4	x
2	x	0	0	4
3	0	x	1	0
4	0	1	x	2

На етапі 8 будуємо вершину $\left[\overline{(5,3)},(5,1)\right]$, з'єднуємо її лінією з вершиною $\overline{[(5,3)]}$ і записуємо біля лінії нульове збільшення оцінки знизу. Тоді оцінка знизу для множини $\left[\overline{(5,3)},(5,1)\right]$ співпадає з оцінкою знизу для множини $\overline{[(5,3)]}$ і складає 13. Саме її записуємо біля вершини $\left[\overline{(5,3)},(5,1)\right]$.

Як вихідну множину для подальшого розбиття на етапі 9 вибираємо множину $\left[\overline{(5,3)},(5,1)\right]$, оскільки з отриманих у ході розбиття множин $\left[\overline{(5,3)},\overline{(5,1)}\right]$, $\left[\overline{(5,3)},(5,1)\right]$, $\left[(5,3),\overline{(2,4)}\right]$ і $\left[(5,3),(2,4),\overline{(1,5)}\right]$ вона має мінімальну оцінку знизу. Завдяки такому вибору вихідної множини наступне розбиття починається з етапу 4.

Шосте розбиття.

На етапі 4 для визначення дуги, яку дометано включити в оптимальне рішення, для всіх нульових дуг табл. 6.20 визначимо збільшення оцінок знизу для множин, що не місять цих дуг,:

$$\Delta(1,3) = 2;\ \Delta(2,3) = 0;\ \Delta(2,4) = 1;\ \Delta(3,2) = 0;\ \Delta(3,5) = 2;$$
$$\Delta(4,2) = 1.$$

Максимальне збільшення оцінки знизу дають дві дуги ***(1.3)*** і ***(3,5)***, отже для можливого включення в оптимальне рішення можна вибрати будь-яку з них. Виберемо, наприклад, дугу ***(1.3)***.

Згідно з етапом 5 будуємо вершину $\left[\overline{(5,3)},(5,1),\overline{(1,3)}\right]$, з'єднуємо її

лінією з вершиною $\left[\overline{(5,3)},(5,1)\right]$ і записуємо біля лінії збільшення оцінки знизу $\Delta(1,3) = 2$. Тоді оцінка знизу для множини $\left[\overline{(5,3)},(5,1),\overline{(1,3)}\right]$ дорівнює сумі оцінки знизу для множини $\left[\overline{(5,3)},(5,1)\right]$ і збільшення оцінки $\Delta(1,3)$ і складає 15. Саме її записуємо біля вершини $\left[\overline{(5,3)},(5,1),\overline{(1,3)}\right]$.

На етапі 6, викреслюючи з табл. 6.20 рядок, що відповідає першому об'єкту, та стовбець, що відповідає третьому об'єкту, отримаємо таблицю відстаней для множини $\left[\overline{(5,3)},(5,1),(1,3)\right]$ (табл. 6.21). У ній для виключення дострокового замикання гамільтонова контуру заблоковано дугу $(3,5)$.

Таблиця 6.21.

u	j		
	2	4	5
2	x	0	4
3	0	1	x
4	0	x	2

Згідно з етапом 7 необхідно провести приведення табл. 6.21. Оскільки всі рядки табл. 6.21 мають нульові елементи, в проведенні приведення за рядками не має сенсу і збільшення оцінки знизу не відбувається $\hat{q}_p = 0$.

Таблиця 6.22.

u	j		
	2	4	5
2	x	0	2
3	0	1	x
4	0	x	0
g_j	0	x	2

Для приведення за стовпцями додамо до табл. 6.21 додатковий рядок, в який запишемо мінімальні елементи кожного стовпця g_j, і зменшимо елементи кожного стовпця на величину мінімального елементу цього стовпця. В результаті отримаємо таблицю відстаней (табл. 6.22), що приведена за стовпцями.

Збільшення оцінки знизу знайдемо як суму елементів додаткового ря-

дка:

$$\hat{q}_c = \sum_j g_j = 2 \cdot$$

Отже, збільшення оцінки знизу для множини $\left[\overline{(5,3)},(5,1),(1,3)\right]$ складає

$$\hat{q} = \hat{q}_p + \hat{q}_c = 2,$$

На етапі 8 будуємо вершину $\left[\overline{(5,3)},(5,1),(1,3)\right]$, з'єднуємо її лінією з вершиною $\left[\overline{(5,3)},(5,1)\right]$ і записуємо біля лінії збільшення оцінки знизу, що дорівнює 2 (рис. 6.31). Тоді оцінка знизу для множини $\left[\overline{(5,3)},(5,1),(1,3)\right]$ дорівнює сумі оцінки знизу для множини $\left[\overline{(5,3)},(5,1)\right]$ і збільшення оцінки знизу і складає 15. Саме її записуємо біля вершини $\left[\overline{(5,3)},(5,1),(1,3)\right]$.

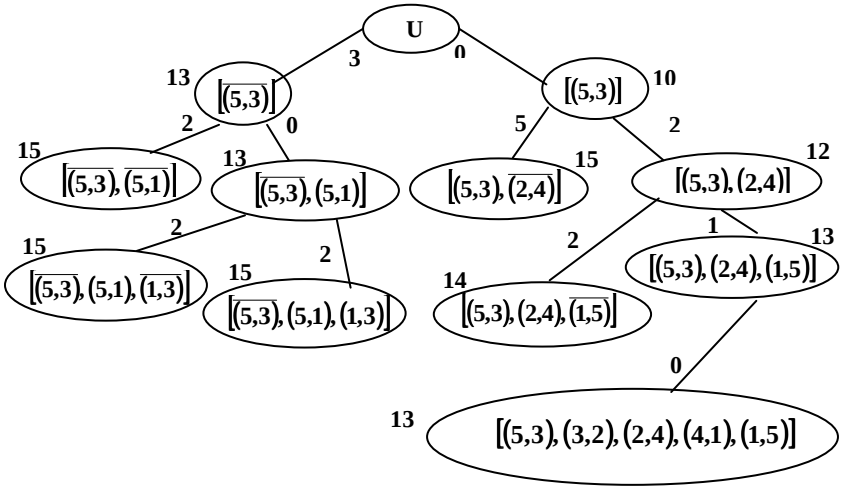


Рис. 6.31. – Дерево розбиття

Вибрати вихідну множину для подальшого розбиття на етапі 9 не вдається, оскільки всі отримані у ході розбиття множини $\left[\overline{(5,3)},\overline{(5,1)}\right]$, $\left[\overline{(5,3)},(5,1),\overline{(1,3)}\right]$, $\left[\overline{(5,3)},(5,1),(1,3)\right]$, $\left[(5,3),\overline{(2,4)}\right]$, $\left[(5,3),(2,4),\overline{(1,5)}\right]$

мають оцінку знизу більшу за гамільтонів контур $\left[(5,3),(3,2),(2,4),(4,1),(1,5)\right]$, що отриманий у ході четвертого розбиття. Отже, розв'язання задачі завершено – оптимальним є гамільтонів контур (шлях комівояжера) $\left[(5,3),(3,2),(2,4),(4,1),(1,5)\right]$, який має мінімальну оцінку знизу (довжину), що складає 13 км.

6.6. Використання методів лінійного програмування для визначення екстремальних значень функції мети

На практиці досить часто зустрічається окремий випадок завдання оптимізації, коли при знаходженні екстремуму, як цільова функція f, так і рівняння меж області S є лінійними функціями. Завдання знаходження екстремуму в цьому випадку носить спеціальну назву завдання лінійного програмування.

Розглянемо одне з важливих практичних завдань управління, що зводяться до лінійного програмування. Нехай маємо n виробничих об'єктів $A_1,\ldots,A_n$ (цехів), які призначені для виробництва m різних видів виробів $B_1,\ldots, B_m$. Кожний з об'єктів має в своєму розпорядженні деякі ресурси (устаткуванням різних типів, робочих різних професій). Припустимо, що загальне число типів ресурсів рівне k: $C_1 ,\ldots, C_k$. Для кожного виробу B_i заданий директивний план b_i, тобто мінімальна кількість виробів виду B_i, яке необхідно зробити в сукупності на всіх об'єктах.

Передбачається також, що для кожного виду виробів B_i задані нормативи, тобто кількість одиниць часу використання кожного з ресурсів $C_1 ,\ldots, C_k$, необхідних для виробництва однієї одиниці виробів даного виду. Норматив для i -го виробу заj-му ресурсу позначимо b_{ij}.

При встановленій тривалості робочого дня і тижня, кожен об'єкт A_i матиме в своєму розпорядженні цілком певний час для використання кожного з ресурсів C_j протягом даного періоду (людино-день і т. п.). Позначимо відповідні величини через a_{rj} ($r = \overline{1,n};\ \ j = \overline{1,k}$).

Будь-який оптимальний план характеризується не тільки меншою вартістю, але і, як правило, меншим числом матеріальних ресурсів, необхідних для його виконання. Поставимо завдання знаходження таких планів x_{ri} випуску виробів i-го вигляду на r-ом об'єкті, при яких досягається максимально можливий сумарний прибуток для всіх даних об'єктів, за умови, що сумарний випуск виробів кожного виду буде не менше відповідного плану.

Позначимо p_{ri} — прибуток, що отримується на r-ом об'єкті при виробництві однієї одиниці виробу i-го вигляду.

Цільова функція (сумарний прибуток) визначається формулою

$$P = \sum_{r=1}^{n} \sum_{i=1}^{m} p_{ri} x_{ri} \qquad (6.10)$$

При знаходженні максимуму цільової функції на значення змінних x_{rl} накладаються обмеження трьох різних типів. По-перше, плани x_{rl} , що розробляються не можуть бути негативними:

$$x_{rl} > 0 \quad r = \overline{1,n}; \; i = \overline{1,m} \qquad (6.11)$$

По-друге - необхідність виконання директивних планів:

$$\sum_{r=1}^{n} x_{ri} \geq b_i \qquad i = \overline{1,m} \; . \qquad (6.12)$$

Третій тип обмежень виникає з умов обмеженості ресурсів на кожному з об'єктів $A_1,\ldots,A_n$:

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ri} b_{ij} \leq a_{rj} \quad r = \overline{1,n}; \; j = \overline{1,k} \qquad (6.13)$$

Оскільки формули (6.10) —(6.13) лінійні відносно змінних x_{ri}, то маємо завдання лінійного програмування. Загальна кількість N меж області S, в якій шукається максимум функції P, дорівнює $mn+m+kn$. Саме таке загальне число нерівностей (6.11) —(6.13).

Фундаментальним фактом, для завдань лінійного програмування, є те, що екстремум цільової функції завжди досягається у вершинах многогранника, яким в таких завданнях є область S пошуку екстремуму.

Якщо при цьому опиниться, що цільова функція приймає одне і те ж екстремальне значення не в одній, а в декілька вершинах, то вона прийматиме те ж саме (а отже, екстремальне) значення в усіх точках грані, що задається цими вершинами. Тому в принципі задача лінійного програмування може бути вирішена шляхом знаходження всіх вершин многогранника S, обчислення значень цільової функції f у всіх вершинах і вибору з них вершини з екстремальним значенням функції.

Проте цей спосіб вельми громіздкий, оскільки кожна вершина знаходиться в результаті рішення систем лінійних рівнянь, що мають чималу розмірність, а число вершин, як правило, теж велике.

На практиці при рішенні задач лінійного програмування використовуються інші, економніші способи. Наприклад, метод симплексних перетворень або просто симплексний метод.

Цей метод припускає зведення системи обмежень від нерівностей до рівності, за допомогою введення допоміжних змінних: наприклад, нерівність

$$2x + 3y.- 1 > 0$$

можна замінити рівністю

$$2x + 3y — 1 = z,$$

де z — допоміжна змінна, що приймає будь-які ненегативні значення.

У завданнях, що зазвичай зустрічаються на практиці, основні змінні (як x_{ri} в розглянутому вище прикладі) не можуть приймати негативні значення. Допоміжні змінні (z), також можуть завжди вибиратися так, щоб задовольняти цій умові. Тому ***загальне завдання лінійного програмування*** може бути сформульоване таким чином: знайти ненегативне рішення заданої системи лінійних рівнянь, що обертає в максимум або в мінімум задану лінійну функцію f.

Загальне число змінних (як основних, так і допоміжних) називається розмірністю завдання лінійного програмування.

Враховуючи все сказане, неважко звести до описаного стандартного вигляду розглянутий вище приклад.

Необхідно знайти ненегативне рішення системи лінійних рівнянь

$$z_i = \sum_{r=1}^{n} x_{ri} - b_i \qquad i = \overline{1,m}\ ; \tag{6.14}$$

$$z_{rj} = a_{ri} - \sum_{i=1}^{m} x_{ri} b_{ij} \quad r = \overline{1,n};\ \ j = \overline{1,k}\ , \tag{6.15}$$

що обертає в мінімум лінійну цільову функцію 6.10.

Число основних змінних (x_{ri}) в цьому завданні рівне, очевидно, $n \times m$, а число допоміжних змінних (z_{ri} і z_i) дорівнює $m + nk$. Таким чином, розмірність завдання, в даному випадку, також як і в первинній постановці завдання, дорівнює $mn+m+kn$. Неважко зрозуміти, що це матиме місце всякий раз, коли всі первинні обмеження задані нерівностями.

Для можливості застосування симплексних перетворень рівняння системи потрібно переписати в правильній формі, яка може мати один з наступних двох видів:

$$0 = b — (a_1 x_1 + \ldots + a_n x_n). \quad b \geq 0, \tag{6.15}$$

або

$$x_i = d — (c_1 x_1 + \ldots + c_n x_n), \quad d \geq 0 \tag{6.16}$$

Рівняння першого вигляду називатимемо нуль - рівняннями, а другого — x - рівняннями або точніше, рівняннями, дозволеними відносно x_i. При цьому завжди припускатимемо, що за наявності в системі x – рівнянь, в решті всіх інших рівнянь проведені заміни невідомих x_i відносно яких вирішуються ці рівняння, відповідними правими частинами виразів (6.16).

Пояснимо ***суть симплексних перетворень*** на простому прикладі.

Хай потрібно знайти мінімум лінійної функції $f = 6 — x — 3y$ в області S, заданою системою нерівностей $y < 2$; $x + y < 3$; $x > 0$; $y > 0$. Для вирішення завдання, перш за все, обертаємо нерівності в рівності:

$$y + z=2; \quad x + y + u = 3.$$

Перепишемо отримані рівності в правильній формі:

$$0 = 2— (y + z); \quad 0 = 3 — (x + y + u).$$

Для виконання симплексного перетворення виберемо довільним чином одне з невідомих. Хай це буде ***y***. Далі, виділяємо ті рівняння, в яких коефіцієнти при вибраному невідомому позитивні. В даному випадку цій умові задовольняють обидва рівняння (знак мінус перед дужками при цьому до уваги не приймається). Ділимо вільні члени відповідних рівнянь на ці коефіцієнти і вибираємо з отриманих відносин ***2/1*** і ***3/1*** найменше (перше). Відповідне рівняння (перше) вирішуємо щодо виділеного невідомого:

$$y = 2- (z)$$

а набутого значення ***y*** підставляємо в решту рівнянь

$$0 = 3 — (x + 2 — (z) + u),$$

що приводить до рівнянь правильного вигляду:

$$0 = 1 — (x – z + u).$$

В результаті отримуємо нову систему рівнянь:

$$y = 2-(z);$$
$$0= 1 — (x — z + u),$$

яка і є результатом виконаного симплексного перетворення.

Застосування симплексного перетворення до змінною ***x*** приводить до вибору другого рівняння, а після його рішення відносно ***x*** і підстановки результату в решту рівнянь, - до системи, що складається тільки з ***x*** - рівнянь:

$$y = 2— (z);$$
$$x=1-(- z + u). \qquad (6.17)$$

Після виконання належного числа симплексних перетворень отримуємо систему, що складається тільки з х рівнянь.

Переходимо до наступного кроку. Для цього підставляємо в цільову функцію ***f*** замість ***y*** і ***x*** відповідні праві частини з рівнянь (6.17):

$$f = 6 — (1 + z — u) — 3(2 — z) = — 1 + 2z + u \qquad (6.18)$$

Оскільки z > 0 і u > Про, то до —1 у правій частині співвідношення (6.18) додається ненегативне число. Найменше значення для f (рівне мінус 1) вийде, очевидно, при z = u = 0. Відповідні значення х і у знаходяться з рівнянь (6.17):

$$y = 2 — 0 = 2; \quad \text{і} \quad x = 1 — 0 = 1.$$

Цей результат і дає рішення даної задачі лінійного програмування.

Якщо в якому-небудь випадку трапиться, що застосувати необхідне симплексне перетворення неможливо, то відповідне завдання лінійного програмування нерозв'язне. Це може трапитися як на першому етапі (перетворення нуль - рівнянь в ***x***- рівняння), так і на другому (ліквідації негати-

вних коефіцієнтів при невідомих в цільовій функції).

Є ще одна причина що заважає застосуванню програмування симплексним методом навіть у тому випадку, коли це завдання має рішення. Це так зване зациклення. Зациклення полягає в тому, що після деякого числа разів виконання симплексних перетворень система рівнянь, що перетворюється повертається до початкового вигляду, не вичерпавши всіх можливих базисів (тобто сукупності невідомих, щодо яких система може бути — дозволена). Для усунення цього в симплексний метод вводяться спеціальні доповнення, які розглядаються в докладніших курсах.

Якщо позначити через M число рівнянь в загальному завданні лінійного програмування, а через N — загальне число невідомих (як основних, так і допоміжних), то кількість необхідних арифметичних операцій для виконання одного симплексного перетворення в загальному випадку наближено складає $2MN$. Тобто для приблизних розрахунків можна вважати, що ця величина має порядок квадрата розмірності завдання.

Повертаючись до завдання на початку цього підрозділу, припустимо, що нам необхідно знайти оптимальний розподіл планів між 20 підприємствами ($n = 20$) за50 видам виробів ($m = 50$) при обліку 10 видів ресурсів ($k = 10$). Із співвідношень (6.10) —(6.13) знаходимо загальне число змінних N:

$$n(m + k) + m = 20(50 + 10) + 50 = 1250,$$

а загальне число рівнянь, рівне числу нетривіальних нерівностей (6.12) (6.13):

$$m + nk = 50 + 20 \cdot 10 = 250.$$

Звідси

$$2MN = 2 \cdot 1250 \cdot 250 = 625\,000.$$

Враховуючи, що в завданнях такої розмірності для знаходження рішення доводиться виконувати сотні і навіть тисячі симплексних перетворень, тобто рішення вказаної задачі може привести до необхідності виконання сотень мільйонів і навіть мільярдів арифметичних операцій.

Є окремі випадки завдань лінійного програмування, для вирішення яких існують простіші прийоми, ніж розглянутий вище симплексний метод. Найбільш важливими є розглянуті раніше транспортні завдання, що мають на меті знаходження плану перевезень за критерієм найменшої вартості, або завдання, що має на меті мінімізувати час перевезень.

6.7. Мережеве планування і управління

Мережеве планування і управління (МПУ) – це система планування і управління розробкою крупних господарських комплексів, науковими дослідженнями, конструкторською і технологічною підготовкою виробництва

нових виробів, будівництвом і реконструкцією, капітальним ремонтом - шляхом застосування мережевих графіків. Система МПУ дозволяє встановлювати взаємозв'язок планованих робіт і отримуваних результатів, точніше розраховувати план, а також своєчасно здійснювати його коректування. МПУ є основою для використання ЕОМ в управлінні і створенні АСУ

Суть мережевого планування і управління полягає в складанні логіко-математичної моделі управляємого об'єкту у вигляді мережевого графіка або моделі, що знаходиться в пам'яті ЕОМ, в якій відбиваються взаємозв'язок і тривалість певного комплексу робіт. Мережевий графік після його оптимізації використовується для оперативного управління роботами.

Мережеве планування і управління проводиться приблизно в наступній черговості:

- розділення комплексу робіт на окремі послідовні етапи, кожний з яких закріплюється за відповідальним виконавцем;
- виявлення і опис всіх подій і робіт, необхідних для досягнення кінцевої мети;
- побудова мережевого графіка;
- визначення часу виконання кожної роботи в мережі на основі системи оцінок;
- розрахунок критичного шляху і резервів часу;
- аналіз мережі і оптимізація графіка, розробка заходів щодо скорочення часу критичного шляху;
- управління ходом робіт за допомогою мережевого графіка.

Замірі руху до вищого рівня виконання робіт плани-графіки укрупнюються. Якщо вони призначені для керівників підприємств, то в них включаються тільки терміни звершення граничних подій, що є вихідними для одних підприємств і вхідними для інших, з вказівкою часу початку і закінчення робіт критичної зони.

Плани-графіки керівників проміжних ступенів доповнюються відомостями про терміни звершення граничних подій між окремими відповідальними виконавцями.

Мережеві методи засновані на наочному представленні виконуваного комплексу робіт у вигляді орієнтованого графа, дуги якого зображають виконувані роботи, а вершини — події, що є завершенням окремих робіт. Послідовність дуг в такому графі визначає порядок, в якому виконуються роботи. На рис. 6.32 приведений зразок мережевого графіка, на якому показані роботи, необхідні для виготовлення деякого приладу. Мережевий графік дає уявлення про порядок виконання робіт, що дозволяє найраціональніше розпорядитися наявними трудовими і матеріальними ресурсами.

Перший крок в побудові мережевого графіка полягає в розбитті всього комплексу на окремі роботи або операції. Робота повинна бути конкрет-

ною, чітко описаною і мати відповідального виконавця; тривалість її вимірюється кількістю днів, тижнів, декад і ін., що наносяться над стрілкою. Всі роботи в графіці ведуть до кінцевої події — мети планування.

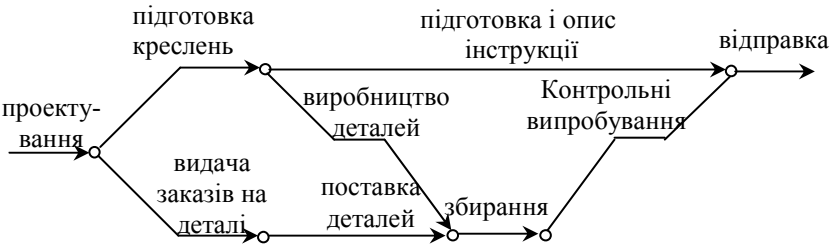


Рис. 6.32. Діаграма виробництва приладу.

Оскільки кожна робота пов'язана з витратами часу, вона має свій початок і кінець. Моменти початку й закінчення роботи повинні легко визначатися. Але деякі роботи можуть виявитися пропущеними. Тому перелік робіт повинен обов'язково узгоджуватися з безпосередніми виконавцями, які можуть легко відмітити пропущені роботи і інші недоліки переліку робіт. Роботи, що не мають строго певного початку і кінця, не повинні входити в перелік і підлягають подальшому уточненню.

Одночасно з складанням переліку робіт визначаються обмежувальні умови на їх виконання: тривалість кожної роботи, засоби на її виконання, інтенсивність, а також перелік безпосередньо попередніх робіт, виконання яких є необхідним для початку даної роботи. Всі ці дані заносяться в таблицю, прикладом якої є табл. 6.23, що містить 16 робіт.

Таблиця 6.23 має той недолік, що порядок робіт в ній носить до деякої міри випадковий характер. З таблиці не ясно, які роботи є важливішими, а отже, не видно, на яких роботах потрібно зосередити основну увагу при виконанні всього комплексу. З метою усунення цього недоліку складається нова таблиця, де окремим роботам приписуються вагові коефіцієнти, що відображають ступінь важливості цих робіт, це в значній мірі зумовлює порядок, в якому повинні виконуватися роботи. Приписування вагових коефіцієнтів є впорядкуванням або ранжуванням робіт. Кожній роботі можна приписати вагу, що дорівнює сумі числа безпосередньо наступних за нею робіт і вагових коефіцієнтів цих робіт. Кінцевим роботам, тобто таким, за якими не слідують інші роботи, приписуємо відносні ваги, відповідні важливості цих робіт. Всі кінцеві роботи однаково важливі і всім їм приписується вага, рівна одиниці. Для робіт з однаковими вагами порядок може бути узятий довільно. Одночасно в таблицю заносяться дані про ін-

тенсивність робіт, їх тривалість, безпосередньо передуючі і безпосередньо наступні роботи, а також дані для визначення термінів почала, закінчення і резервів часу для кожної роботи.

Таблиця 6.23.

Початкові дані для мережевого планування

Вид роботи	Тривалість міс.	Засоби» тис. крб.	Інтенсивність чол. /міс.	Безпосередньо попередні роботи
A	1	2,0	8	-
B	4	13,0	13	A, C, D
C	1	5,0	20	-
D	1	5,0	20	-
E	2	2,0	4	-
F	3	12,0	16	D, E
G	4	6,0	5	F
H	1	1,0	4	C
I	S	4,0	3	B, C, N
K	2	1,0	2	C
L	2	3,0	6	H
M	2	1,0	2	I
N	4	0,5	1	A, D
P	2	6,0	10	F
Q	6	15,0	10	-
R	3	5,0	7	Q

Початок деяких робіт можна здійснювати в межах, що називаються ***резервом часу***, не порушуючи необхідної послідовності робіт і загального терміну закінчення всього комплексу робіт. Позначимо через τ_k тривалість роботи з номером k, а через t'_k і t''_k — найбільш ранній і найбільш пізній терміни її закінчення. Тоді резерв часу для роботи k

$$\Delta\tau_k = t''_k - t'_k . \qquad (6.19)$$

Завдання, таким чином, зводиться до визначення моментів t'_k і t''_k для кожної з робіт.

Проте представлення ходу виконання робіт у вигляді таблиці незручно і не наочно. Набагато зручніше представляти роботи графічно у вигляді мережевого графіка.

На мережевому графіку кожна робота зображується у вигляді дуги графа, тобто стрілки, що з'єднує дві вершини, які є подіями, що визначають початок і закінчення роботи, як показано на рис. 6.33.

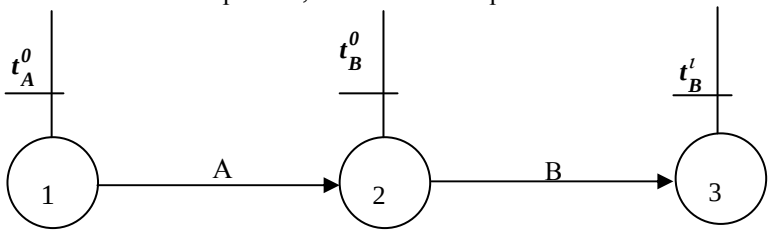


Рис. 6.33. Приклад зображення робіт і подій

Подію позначаємо кружком над яким указуємо момент настання даної події. Роботи (стрілки) позначають буквами латинського алфавіту, а вершини нумеруємо. При цьому кожна робота може бути позначена або буквою, наприклад ***A***, або нумерацією вершин, наприклад ***1,2***. Перше позначення зручніше при ручних, а друге, при машинних розрахунках.

У тих випадках, коли декілька робіт закінчується однією і тією ж подією, ми маємо справу з об'єднанням робіт. Якщо з однієї і тієї ж події починається декілька робіт, то це називають розбиттям роботи. Об'єднання і розбиття робіт легко виявити за переліком обмежень. На рис. 6.34 приведені приклади об'єднання і розбиття робіт.

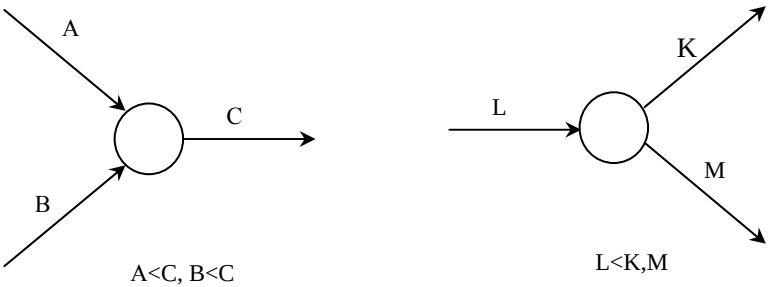


Рис. 6.34. Приклади об'єднання і розбиття робіт

Послідовність робіт на мережевому графіку повинна відображати всі обмеження, що задані. Нехай, .наприклад

$$L < K\ ,\ \ M < K \ \text{ тобто } \ \omega_k' = \{L, M\}\ ,$$

де ω'_k роботи що безпосередньо передують роботі ***K.***

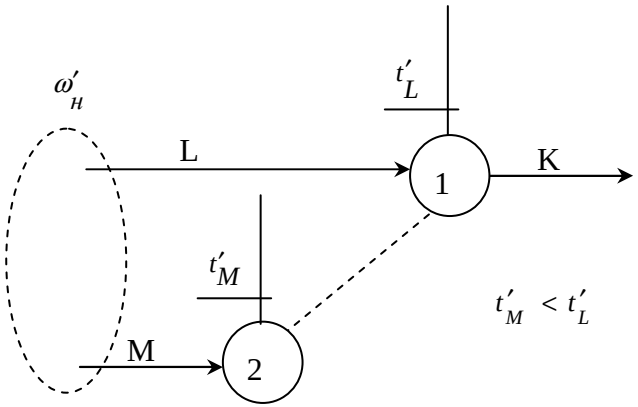


Рис. 6.35. Введення фіктивної роботи, що означає резерв часу

Тоді початком роботи ***K***. повинна служити подія ***1***, що характеризує закінчення роботи ***L***, з більш пізнішим терміном закінчення t'_L, як це показано на рис. 6.35. Оскільки робота ***M*** закінчується раніше, ніж робота ***L***, то моменту її закінчення відповідає інша подія ***2***. Для забезпечення на мережевому графіку умови $M < L$ необхідно події ***2*** і ***1*** з'єднати пунктирною стрілкою, що позначає фіктивну роботу (***2***, ***1***), яка насправді не виконується і означає просто резерв часу.

Фіктивні роботи можуть не тільки означати резерви часу, але і служити для розділення деяких робіт, що невиразних при цифровому позначенні. Так, на рис. 6.36 роботи ***A*** і ***B*** починаються і закінчуються однаковими подіями ***1*** і ***2*** і в цифровому позначенні не відрізняються, що утрудняє машинні розрахунки. В даному випадку доводиться вводити фіктивну вершину ***3*** і фіктивну роботу (***3, 2***), що має нульову тривалість.

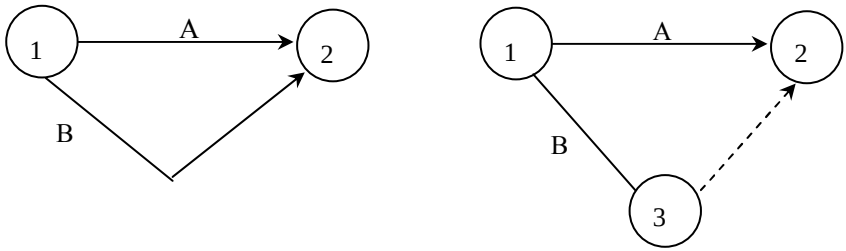
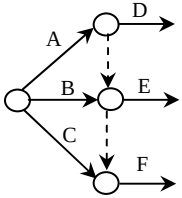
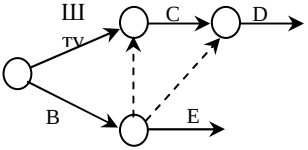
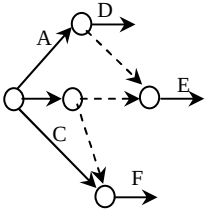
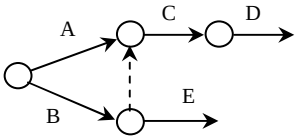


Рис. 6.36. Введення фіктивної роботи для відмінності робіт A і B

Таблиця 6.24.

Приклади неправильного і правильного введення фіктивних робіт в мережевому графіку

випадок	Введення зайвих обмежень	Зайві фіктивні роботи
Обмеження	A<D,E B<E,F C<F	A<C B<C, D,E C<E
Неправильно	 Зайве обмеження A<F	 Обмеження B<E відбите двічі
Правильно		

Введення фіктивних робіт і фіктивних подій вимагає більшої уваги і обережності. Необхідно перевіряти, щоб фіктивні роботи не порушували обмежень на черговість робіт і не вносили нових обмежень, не наявних в початковій таблиці. А також щоб не було непотрібних і зайвих фіктивних робіт, які лише ускладнять розрахунки. Типові приклади неправильного і правильного введення фіктивних робіт приведені в табл. 6.24

Мережевий графік, побудований за даними табл. 6.23, приведений на рис. 6.37. На цьому графіку подвійними стрілками відмічені роботи, що не мають резервів часу.

Важливий елемент розробки мережевого графіка — визначення тривалості шляхів. Шляхи надані лініями, що утворюються стрілками взаємозв'язаних робіт, кінці яких указують на початкові і кінцеві події. Розрізняють повні і критичні шляхи.

Повним називається шлях, початок якого співпадає з начальною поді-

єю мережі, а кінець — з її кінцевою подією.

Критичним називається шлях, що має найбільшу тривалість і що характеризує час виконання всього комплексу робіт, проекту в цілому, тобто час досягнення кінцевої мети. Послідовність подвійних стрілок на рис. 6.37 відображує критичний шлях.

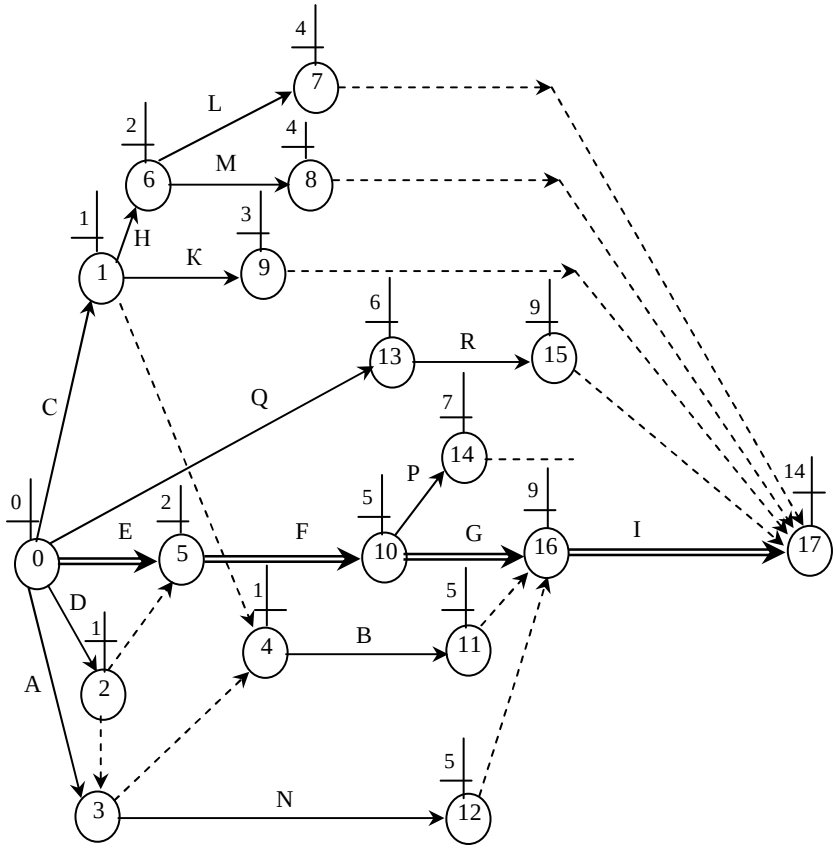


Рис. 6.37. Первинний мережевий графік

Побудований за вищевикладеними правилами мережевий графік може бути з ряду причин не зовсім задовільним. У ньому може опинитися невдалий розподіл ресурсів за етапами або дуже великим терміном виконання всього комплексу робіт, або які-небудь інші недоліки. Ці недоліки можна зменшити, проводячи оптимізацію мережевого графіка.

Якщо починати всі роботи в найбільш можливі ранні терміни, то розподіл ресурсів за місяцями (інтенсивність робіт в даному випадку), що надана на рис. 6.38, а, буде дуже нерівномірним і вже в першому місяці досягає 62 чол., тоді як в другому місяці буде потрібно всього 32 чол.

Розподіл ресурсів можна зробити значно більш рівномірним, змістивши початок деяких робіт, що мають значні резерви часу. Процедура зсуву початку робіт являє собою корекцію мережевого графіка. На рис. 6.39 приведений скоректований мережевий графік, розподіл ресурсів для якого показаний на рис. 6.38, б.

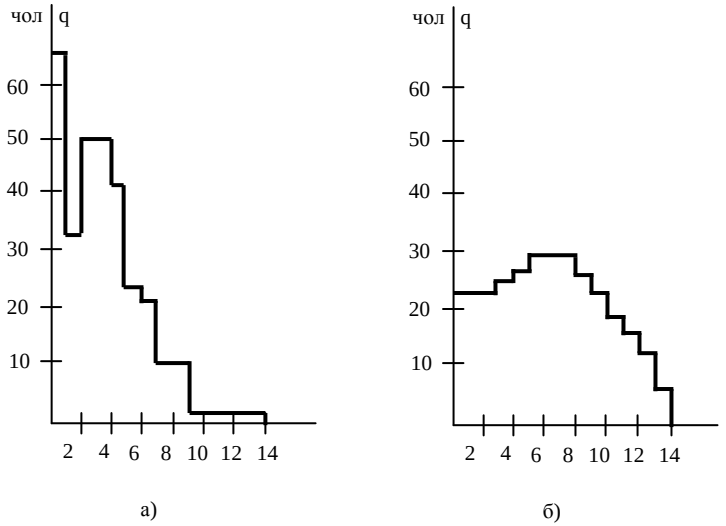


Рис. 6.38. Розподіл ресурсів: а) первинне; б) після коректування

Може трапитися таке, що час T виконання комплексу робіт надмірно великий і його треба скоротити до величини T'. Для цього необхідно скоротити тривалості деяких робіт. Нехай τ_i первинно запланований термін i-ї роботи. Якщо в цю роботу вкласти суму X (додаткових коштів), то тривалість цієї роботи може змінитися. Якщо кошти, що вкладаються, не дуже великі і обмежені, наприклад, значеннями d, то нову тривалість роботи τ'_i можна вважати лінійно залежною від x_i тобто покласти

$$\tau'_i = \tau_i (1 - b_i x_i)$$

де b_i — відомі для кожної роботи коефіцієнти.

Тепер стоїть завдання знайти додаткові вкладення X_i в кожну з робіт, щоб виконати весь комплекс робіт в заданий термін T. При цьому слід до-

биватися такого розподілу додаткових засобів за роботами, при якому необхідне скорочення тривалості всього комплексу робіт досягається при мінімальній загальній сумі додаткових вкладень.

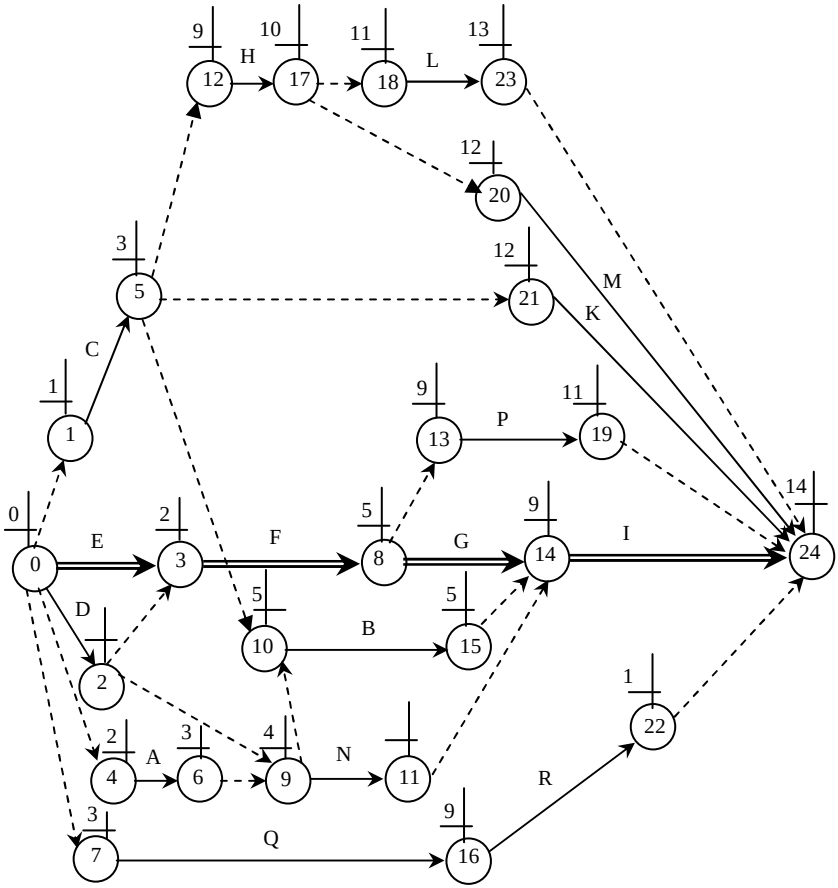


Рис. 6.39. Скоректований мережевий графік. Оптимізація терміну виконання комплексу робіт

Це завдання є типовим завданням лінійного програмування, в якому невідомими є додаткові вкладення і терміни початку кожної роботи. Але оскільки число самих невідомих обмежень, що накладаються на них, велике, рішення цієї задачі може представляти значні труднощі.

Завдання можна значно спростити, якщо врахувати, що загальний час виконання комплексу визначається тривалістю робіт, що лежать на критичному шляху.

Звідси витікає, що якщо є підстава вважати, що критичний шлях при новому часі виконання комплексу залишиться тим же самим, то весь розгляд потрібно проводити лише для робіт ***E, F, G, I*** лежачих на критичному шляху.

Розглянуті методи побудови мережевого графіка виходять з того, що наперед точно відома тривалість τ_i кожної роботи. Насправді тривалість робіт залежить від безлічі різних чинників і фактично є випадковими величинами. Неврахування цієї обставини може привести до значних помилок у визначенні загального терміну виконання комплексу робіт.

Оцінка часу виконання кожної роботи проводиться експертами, тобто людьми, обізнаними з усіма особливостями технології і організації проведення даної роботи. При використанні імовірнісних методів від експерта потрібна видача трьох видів оцінок часу виконання кожної роботи:

- оптимістична оцінка a_i вказує час виконання роботи за умов, що склалися найсприятливіше;
- песимістична оцінка b_i вказує час виконання роботи за умов, що склалися найнесприятливіше;
- найбільш вірогідна тривалість роботи m_i має місце за існуючих умов.

При цьому передбачається, що час виконання роботи є випадковим величиною, що підкоряється нормальному закону розподілу.

На підставі оцінок a_i, b_i, m_i визначається очікуваний час виконання роботи:

$$\overline{\tau}_i = \frac{a_i + 4m_i + b_i}{6}$$

дисперсія очікуваної оцінки визначається, як:

$$\sigma_i^2 = \left(\frac{b_i - a_i}{6} \right)^2 .$$

Всі подальші розрахунки ведуться так само, як і раніше, тільки замість заданої тривалості кожної роботи використовується очікуваний час її виконання.

Відмінність полягає в тому, що одночасно з визначенням очікуваних термінів закінчення робіт розраховуються дисперсії цих термінів. При підрахунку дисперсій користуються звичайним правилом: дисперсія суми випадкових величин рівна сумі дисперсій доданків.

Знання дисперсій дозволяє оцінити вірогідність виконання тієї або іншої роботи або всього комплексу робіт в заданий термін. Припустимо,

що запланований час виконання робіт рівний T_0. Розрахунок мережевого графіка показав, що очікуваний час виконання комплексу робіт рівний T з дисперсією σ_T^2. Достатньо справедливим буде припущення, що дійсний час виконання комплексу T буде випадковим величиною, що має нормальний закон розподілу з середнім значенням $\overline{T}$ і дисперсією σ_T^2, як показано на рис. 6.40. Вірогідність того, що дійсний час виконання комплексу робіт T не перевершить запланованого T_0, визначиться заштрихованою площею під кривій щільності розподілу вірогідності. Математично ця вірогідність може бути знайдена із співвідношення

$$P(T \le T_0) = \Phi\left(\frac{T_0 - \overline{T}}{\sigma_T}\right)$$

де $\Phi(x)$ — інтеграл вірогідності.

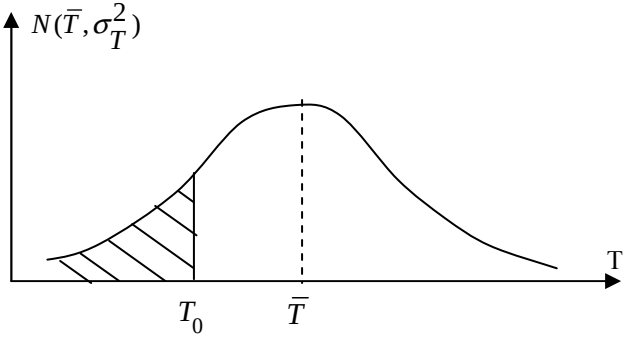


Рис. 6.40. Визначення вірогідності виконання комплексу робіт в заданий термін

Таким чином, МПУ створює умови для виконання всього комплексу робіт в їх логічній послідовності. За допомогою мережевих графіків здійснюється системний підхід до питань організації управління заданими процесами, оскільки колективи різних підрозділів беруть участь в них як ланки єдиної, складної організаційної системи, що об'єднані спільністю завдання.

Для закріплення матеріалу пропонується самостійно вирішити наступну вправу під назвою «ранок на дачі».

Батько, син 14 років і дочка 6 років живуть на дачі. На платформі, до якої від дачі 500м, їх чекають друзі, щоб піти разом в похід. Електричка

відправляється о 8 годині.

Вранці, як завжди, на сніданок біфштекс з відварною картоплею, батьку кава, дітям - кава з молоком. У дорогу потрібно узяти чай.

Є: плитка електрична на дві конфорки; умивальник наливний - 6л; туалет одномісний; відро для води – 12 л (досить на всі потреби); сковорода - 1, на яку поміщаються два біфштекси; кухонний і столовий посуд.

Витрати часу на всі процедури в таблиці. Потрібно визначити, на скільки поставити будильник.

Таблиця 6.25.

Перелік обов'язкових операцій	Час, хвилини		
	Батько	Син	Дочка
Підйом, одягання	2	2	5
Туалет	4	5	7
Прибрати одне ліжко	2	3	5
Зарядка	15	20	10
Принести воду з колонки	10	10	-
Вмиватися, почистить зуби	5	5	8
Поголитися	5	-	-
Заплести кіски (сама дочка не може)	5	5	-
Закип'ятити чайник води	10	10	-
Очистити картоплю	8	10	-
Зварити картоплю	20	20	-
Зварити каву	5	-	-
Заварити чай	5	5	-
Закип'ятити молоко	5	-	-
Вимити біфштекси	2	-	-
Підсмажити біфштекси	10	-	-
Накрити стіл	3	3	5
Поснідати	15	15	20
Помити посуд і прибрати	10	10	-
Приготувати бутерброди	8	-	-
Зібрати речі в дорогу	5	5	-
Одягнутися і взутися в дорогу	3	5	10
Дійти до електрички	8	8	8
Купити квитки	2	2	-

Не можна змінювати загальну кількість робіт і їх тривалість, і ніхто з членів сім'ї не повинен «бути без діла».

Рішення повинне супроводжуватися схемою.

6.8. Питання до розділу 6

1. Наведіть класичну математичну постановку завдання оптимізації.
2. Дайте визначення поняттю цільова функція.
3. Дайте визначення поняттю глобальний мінімум (максимум) цільової функції.
4. . Дайте визначення поняттю локальний мінімум (максимум) цільової функції.
5. Сформулюйте теорему Вейерштраса.
6. Наведіть алгоритм вирішення однопараметричного однокритеріального завдання оптимізації графоаналітичним методом**.**
7. Наведіть алгоритм вирішення багатопараметричного однокритеріального завдання оптимізації графоаналітичним методом**..**
8. Вирішить графоаналітичним методом наступне двопараметричне однокритеріальне завдання оптимізації. Заданий критерій $y = x_1/x_2$. Потрібно знайти $x_{1опт}$ і $x_{2опт}$, що обертають в максимум цільову функцію $y = x_1/x_2 \rightarrow min$. Обмеження:

$$2 \le x_1 \le 18$$

$$2 \le x_2 \le 6$$

$$x_1 \times x_2 \le 12$$

9. Дайте визначення поняттю параметрична оптимізація.
10. Поясніть вирішення завдання оптимізації АСУ методом множників Лагранжа
11. Поясніть вирішення завдання оптимізації АСУ методом найскорішого (градієнтного) спуску.
12. Поясніть доцільність застосування методу екстраполяції при рішенні задач управління.
13. Дайте визначення поняттю мережа АСУ**.**
14. Дайте визначення поняттю топологічна структура мережі.
15. Поясніть і наведіть приклад застосування математичного апарату теорії множин для опису топологічної структури мережі АСУ.
16. Дайте визначення поняттю вершина графа.
17. Дайте визначення поняттю дуга графа
18. Поясніть і наведіть приклад застосування математичного апарату теорії графів для опису топологічної структури мережі АСУ.
19. Дайте визначення поняттю матриця інциденцій графа.
20. Дайте визначення поняттю підграф.
21. Дайте визначення поняттю матриця суміжності графа.

22. Дайте визначення поняттю частковий граф.
23. Дайте визначення поняттю шлях на графі.
24. Дайте визначення поняттю контур на графі.
25. Дайте визначення поняттю петля на графі.
26. Дайте визначення поняттю неорієнтований граф.
27. Дайте визначення поняттю ребро графа.
28. Дайте визначення поняттю ланцюг на графі.
29. Дайте визначення поняттю компонента зв'язності графа.
30. Дайте визначення поняттю зв'язний граф.
31. Дайте визначення поняттю сильно зв'язний граф.
32. Надайте елементарні структури графа і складіть до них матриці суміжності.
33. Дайте визначення поняттю неорієнтованого графа „дерево".
34. Дайте визначення поняттю перетин графа
35. Дайте визначення поняттю відношення порядку на графі.
36. Дайте визначення властивості відношення порядку рефлективність.
37. Дайте визначення властивості відношення порядку транзитивність.
38. Дайте визначення властивості відношення порядку антисеметричність.
39. Дайте визначення поняттю відношення строгого порядку на графі.
40. Дайте визначення поняттю цикломатичне число.
41. Дайте визначення поняттю хроматичне число.
42. Сформулюйте завдання про найкоротший шлях на графі.
43. Сформулюйте загальне правило для знаходження найкоротшого шляху.
44. Дайте визначення поняттю транспортна мережа.
45. Дайте визначення поняттю потік за транспортною мережею.
46. Сформулюйте задачу про найбільший потік в транспортній мережі.
47. Наведіть алгоритм для знаходження найбільшого потоку.
48. Дайте визначення транспортному завданню на графі.
49. Поясніть алгоритм вирішення транспортного завдання за критерієм витрат.
50. Поясніть алгоритм вирішення транспортного завдання за критерієм часу.
51. Поясніть алгоритм знаходження вірогідності доведення інформації до абонента мережі АСУ.
52. Наведіть і поясніть складення системи диференціальних рівнянь Колмогорова.

53. Поясніть сутність динамічного програмування.

54. Поясніть сутність лінійного програмування.

55. Сформулюйте принцип оптимальності Беллмана.

56. Поясніть алгоритм вирішення задачі оптимізації методом динамічного програмування.

57. Для даних наведених у табл.. 6.26 вирішить задачу оптимізації методом динамічного програмування.

Таблиця 6.26.

	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4
A_0	0	300	200	200	400
A_1	300	0	500	350	600
A_2	200	500	0	250	200
A_3	200	350	250	0	250
A_4	400	600	200	250	0

58. Поясніть алгоритм вирішення задачі оптимізації методом гілок і меж.

59. Для даних наведених у табл.. 6.27 вирішить задачу оптимізації методом гілок і меж.

Таблиця 6.27.

i	*j*				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
1	×	3	7	2	4
2	6	×	2	4	1
3	6	1	×	7	2
4	2	3	7	×	5
5	6	1	2	5	×

60. Дайте визначення поняттю гамільтонів контур.

61. Сформулюйте загальне завдання лінійного програмування.

62. Дайте визначення поняттю мережеве планування і управління.

63. Поясніть сутність мережевого планування і управління.

64. Наведіть послідовність робіт за мережевим плануванням і управлінням.

65. Дайте визначення поняттю критичний шлях.

66. Дайте визначення поняттю повний шлях.

Розділ 7

Наукові і технічні аспекти створення інтелектуальних систем управління

Розглянута історія розвитку, основні поняття і структура штучного інтелекту, наведені функціональна структура системи штучного інтелекту Також розглянуто застосування нейромереж в системах управління, основні поняття і структура експертних систем і систем підтримки прийняття рішень.

7.1. Огляд розвитку робіт в області систем штучного інтелекту

Початок досліджень в області штучного інтелекту (ШІ) (кінець 50-х років минулого сторіччя) пов'язують з роботами Ньюелла, Саймана і Шоу, що дослідили процеси рішення різних задач. Результатами їх робіт з'явилися програми, що призначалися для доведення теорем в численні висловів, і загального вирішення завдань. Ці роботи поклали початок першому етапу досліджень в області ШІ, пов'язаному з розробкою програм, для вирішування завдань на основі застосування різноманітних евристичних методів.

Евристичний метод рішення задачі при цьому розглядався як властивий людському мисленню "взагалі", для якого характерне виникнення припущень про шлях рішення задачі з подальшою перевіркою їх. Йому протиставлявся використовуваний в ЕОМ алгоритмічний метод, який інтерпретувався як механічне здійснення заданої послідовності кроків, такої, що детерміновано приводить до правильної відповіді. Трактування евристичних методів рішення задач як суто людській діяльності і зумовила появу і подальше розповсюдження терміну штучний інтелект. Так, при описі своїх програм Ньюелл і Саймон приводили як доводи, підтверджуючі, що їх програми моделюють людське мислення, результати порівняння записів доведень теорем у вигляді програм із записами міркування людини, що „думає вголос". На початку 70-х років минулого сторіччя вони опублікували багато даних подібного роду і запропонували загальну методику складання програм, що моделюють мислення. Приблизно в той час, коли роботи Ньюелла і Саймона стали привертати до себе увагу, в Массачусетському технологічному інституті, Стэнфордському університеті і Стэнфо-

рдському дослідницькому інституті також сформувалися дослідницькі групи в області ШІ. В протилежність раннім роботам Ньюелла і Саймона ці дослідження більше відносилися до формальних математичних уявлень. Способи рішення задач в цих дослідженнях розвивалися на основі розширення математичної і символічної логіки. Моделюванню ж людського мислення надавалося другорядне значення.

На подальші дослідження в області штучного інтелекту великий вплив зробила поява методу резолюцій Робінсона, заснованого на доведенні теорем в логіці предикатів і що є вичерпним методом доказу. При цьому визначення терміну ШІ зазнало істотної зміни. Метою досліджень, що проводилися у напрямі ШІ, стала розробка програм, здатних вирішувати "людські задачі". Так, один з видних дослідників штучного інтелекту того часу Р. Бенерджи в 1969 році писав: "Область досліджень, зазвичай звану ШІ, ймовірно, можна представити як сукупність методів і засобів аналізу і конструювання машин, здатних виконувати завдання, з якими до недавнього часу могла справитися тільки людина. При цьому за швидкістю і ефективності машини, повинні бути порівнянні з людиною. Функціональний підхід до спрямованості досліджень заШІ зберігся в основному до теперішнього часу, хоча ще і зараз ряд вчених, особливо психологів, намагається оцінювати результати робіт за штучним інтелектом з позицій їх відповідності людському мисленню.

Дослідницьким полігоном для розвитку методів штучного інтелекту на першому етапі_були всілякі ігри, головоломки, математичні завдання. Деякі з цих завдань стали класичними в літературі заШІ (завдання про мавпу і банани, місіонерів і людоїдів, Ханойській башті, гра в 15 та інші). Вибір таких завдань обумовлювався простотою і ясністю проблемного середовища (середовища, в якому розгортається рішення задачі), її малою громіздкістю, можливістю достатньо легкого підбору і навіть штучного конструювання "під метод". Основний розквіт такого роду досліджень доводиться на кінець 60-х років минулого сторіччя, після чого стали робитися перші спроби застосування розроблених методів для завдань, що вирішуються не в штучних, а в реальних проблемних середовищах. Необхідність дослідження систем ШІ при їх функціонуванні в реальному світі привело до постановки завдання створення інтегральних роботів. Проведення таких робіт можна вважати другим етапом_досліджень за штучним інтелектом. У Стэнфордскому університеті, Стэнфордскому дослідницькому інституті і деяких інших місцях були розроблені експериментальні роботи, що функціонують в лабораторних умовах. Проведення цих експериментів показало необхідність рішення кардинальних питань, пов'язаних з проблемою подання знань про середовище функціонування, і одночасно недостатню дослідженість таких проблем, як зорове сприйняття, побудова

складних планів поведінки в динамічних середовищах, спілкування з роботами на природній мові. Ці проблеми були ясніше сформульовані і поставлені перед дослідниками в середині 70-х років минулого сторіччя, пов'язаних з початком третього етапу досліджень систем штучного інтелекту. Його характерною межею став зсув центру уваги дослідників із створення автономно функціонуючих систем, що самостійно вирішують в реальному середовищі поставлені перед ними завдання, до створення людино-машинних систем, інтегруючих в єдине ціле інтелект людини і здібності ЕОМ для досягнення загальної мети, - рішення задачі, поставленої перед інтегральною людино-машинною вирішальною системою. Такий зсув обумовлювався двома причинами:

- до цього часу з'ясувалося, що навіть прості на перший погляд задачі, що виникають перед інтегральним роботом при його функціонуванні в реальному часі, не можуть бути вирішені методами, розробленими для експериментальних завдань в спеціально сформованих проблемних середовищах;
- стало ясно, що поєднання можливостей людини і ЕОМ, що доповнюють одна одну дозволяє обійти гострі кути шляхом перекладання на людину тих функцій, які поки що не доступні для ЕОМ. На перший план висувалася не розробка окремих методів машинного рішення задач, а розробка методів і засобів, що забезпечують тісну взаємодію людини і обчислювальної системи протягом всього процесу рішення задачі з можливістю оперативного внесення людиною змін в ході цього процесу.

7.2. Основні поняття і структура інтелекту

Основні напрями інновацій і перспективного розвитку систем управління технічними об'єктами і технологічними процесами тісно пов'язані з досягненнями науки що вивчає можливість побудови і застосування в повсякденному житті систем штучного інтелекту. Розробка і впровадження на виробництві систем і машин, функціонування яких може піддаватися логічному опису, здатних полегшити інтелектуальну діяльність людини, підказати правильне рішення і промоделювати можливі наслідки рішень, що приймаються, визначає перспективу розвитку не тільки промисловості, але і суспільства в цілому.

Поняття штучний інтелект, як втім, і просто інтелект, вельми розпливчаті. Якщо узагальнити все сказане за останні тридцять років, то виявляється, що людина просто хоче створити собі подібного в тій або іншій формі, хоче, щоб якісь дії виконувалися раціональніше, з меншими витратами часу і енергії.

Штучний інтелект є зараз «гарячою точкою» наукових досліджень де,

як у фокусі, сконцентровані найбільші зусилля кібернетиків, лінгвістів, психологів, філософів, математиків і інженерів. Тут формується новий погляд на роль тих або інших наукових результатів і виникає те, що можна було б назвати філософським осмисленням цих результатів. Тому багато дослідників прийшли до висновку, що, мабуть, найважча проблема, що стоїть перед сучасною наукою, – пізнання процесів функціонування людського розуму, а не просто імітація його роботи.

Насправді, ученим важко навіть прийти до єдиної точки зору щодо самого предмету їх досліджень – інтелекту. Деякі вважають, що інтелект це уміння вирішувати складні задачі; інші розглядають його як здібність до навчання, узагальнення і аналогій; треті – як можливість взаємодії із зовнішнім світом шляхом спілкування, сприйняття і усвідомлення сприйнятого. «Комп'ютер можна вважати розумним, – затверджував на початку 50-х років видатний англійський математик і фахівець з обчислювальної техніки Алан Тьюрінг, – якщо він здатний примусити нас повірити, що ми маємо справу не з машиною, а з людиною».

В принципі інтелект може функціонувати в замкнутому просторі, не реагуючи на зовнішні чинники. Наприклад, сліпа людина позбавлена графічного потоку, паралізований — позбавлений дотикової інформації, і т.п. І для цього вже не потрібна та обчислювальна потужність, якої потребує здорова людина.

Під поняттям ***інтелект*** зазвичай розуміють: пізнання, розум, властивості мислення. ***Природний інтелект*** (розум людини) - це здатність до мислення, пізнавання світу і адекватного реагування на нього. Природний інтелект (ПІ) суб'єктивний, свідомий, ініціативний, повільний. Його можна оцінити якісно за рівнем психічного розвитку, сформованості пізнавальних функцій, розумових умінь і дій. Кількісно ПІ оцінюється за допомогою тестів розумової дії — ***IQ***. Це, так званий коефіцієнт інтелектуальності (коефіцієнт розумового розвитку). Природний інтелект залежить від пізнавальних здібностей індивіда: відчуття, сприйняття, пам'яті, подання і уяви. Залежно від психічних здібностей людини розрізняють наступні основні типи природного інтелекту:

1. Вербальний (запас слів, ерудиція, розуміння прочитаного);
2. Теоретичний (здатність вирішувати проблеми);
3. Практичний (здатність добиватися поставленої мети).

Взаємозв'язку понять природного інтелекту можна представити наочно (рис. 7.1).

Базовим поняттям є ***мислення*** — вищий ступінь людського пізнання в процесі віддзеркалення об'єктивної дійсності. Мислення дозволяє отримувати знання про такі об'єкти, властивості і відносини реального миру, які не можуть бути безпосередньо сприйняті з відчуттів. Мислення обов'я-

зково пов'язане з практикою.

Мислення здійснюється другою сигнальною системою людини в декількох формах і підкоряється певним законам, які вивчає наука логіка.

Логіка – це наука про форми і закони правильного мислення, що веде до істини.

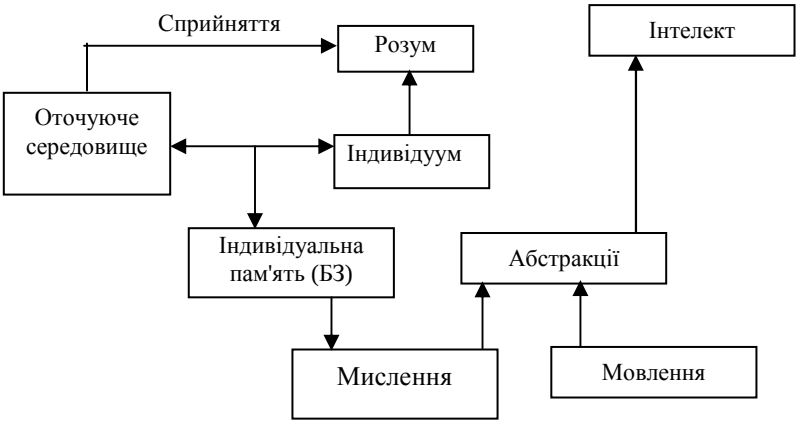


Рис. 7.1. – Взаємозв'язок понять природного інтелекту

Неважко прослідкувати основний зв'язок:

навчання => мислення => інтелект.

Взаємодіючи з навколишнім середовищем індивідуум через відчуття, сприйняття та подання формує в індивідуальній пам'яті базу знань. На її основі здійснюються наступні ***розумові операції:***

1. Аналіз і синтез;
2. Порівняння і систематизація;
3. Абстрагування і узагальнення;
4. Думка (істинна і помилкова);
5. Міркування і висновки (індуктивні і дедуктивні);
6. Аналогії і асоціації;
7. Припущення і гіпотези;
8. Поняття у формі слів і мови;
9. Рішення задач;
10. Розуміння нових об'єктів.

Прийнято розрізняти наступні ***форми мислення*:**

1. Наочно - дієве;

2. Наочно - образне;
3. Конкретно - понятійне;
4. Абстрактно-понятійне.

Розвиток науки і техніки привів людство до поняття штучного інтелекту (ШІ), виникнення якого є закономірний етап розвитку продуктивних сил (рис. 7.2).

Відомо 4 етапи розвитку продуктивних сил людства:

ручна праця → механізація → автоматизація → кібернетизація.

На етапі кібернетизації виникла необхідність замінити машиною інтелектуальну працю людини, тобто створити штучний інтелект (ШІ).

Рис. 7.2. – Поняття штучного інтелекту

Шляхом покрокового об'єднання речовинних, енергетичних і інформаційних тіл із знаряддя праці виникає спочатку машина, а потім автоматичні системи з відповідними важливими складовими: речовина, енергія і інформація. З'єднання автоматики з ЕОМ привело до появи інтелектуального автомата, що володіє штучним інтелектом.

Штучний інтелект – це область науки, наукові і технічні засоби для створення систем часткового або повністю автоматизованого рішення проблем з використанням способів і методів, які у відповідних наочних областях адекватні здібностям інтелектуальної людини.

Штучний інтелект розробляє методи і спеціальні програмно-технічні засоби пошуку рішень інтелектуальних творчих і математично неформалізованих завдань (НФЗ). Розрізняють наступні типи неформалізованих за-

вдань:

1. Інтерпретація;
2. Прогнозування;
3. Діагностування;
4. Технічне обслуговування;
5. Проектування (конструювання);
6. Планування;
7. Спостереження;
8. Ситуаційне управління;
9. Навчання.

Теорія штучного інтелекту вивчає методи:

- моделювання знань і створення баз знань;
- імітації на ЕОМ окремих видів творчої діяльності людини при пошуку рішень неформалізованих завдань в деякій наочній області.

Предметна область (ПРО) - це деяка спеціально вибрана і описана область діяльності людини в науці, техніці і промисловому виробництві.

В даний час ШІ розвивається за наступними напрямах:

1. Системи обробки знань (СОЗ) або експертні системи (ЕС);
2. Природні мови (ПМ) — переклад з однієї мови на іншу, розпізнавання мови, голосове введення інформації в ЕОМ і т. д.;
3. Системи розпізнавання образів;
4. Нейронні мережі – обчислювальна або логічна схема, побудована з однорідних процесорних елементів, що управляються спрощеними функціональними моделями нейронів;
5. Нечітка логіка;
6. Витягання знань з баз даних;
7. Генетичні алгоритми.

У спрощеному варіанті структуру штучного інтелекту можна представити такою, що складається з наступних елементів (рис. 7.3)

1) мета;
2) дані;
3) знання;
4) механізм спрощення і висновку;
5) інтерфейс введення / виведення.

Мета — кінцевий результат, на який направлені розумові процеси людини.

Дані — факт, поняття або інструкція, представлені в умовній формі. Це деяке відображення реальної дійсності, спеціально вибране для інформаційної моделі, що описує послідовність різних явищ певної предметної області. Дані є інформаційним ресурсом. Дані мають дві невіддільні властивості — найменування і значення.

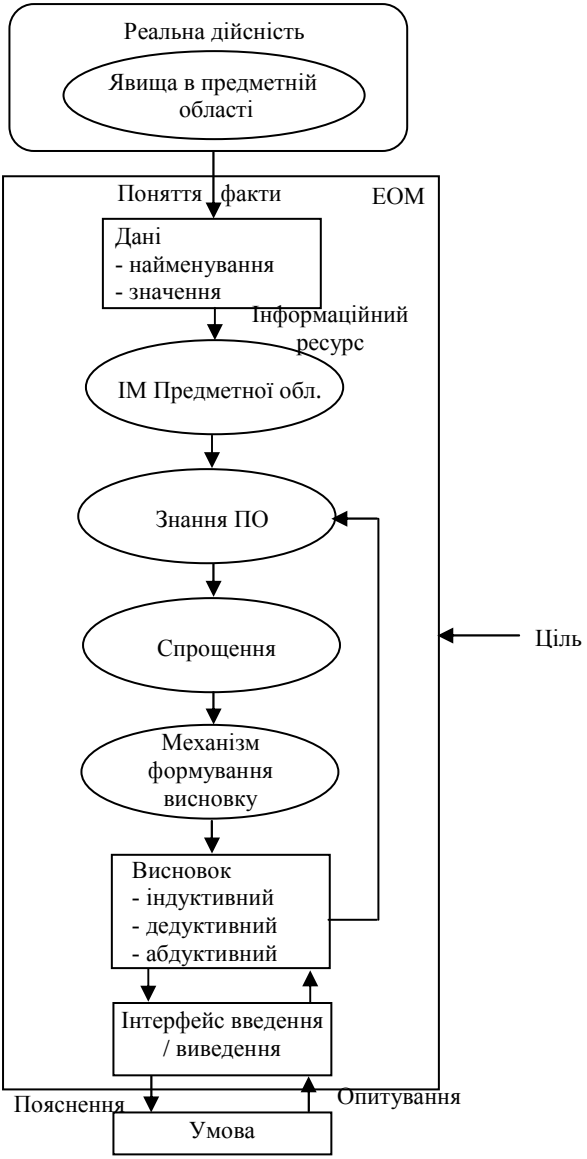


Рис. 7.3. – Структура штучного інтелекту

Значення відображає конкретну характеристику ПРО, а найменування наділяє певним сенсом значення. Наприклад, вік: 19 років.

Знання — сукупність даних, що створюють цілісний опис, відповідний деякому рівню інформованості про описуваний елемент реальної дійсності. Змістовний сенс поняття знання зводиться до того, що знання відображають наше подання про предметну область і виражають систему понять, відносин залежностей між ними.

Знання — це результат процесу пізнання. Наприклад, знання закону Ома зводиться до залежності: I=U/R=220/100=2.2A, що виражається через поняття: число, яке є відношення між поняттями R – опір - 100 Ом; I сила струму - 2.2 А; U — напруга - 220 В.

Спрощення — вибір правильної реакції на конкретну ситуацію.

Механізм висновку - це сукупність правил формування висновку і алгоритму застосування цих правил.

Висновок - отримання нових даних і знань з раніше відомих. Як відомо, висновок може бути індуктивним (від особистісного до загального), дедуктивним (від загального до особистісного), а також абдуктивним (від особистісного до особистісного).

Інтерфейс введення/виведення - це спосіб спілкування людини з машиною. Це когнітивне (інформативне) вікно для людини в світ машини. Через це вікно ведеться опитування і пояснення.

Для створення штучного інтелекту вже достатньо обчислювальної потужності сучасних комп'ютерів. Але необхідна особлива структура оперативної пам'яті. Що собою являє, звична для користувача комп'ютера, оперативна пам'ять? Це мікросхеми побудовані з елементів пам'яті, кожний з котрих має свою адресу (координати) і містить 1, або 0. На обробку кожного елементу пам'яті: запис, стирання, читання процесор виділяє окремі цикли.

А чи так само працює мисль (людський мозок)? Поява, зміна і знищення інформації в ній звичайно зв'язана з часом. Але обчислювальна потужність „людського процесора", тобто робота мозку, направлена на обробку зовнішніх дій, а пошук інформації в статичній (збереженій) пам'яті при цьому проблем з ресурсами не має.

Інформація в нашій оперативній пам'яті не піддається обчислювальному процесу, а видозмінюється під впливом зовнішніх чинників безпосередньо, «проїхала червона машина», «захворіла спина», «треба відповісти на лист від друга». У машинному коді ці думки займають різний об'єм пам'яті. У людському - один блок. Різний рівень інтелектуальних здібностей у людей, мабуть, пов'язаний з розмірами цього блоку. Більше блок – легше осмислення крупного масиву інформації, швидше пошук в збереженій пам'яті.

Дійсно наші спогади спливають поступово, як би відновлюючи багатовимірний безперервний функціонал, що зберігається в одному з блоків нашої пам'яті і містить повний об'єм інформації про деяку подію, хоча з певним суб'єктивізм. За асоціацією мозок знаходить відповідний елемент пам'яті і викликає спогад. При декількох схожих асоціаціях спливає декілька спогадів і мозок ухвалює рішення, за допомогою свідомості, яке з них відповідає потрібному.

Все вже, напевно, чули про електромеханічних слуг в Японії, здатних дізнаватися господаря в обличчя, виконувати деякі прості команди і що мають деяку здібність до навчання.

У подібному розвитку області штучного інтелекту немає нічого незвичайного. Тут доречно привести гіпотезу про стрічну еволюцію людини і комп'ютера: людина спочатку вчитися бачити, ходити, розмовляти, а вже потім розвиває здібності до обчислень і логічних висновків. Комп'ютер же навпаки, народжується як обчислювальна система, що базується на формальній логіці, в процесі розвитку набуває здібностей до розпізнавання образів, синтезу мови і управління в реальному часі.

В даний час розрізняють два основні підходи до моделювання штучного інтелекту:

- ***машинний інтелект***, що полягає в строгому завданні результату функціонування;
- ***штучний розум***, направлений на моделювання внутрішньої структури системи.

Розділення робіт за штучним інтелектом на два напрями пов'язане з існуванням двох точок зору на питання, яким чином будувати системи штучного інтелекту. Прихильники однієї точки зору переконані, що «найважливіше результат», тобто хороший збіг поведінки штучно створених і природних інтелектуальних систем. А що стосується внутрішніх механізмів формування поведінки, то розробник штучного інтелекту зовсім не повинен копіювати або навіть враховувати особливості природних, живих аналогів.

Цей напрям розглядає продукт інтелектуальної діяльності людини, вивчає його структуру, і прагне відтворити цей продукт засобами сучасної техніки. Моделювання систем машинного інтелекту досягається за рахунок використання законів формальної логіки, теорії множин, графів, семантичних мереж і інших досягнень науки в області дискретних обчислень. Основні результати полягають в створенні експертних систем, систем розбору природної мови і простих систем управління вигляду «стимул-реакція». Ясно, що успіхи цього напряму штучного інтелекту виявляються тісно зв’язані з розвитком можливостей ЕОМ і мистецтва програмування, тобто з комп'ютерними науками.

Інша точка зору полягає в тому, що саме вивчення механізмів природного мислення і аналіз даних про способи формування розумної поведінки людини можуть створювати основу для побудови систем штучного інтелекту, причому побудова ця повинна здійснюватися перш за все як моделювання, відтворення технічними засобами принципів і конкретних особливостей функціонування біологічних об'єктів.

Другий напрям штучного інтелекту розглядає дані про нейрофізіологічні і психологічні механізми інтелектуальної діяльності і, в більш ширшому плані, розумної поведінки людини. Воно прагне відтворити ці механізми за допомогою тих або інших технічних пристроїв, з тим щоб «поведінка» таких пристроїв добре співпадала з поведінкою людини в певних межах, що наперед задаються. Розвиток цього напряму тісно пов'язаний з успіхами наук про людину. Для нього характерне прагнення до відтворення ширшого, ніж в машинному інтелекті, спектру проявів розумної діяльності людини. Системи штучного розуму базуються на математичній інтерпретації діяльності нервової системи на чолі з мозком людини і реалізуються у вигляді нейроподібних мереж на базі нейроподібного елементу. Розглянемо це докладніше.

Зауваження. Мозок містить близько 100 мільярдів нейронів, кожний з яких має в середньому 10 000 зв'язків. При цьому мозок надзвичайно надійний: щодня гине велика кількість нейронів, а мозок продовжує функціонувати. Обробка величезних об'ємів інформації здійснюється мозком дуже швидко, за долі секунди, не дивлячись на те, що нейрон є повільнодіючим елементом з часом реакції не менші декілька мілісекунд.

Нервові клітини, або ***нейрони***, є особливим видом кліток в живих організмах, що володіють електричною активністю, основне призначення яких полягає в оперативному управлінні організмом. Нейрон (нервова клітина) складається з тіла клітки - соми (soma), і двох типів зовнішніх деревовидних відростків: аксона (axon) і дендритів (dendrits).

Тіло клітки містить ядро (nucleus), де знаходиться інформація про властивості нейрона, і плазму, яка виробляє необхідні для нейрона матеріали. Нейрон отримує сигнали (імпульси) від інших нейронів через дендрити (приймачі) і передає сигнали, що генеруються тілом клітки, уздовж аксона (передавач), який в кінці розгалужується на волокна (strands). На закінченнях волокон знаходяться синапси (synapses). Вихідний сигнал проходить за гілками аксона і досягає синапсів, які з'єднують аксони з дендритними деревами інших нейронів (рис. 7.4).

Робота формального нейрона може бути описана рівнянням:

$$Y_j = F(net_j - K_j)$$

$$net_j = \sum \omega_{ji} X_i$$

де **j** – номер нейрона в мережі

X_i – вхідні сигнали

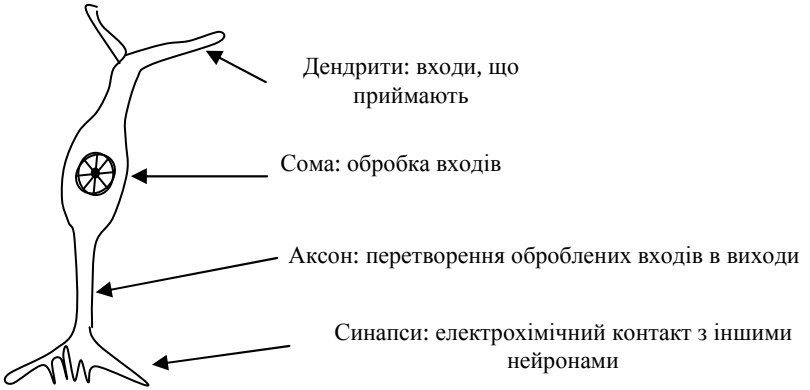
Y_j – вихідний сигнал нейрона

ω_{ji} – ваги синапсів

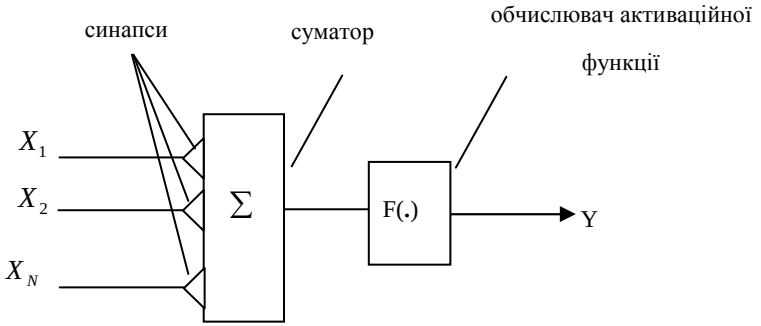
net_j – сумарна вхідна дія на нейрон, що визначає рівень збудження нейроподібного елементу

K_j – поріг нейрона

F(.)–активаційна функція.



а)



б)

Рис. 7.4. - Схеми біологічного (а) і формального (б) нейронів.

Активаційна функція характеризує реакцію нейрона на вхідну дію net_j, вона може бути пороговою (рис. 7.5):

$$F(.) = \begin{cases} 1, & K_j > \theta \\ 0, & K_j \le \theta \end{cases},$$

або деякою безперервною, наприклад, лінійною:

$$F(a) = ka\ ,$$

або логістичною:

$$F(a) = 1/[1+exp(-a)].$$

Залежно від алгоритму, що реалізовується, на допустимі значення входів і виходів нейрона накладаються певні обмеження: значення X_i і Y_j можуть бути бінарними (тобто рівними 0 або 1), бінарними біполярними (+1 або -1), такими, що належать інтервалу (0,1), ненегативними або дійсними. Аналогічні обмеження накладаються на ваги синапсів нейронів ω_{ji} .

Нейроподібний елемент є пороговий елемент. На входах нейрона є збудливі і гальмуючі синапси, в нейроні визначається зважена сума (з урахуванням вагових коефіцієнтів синапсів) вхідних сигналів, при перевищенні цією сумою порогу нейрона виробляється вихідний сигнал.

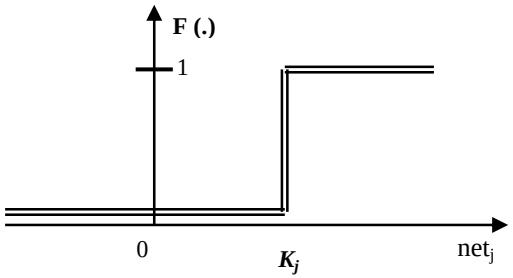


Рис. 7.5. Активаційна функція

Синапс є функціональним вузлом між двома нейронами (волокно аксона одного нейрона і дендрит іншого). Коли імпульс досягає синаптичного закінчення, виробляються хімічні речовини, що мають назву нейротрансмітери.

Нейротрансмітери проходять через синоптичну щілину, і залежно від типу синапсу, порушують або гальмують здатність нейрона-приймача генерувати електричні імпульси. Результативність синапсу настроюється сигналами, що проходять через нього, тому синапси навчаються залежно від активності процесів, в яких вони беруть участь. Нейрони взаємодіють за допомогою короткої серії імпульсів. Повідомлення передається за допомогою частотно-імпульсної модуляції.

Нейроподібні мережі останнім часом є одним з найперспективніших напрямів в області штучного інтелекту. Вони застосовуються для розпізнавання образів, аналізу і синтезу мови, перекладу з однієї мови на іншій і прогнозування. Також нейроподібні мережі застосовуються для створення віртуальних секретарів, віртуальних осіб, інформаційних копій людини, місцем існування яких є глобальна мережа Інтернет.

На підставі вищевикладеного можна зробити висновок про те, що основні напрями штучного інтелекту пов'язані з моделюванням. У разі машинного інтелекту ми маємо справу з моделюванням феноменологічним, імітаційним, а у разі штучного розуму – з моделюванням структурним.

Центральні завдання штучного інтелекту полягають в тому, що б зробити ЕОМ кориснішими і щоб зрозуміти принципи, лежачі в основі природного інтелекту.

Можна умовно виділити декілька областей застосування систем штучного інтелекту:

- Доведення теорем;
- Ігри;
- Розпізнавання образів;
- Прийняття рішень;
- Адаптивне програмування;
- Створення машинної музики;
- Обробка даних на природній мові;
- Мережі, що навчаються (нейромережі);
- Вербальне концептуальне навчання.

7.3. Функціональна структура системи штучного інтелекту

Поява мікропроцесорів високої продуктивності і з великою місткістю пам'яті, можливість організації локальних мереж для реалізації паралельних обчислень, з одного боку і необхідність обробки значних масивів інформації із застосуванням бази знань для формування цілеспрямованої діяльності – з іншою, привели до створення систем штучного інтелекту.

Під ***системою штучного інтелекту*** (СШІ) розумітимемо об'єднану інформаційним процесом сукупність технічних засобів і програмного забезпечення, що працює, як у взаємозв'язку з людиною (колективом людей) так і автономно, що здатна на основі відомостей і знань за наявності мотивації синтезувати мету, виробляти рішення про дію і знаходити раціональні способи досягнення мети.

Поставимо завдання зі створення моделі СШІ.

Структура системи штучного інтелекту повинна містити такі основні елементи (блоки), як (рис.7.6):

- динамічна експертна система (ДЕС), що включає базу знань (БЗ), блок експертної оцінки (БЕО) і блок оцінки стану (БОС);
- блок прийняття рішення (БПР);
- блок вироблення управління (БВрУ), що включає блок виконання управління (БВкУ);
- блок формування мети;
- блок, що характеризує дію навколишнього середовища на СШІ.

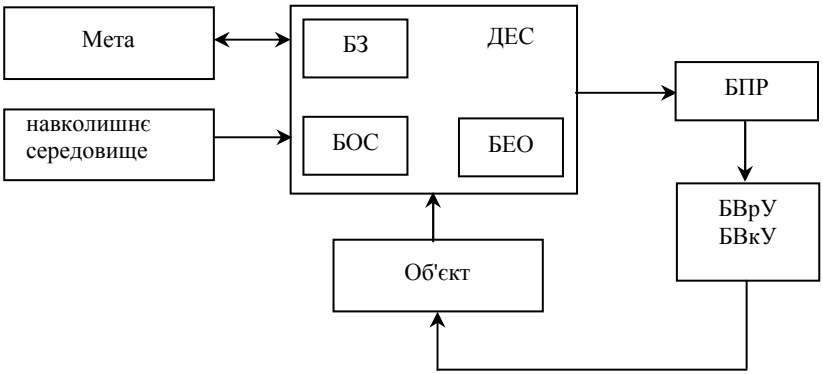


Рис. 7.6. Структура системи штучного інтелекту

Структурну схему системи штучного інтелекту можна представити у вигляді функціональної схеми, що безпосередньо використовується в завданні синтезу таких систем (рис. 7.7). Тут:

ІП - інтелектуальний перетворювач, що є деяким розширеним елемент (блок) СШІ, що включає ДЕС і БПР;

$\boldsymbol{\omega}$ - вектор обурення;

$\dot{\boldsymbol{z}}$ - сигнал моделі об'єкту;

$\boldsymbol{\varphi}$ - сигнал мети;

$\boldsymbol{Y}$ - вектор стану інтелектуального перетворювача.

У загальному випадку під інтелектуальним перетворювачем розуміється деякий пристрій, який на основі інформації про вхідні сигнали $\boldsymbol{\omega}$, $\boldsymbol{\varphi}$, $\dot{\boldsymbol{z}}$, $\boldsymbol{y}$ і $\boldsymbol{u}$ формує сигнал вектора стану інтелектуального перетворювача $\boldsymbol{Y}$. Сигнал $\boldsymbol{Y}$ визначає закон управління об'єктом і вигляд БВрУ, що синтезу-

ється, а також несе інформацію, що дозволяє формувати закони управління достатньо довільного вигляду.

Сигнал моделі об'єкту $\dot{z}$ містить інформацію про поточну зміну структури і параметрів об'єкту. Сигнал мети φ містить інформацію про поточний стан мети.

У достатньо загальному випадку можна вважати, що об'єкт описується рівнянням у вигляді вектор-функції:

$$\tilde{X} = f(x, \dot{z}, \omega, t, u).$$

Причому

$$\dot{z} = z^0 + z$$

де z^0 - контрольована (задана) складова вектора параметрів об'єкту (у загальному випадку $z^0 = z^0(t)$)

z - неконтрольована (невідома) складова, інформація про яку визначається на основі тих або інших методів ідентифікації і дозволяє формувати сигнал моделі $\dot{z}$.

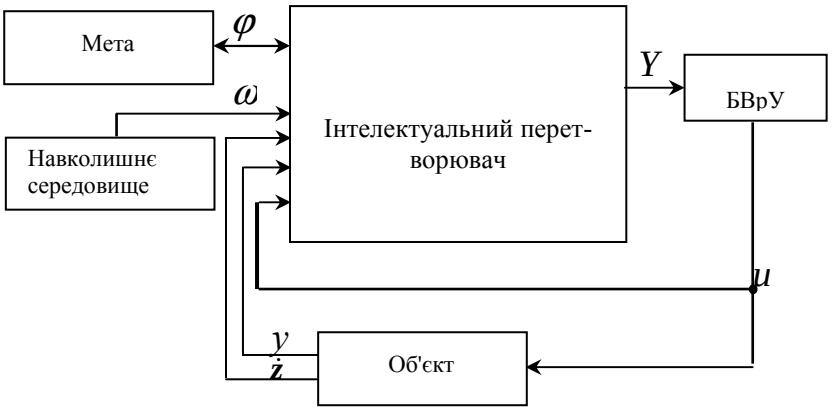


Рис. 7.7. Функціональна структура системи штучного інтелекту

Можна вважати, що інтелектуальний перетворювач є деяким логіко - динамічним пристроєм, що обробляє поточну інформацію, яка поступає на нього, і що формує сигнал Y у реальному часі. У інтелектуальному перетворювачі реалізується співвідношення:

$$Y = F(x, u, \omega, j, z),$$

де ***F( )*** - деякий оператор інтелектуального перетворення, відповідно до якого формується вектор ***Y***. Цей вектор визначає залежно від заданої мети, стану навколишнього середовища і стана системи - дії над об'єктом управління, що направлені на досягнення мети функціонування системи.

Вважатимемо, що інтелектуальний перетворювач в кожен момент часу формує поточну мету управління об'єктом, відповідно до якої ставиться конкретне поточне завдання за управлінням об'єктом.

БВрУ формує необхідний алгоритм управління, що забезпечує виконання поточної мети. Таким чином, в кожен момент часу вектор стану перетворювача ***Y*** містить інформацію, що дозволяє поставити і вирішити задачу за поточним управлінням об'єкту.

Модель системи штучного інтелекту можна вважати побудованою в тому випадку, якщо визначені класи операторів, на яких слід вибирати оператора ***F*** інтелектуального перетворювача.

Розглянемо загальну структурну схему системи штучного інтелекту (рис. 7.8). На підставі відомостей про навколишнє середовище і власний стан системи за наявності пам'яті і мотивації відбувається синтез мети, яка на ряду з іншими даними сприймається динамічною експертною системою.

Динамічна експертна система з використанням бази знань проводить експертну оцінку, на підставі якої приймається рішення про дію і прогнозуються результати дії.

Відповідно до прийнятого рішення виробляється управління, тобто синтезується той або інший алгоритм управління, який реалізується за допомогою різних виконавських органів і впливає безпосередньо на об'єкт управління змінює його стан у бажаному напрямі.

Результати цієї дії порівнюються з прогнозованими (механізм зворотного зв'язку). При невідповідності результатів заданим вимогам за результатами нової експертної оцінки приймається рішення, виробляється і реалізується управління, що знімає цю невідповідність. При відповідності результатів заданим вимогам підкріплюється попереднє управління. Якщо відповідність недосяжна, то уточнюється мета.

Динамічна експертна система виконує розрахунок, оптимізацію, прогноз і моделювання результатів, тому повинна володіти високою швидкодією. Потенціал, накопичений при розробці алгоритмів прийняття рішень і виробленні управління, може успішно використовуватися в інтелектуальних системах, проте буде потрібно розпаралелювання алгоритмів і їх реалізацію і, звичайно, не виключається синтез нових, ефективних паралельних алгоритмів.

Джерелом обурюючої дії для інтелектуальної системи є навколишнє середовище, тому функціонування системи повинне забезпечити зрештою

компенсацію цієї дії. Отже однією з фундаментальних проблем теорії інтелектуальних систем є розробка адекватних живій природі адаптивних математичних моделей.

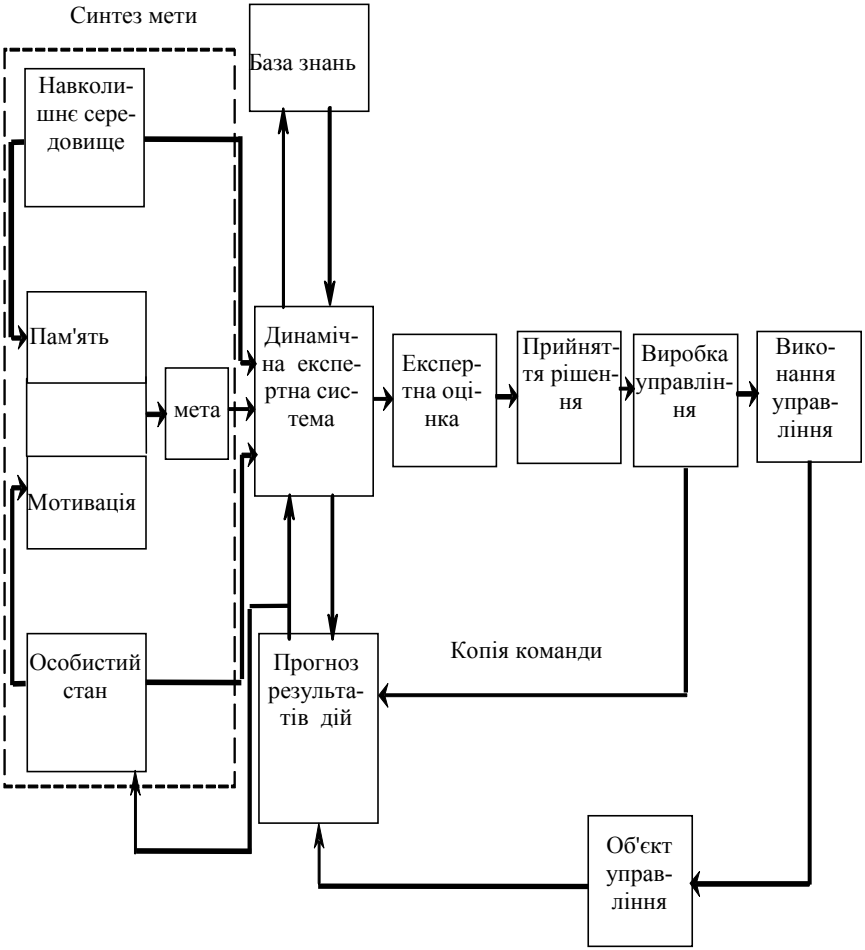


Рис. 7.8. Загальна структурна схема системи штучного інтелекту

Представляє значний інтерес побудова моделі синтезу мети. прийняття рішення до дії супроводжується формуванням програми дії з одночасним прогнозом результату. Це найважливіший феномен, пов'язаний з фун-

кціонуванням інтелектуальної системи, - коли в кінці процесу виходить результат, який вже на початку цього процесу був в її уявленні.

Мета в інтелектуальних системах виступає і як мета, і як системоутворюючий чинник, що забезпечує взаємодію окремих елементів системи так, щоб досягалася мета. При цьому результати дії порівнюються з прогнозованими, тобто має місце зворотний зв'язок. У традиційному сенсі тут ми стикаємося з проблемами структурного синтезу систем, забезпечення стійкого функціонування за рахунок вибору раціонального управління.

7.4. Застосування нейронних мереж в системах управління

Програмні технології, що використовуються в системах управління, можуть бути підрозділені на традиційні, такі, що використовують звичайні обчислювальні процедури, і ті що підпадають під визначення «систем штучного інтелекту», або інтелектуальних систем. Типовими прикладами останніх є експертні системи і штучні нейронні мережі (ШНМ).

Існує ряд завдань управління, в яких інформація про об'єкт може бути неповною, неточною або нечіткою, коли застосування традиційних обчислювальних алгоритмів стає проблематичним і не дає бажаного результату, Крім того, зв'язок між вхідними і вихідними параметрами може бути настільки складний, що моделювання в традиційному сенсі стає малоефективним, а деколи просто неможливим. У таких ситуаціях бажаний результат може принести застосування нейромережевих технологій. Найбільший ефект використання нейромережевих технологій дає в таких областях, як розпізнавання образів, аналіз даних, моделювання і управління.

Подібно до біологічної нейронної системи штучні нейронні мережі є обчислювальною системою з величезним числом паралельно функціонуючих простих процесорів з безліччю зв'язків. Моделі ШНМ в деякій мірі відтворюють "організаційні" принципи, властиві мозку людини. Моделювання біологічної нейронної системи з використанням штучних нейронних мереж може також сприяти кращому розумінню біологічних функцій.

Штучні нейронні мережі складаються з елементів, функціональні можливості, яких аналогічні більшості елементарних функцій біологічного нейрона. Ці елементи потім організовуються за способом, який може відповідати (або не відповідати) анатомії мозку. Не дивлячись на таку поверхневу схожість, штучні нейронні мережі демонструють дивовижне число властивостей, характерних мозку, Наприклад, вони навчаються на основі досвіду, узагальнюють попередні прецеденти на нові випадки і витягують істотні властивості з інформації, що поступає і містить зайві дані.

Глибоке вивчення штучних нейронних мереж вимагає знання нейрофізіології, науки про пізнання, психології, фізики (статистичної механіки), теорії управління, теорії обчислень, проблем штучного інтелекту, статистики, математики, розпізнавання образів, комп'ютерного зору, паралельних обчислень і апаратних засобів. З іншого боку, ШНМ також стимулюють ці дисципліни, забезпечуючи їх новими інструментами і уявленнями. Цей симбіоз життєво необхідний для досліджень за нейронними мережами.

Представимо деякі проблеми, що вирішуються в контексті штучних нейронних мереж і представляють інтерес для вчених і інженерів.

Класифікація образів. Завдання полягає у вказівці приналежності вхідного образу (наприклад, мовного сигналу або рукописного символу), представленого вектором ознак, одному або декільком заздалегідь певним класам. До відомих застосувань відносяться розпізнавання букв, розпізнавання мови, класифікація сигналу електрокардіограми, класифікація кліток крові.

Кластеризація. Алгоритм кластеризації заснований на подібності образів і розміщує близькі образи в один кластер. Відомі випадки застосування кластеризації для витягання знань, стиснення даних і дослідження властивостей даних.

Апроксимація функцій. Припустимо, що є повчальна вибірка $((x_1,y_1), (x_2,y_2),..., (x_n,y_n))$ (пари даних вхід-вихід), яка генерується невідомою функцією (x), що спотворена шумом. Завдання апроксимації полягає в знаходженні оцінки невідомої функції (x). Апроксимація функцій необхідна при рішенні численних інженерних і наукових задач моделювання.

Прогноз. Нехай задані n дискретних відліків $\{y(t_1), y(t_2)..., y(t_n)\}$ в послідовні моменти часу $t_1, t_2..., t_n$. Завдання полягає в прогнозі значення $y(t_n+1)$ в деякий майбутній момент часу t_n+1. Прогноз має значний вплив на прийняття рішень в бізнесі, науці і техніці. Прогноз цін на фондовій біржі і прогноз погоди є типовими додатками техніки прогнозу.

Оптимізація. Численні проблеми в математиці, статистиці, техніці, науці, медицині і економіці можуть розглядатися як проблеми оптимізації. Завданням алгоритму оптимізації є знаходження такого рішення, яке задовольняє системі обмежень і максимізує або мінімізує цільову функцію. Завдання комівояжера, є класичним прикладом завдання оптимізації.

Пам'ять, що адресується за змістом. У моделі обчислень фон Неймана звернення до пам'яті доступно тільки за допомогою адреси, яка не залежить від змісту пам'яті. Більш того, якщо допущена помилка в обчисленні адреси, то може бути знайдена абсолютно інша інформація. Асоціативна пам'ять, або пам'ять, що адресується за змістом, доступна за вказівкою заданого змісту. Вміст пам'яті може бути викликаний навіть за част-

ковим входом або спотвореному змісту. Асоціативна пам'ять надзвичайно бажана при створенні мультимедійних інформаційних баз даних.

Управління. Розглянемо динамічну систему, задану сукупністю ***{u(t), y(t)}***, де ***u(t)*** є вхідною дією, що управляє, а ***y(t)*** - виходом системи у момент часу ***t***. У системах управління з еталонною моделлю метою управління є розрахунок такої вхідної дії ***u(t)***, при якої система слідує за бажаною траєкторією, визначеною еталонною моделлю. Прикладом є оптимальне управління двигуном.

Штучні нейронні мережі можуть міняти свою поведінку залежно від впливу зовнішнього середовища. Після появлення вхідних сигналів відбувається самоналаштовування нейронної мережі, для забезпечення необхідної в даному випадку реакції. Навчання штучних нейронних мереж може вестися з вчителем або без нього. У першому випадку мережі пред'являються значення як вхідних, так і бажаних вихідних сигналів, і вона за деяким внутрішнім алгоритмом підстроює ваги своїх синаптичних зв'язків. У другому випадку виходи ШНМ формуються самостійно, а ваги змінюються за алгоритмом, що враховує тільки вхідні і похідні від них сигнали.

Існує велика кількість різних алгоритмів навчання, які, проте, ділять ся на два великі класи: детерміністські і стохастичні. У першому з них вибір вагових коефіцієнтів є жорсткою послідовністю дій, в другому – вона проводиться на основі дій, що підкоряються деякому випадковому процесу.

Ще одна класифікація ділить штучні нейронні мережі на синхронні і асинхронні. У першому випадку в кожен момент часу свій стан міняє лише один нейрон. У другому – стан міняється відразу у цілої групи нейронів, як правило, у всього шару. Алгоритмічно хід часу в ШНМ задається ітераційним виконанням однотипних дій над нею.

Також штучні нейронні мережі мають внутрішню властивість до деякої нечутливості, тобто невеликих змін вхідних сигналів, що дозволяє бачити образ крізь шум і перекручення. Це дозволяє подолати вимоги строгої точності інформації, яка поступає на обробку, що пред'являється до звичайних комп’ютерів. Важливо відзначити, що нейронна мережа робить узагальнення автоматично завдяки своїй структурі, а не за допомогою «людського інтелекту», представленого у формі спеціальних написаних комп'ютерних програм.

Традиційні програми виконуючи обчислення, реалізує крок за кроком алгоритм, поки не буде отриманий деякий результат. Проходження даних за нейронною мережею навпаки, не може бути наперед визначено унаслідок ієрархічної структури мережі і розподілення за зв'язкахми вагових коефіцієнтів. Крім того, вхідні дані можуть бути не повністю визначені або визначені нечітко, що в традиційних програмах не представляється мож-

ливим. Поставлена задача може бути вирішена ШНМ навіть якщо вхідна інформація не розглядалася раніше при навчанні, за умови, що дані не виходять за обмеження, які пред'являються до них. Нейронні мережі займають невеликий об'єм пам'яті, оскільки зберігається лише структура нейронної мережі. Нейронні мережі ідеально підходять для вирішення завдань управління, оскільки забезпечують завдяки паралельній структурі надзвичайно високу швидкість виконання операцій.

Для вирішення таких прикладних завдань, як прогнозування і видача рекомендацій (управління) на основі аналізу даних, можуть бути використані як експертні системи, так і нейронні мережі. Але основна перевага нейронних мереж полягає в можливості уникнути традиційної процедури програмування і збору інформації або знань за допомогою експертів або кінцевих користувачів.

При створенні експертних систем, навпаки, потрібно проводити «інтерв'ю» з експертами для отримання «правил» поведінки системи або об'єкту за певних умов, що вимагає значного часу і матеріальних вкладень і деколи не приносить бажаного ефекту, оскільки немає гарантії, що всі необхідні правила будуть отримані і що експертна система працюватиме в різних умовах.

Додаткова перевага нейронних мереж полягає в здатності виділяти загальні принципи (узагальнення) при пред'явленні деякого набору векторів з неповним набором даних (абстрагування).

Здатність нейронних мереж виділяти взаємозв'язки в експериментальних даних і досягати бажаного результату, на жаль, пов'язана з неможливістю прослідкувати, яким чином цей результат досягнутий. Тобто нейронна мережа є якщо не «чорний ящик», то, принаймні, ящик з напівпрозорими стінками. Проте, при порівнянні вхідних даних і відгуків нейронної мережі, деякі тенденції можна прослідкувати і отримати пояснення тієї або іншої поведінки нейромережі.

Не слід недооцінювати трудомісткості процедури навчання нейронної мережі. Набір повчальних векторів повинен бути складений так, щоб точно описати завдання і граничні умови навчання нейромережі. Так само як і при навчанні людини, саме якість прикладів, на яких проводиться навчання, визначає подальшу працездатність системи.

Найчастіше застосовуються 12-15 різних нейромережевих архітектур, що є варіаціями 6 основних парадигм. Найпопулярнішою з них є— архітектура мережі із зворотним розповсюдженням помилки. Мережі цього типу можуть працювати як з двійковими, так і з десятковими даними і можуть бути використані для вирішення ширшого, ніж у інших мереж, кола завдань.

Процес розробки нейронної мережі можна розділити на наступні ета-

пи:

- створення архітектури мережі;
- генерування і попередня обробка даних;
- навчання;
- тестування.

Штучна нейронна мережа може розглядатися як направлений граф із зваженими зв'язками, в якому штучні нейрони є вузлами. За архітектурою зв'язків ШНМ можуть бути згруповані в два класи: ***мережі прямого розповсюдження***, в яких графи не мають петель, і ***рекурентні мережі***, або мережі із зворотними зв'язками.

У найбільш поширеному сімействі мереж першого класу, що мають назву багатошарового перцептрона, тут нейрони розташовані шарами і мають однонаправлені зв'язки між шарами. Мережі прямого розповсюдження є статичними в тому сенсі, що на заданий вихід вони виробляють одну сукупність вихідних значень, не залежних від попереднього стану мережі. Рекурентні мережі є динамічними, оскільки через зворотні зв'язки в них модифікуються входи нейронів, що приводить до зміни стану мережі.

На рис. 7.9 зображена багатошарова мережа, яка може навчатися за допомогою процедури зворотного розповсюдження.

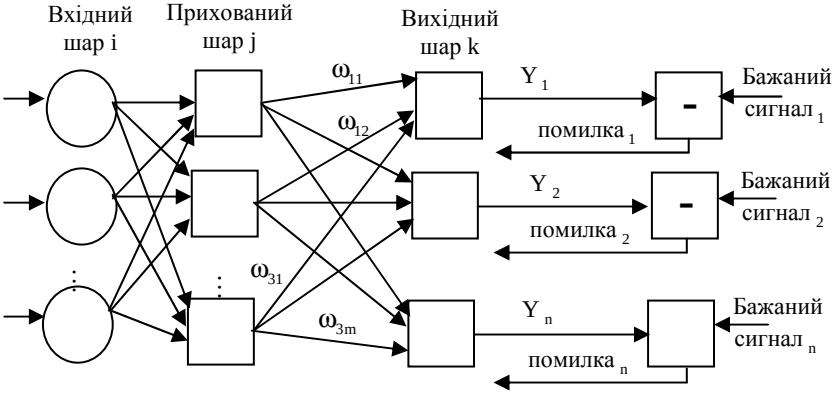


Рис. 7.9. Багатошарова штучна нейронна мережа

Процедура зворотного розповсюдження застосовна до мереж з будь-яким числом шарів, але традиційно розглядаються мережі, що містять вхідний, вихідний і прихований шар. Число нейронів у вихідному і вхідному шарах визначається відповідно кількістю виходів і входів системи. У зага-

льному випадку, ніж менше нейронів у вихідному шарі, тим швидше мережа навчається.

Число нейронів в прихованому шарі і число прихованих шарів визначається прикладним завданням, але найчастіше підбирається методом проб і помилок. Чим складніше зв'язок між вхідними і вихідними змінними, тим більше число нейронів в прихованому шарі необхідно передбачити.

При навчанні передбачається, що кожному вектору входу відповідає цільовий вектор виходу. Перед початком навчання вагам повинні бути привласнені невеликі початкові значення, вибрані випадковим чином.

Навчання мережі зворотного розповсюдження вимагає виконання наступних дій:

- Вибрати чергову пару з множини, що підлягає навчанню і подати вхідний вектор на вхід мережі.
- Обчислити вихід мережі.
- Обчислити різницю між значеннями виходу мережі і необхідними вихідними (цільовим вектором пари, що підлягає навчанню).
- Відкоригувати ваги мережі так, щоб мінімізувати помилку.
- Повторювати кроки 1-4 для кожного вектора множини, що підлягає навчанню до тих пір, поки помилка на всій множині не досягне прийнятного рівня.

Розглянемо, як приклад, нейронну мережу пошуку максимуму з прямими зв'язками з управлінням за обуренням (рис.7.10). Це багатошарова мережа з прямими зв'язками. Вхідні сигнали попарно порівнюються один з одним. Найбільший сигнал в кожній парі передається на наступний шар для подальших порівнянь. На виході мережі лише один сигнал має ненульове значення. Він відповідає максимальному сигналу на вході мережі.

У основі функціонування даної структури лежить нейромережевий компаратор, який виконує порівняння двох аналогових сигналів (x_1 і x_2) і видає на вихід z - значення максимального сигналу (x_1 або x_2). Нейрони, які помічені чорним кольором, мають жорсткі порогові функції, передавальні функції у решти нейронів є лінійні з насиченням. Розмірності вхідних і вихідних сигналів співпадають. Число шарів в мережі: приблизно $log2(M)$, де M - розмірність вхідного сигналу. Недоліком цієї структури є те, що число шарів мережі росте із збільшенням розмірності вхідного сигналу.

Нейронні мережі можуть бути використані для моделювання і управління різними системами і процесами. Функціональна схема апаратно-програмного комплексу АСУ ТП приведена на рис. 7.11.

Штучна нейронна мережа , що пройшла навчання в структурі системи управління розглядається як «нейроконтролер» з компактною базою даних. В нейроконтролері встановлені «приховані» зв'язки між вхідними

змінними і діями, що управляють, які компенсують відхилення показників якості при випадкових обуреннях за вхідними параметрами.

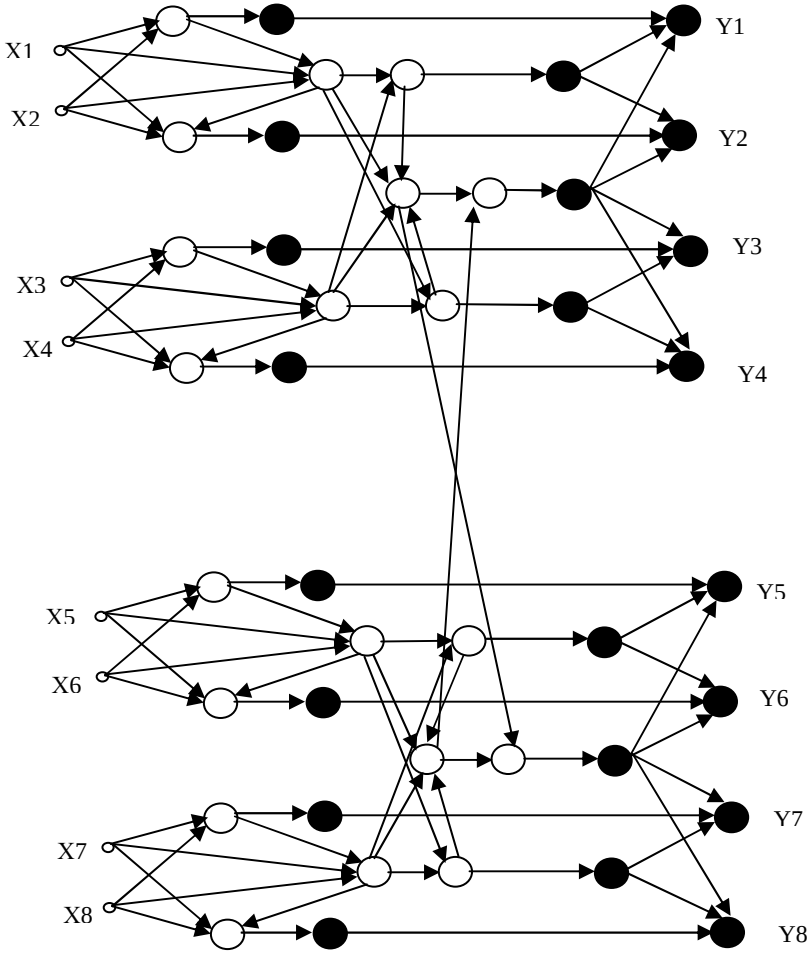


Рис.7.10. Мережа пошуку максимуму з управлінням за обуренням

Нейромережеві технології в даний час знаходяться на початковій стадії розвитку. Успішне продовження робіт в цій області пов'язане з розробкою нових методів побудови і навчання нейронних мереж. Поза сумнівом, експертні системи і нейронні мережі дозволяють досягти більших резуль-

татів, ніж традиційні обчислювальні засоби, але лише в деяких областях.

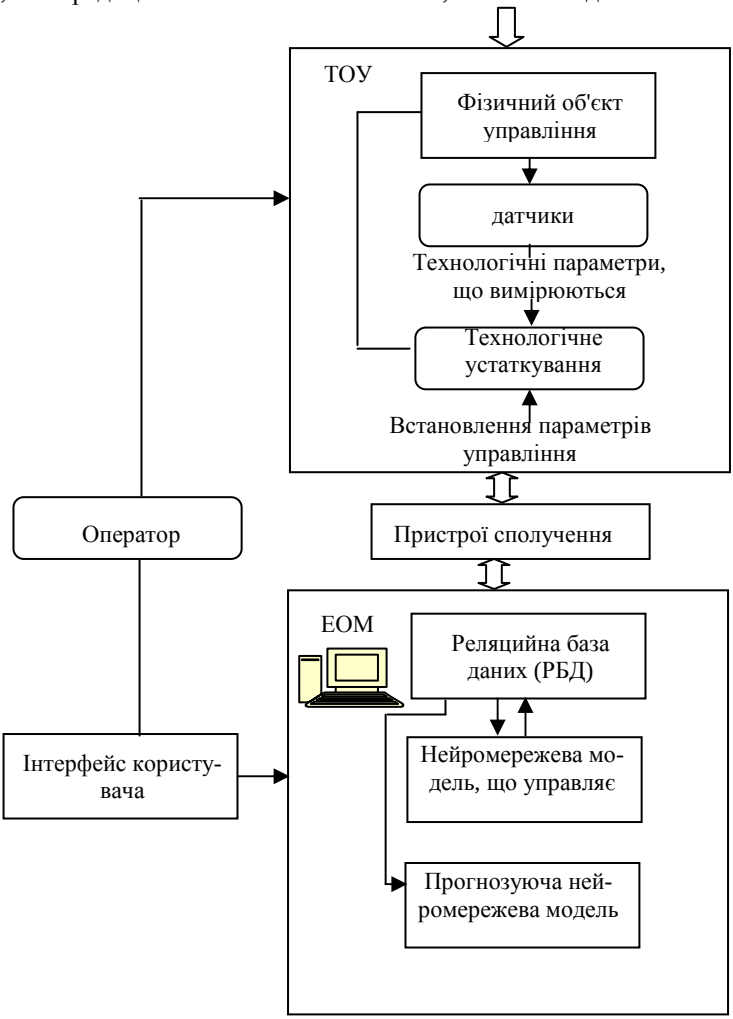


Рис 7.11. Функціональна схема апаратно-програмного комплексу АСУ ТП

Для завдань, в яких об'єкт або процес представлений чіткою математичною моделлю, традиційні методи поза сумнівом будуть мати переваги. Проте нейромережеві технології значно розширюють можливості створен-

ня інтелектуальних систем управління.

З неухильним зростанням масивів оброблюваної інформації і посилюванні вимог за роботою в реальному часі, що пред'являється до сучасних систем, що управляють, гостро встає питання про забезпечення проведення векторно-матричних операцій високої розмірності в реальному часі. Такі завдання здатні вирішити тільки обчислювальним системам з високим паралелізмом обробки інформації, до яких можна віднести нейрокомп'ютери.

Нейрообчислювальний пристрій - це система, функціонування якої в максимальному ступені орієнтоване на реалізацію нейромережевих алгоритмів. Основна відмінність нейрокомп'ютерів від інших обчислювальних систем - це забезпечення високого паралелізму обчислень за рахунок застосування спеціалізованого нейромережевого логічного базису або конкретних архітектурних рішень. Використання можливості подання нейромережевих алгоритмів для реалізації на нейромережевому логічному базисі є основною передумовою різкого збільшення продуктивності нейрокомп'ютерів.

Сьогодні найактивніше ведуться розробки цифрових нейрокомп'ютерів за наступними напрямах:

- програмна емуляція нейромережевих алгоритмів на основі використання звичайних обчислювальних засобів і прикладного програмного забезпечення за моделювання нейромереж;
- програмно-апаратна емуляція нейромереж на основі стандартних обчислювальних засобів з віртуальним нейромережевим блоком, що підключається, який виконує основні нейрооперації і прикладного програмного забезпечення, що здійснює функції загального управління;
- апаратна реалізація нейронних мереж.

Не дивлячись на те що найбільший ефект при реалізації нейромережевих алгоритмів вдається добитися з використанням нейрокомп'ютерів третього напряму, їх широке застосування обмежується високою вартістю. Наприклад, нейрокомп'ютер Synaps 1 - один з представників нейрокомп'ютерів третього напряму, має продуктивність близько декілька мільярдів множень і складань в секунду. Прикладні дослідження показали, що використання нейрокомп'ютерів третього напряму дозволяє підвищити продуктивність звичайних обчислювальних систем як мінімум на три порядки і моделювати нейромережі з мільйонами з'єднань. Так. наприклад, Synaps1 дозволяє моделювати нейромережу з 64 мільйонами синапсів з використанням різних активаційних функцій. З подальшим розвитком технології виробництва загальна вартість обчислювальних систем на основі нейромереж знижуватиметься, що приведе до розширення областей їх застосування

7.5. Експертні системи

На початку восьмидесятих років минулого сторіччя в дослідженнях заштучному інтелекту сформувався самостійний напрям, що отримав назву "Експертні системи" (ЕС). Для назви цього напряму часто використовують також термін "інженерія знань", що введений Е.Фейгенбаумом як "привнесення принципів і інструментарію досліджень з області штучного інтелекту у вирішення важких прикладних проблем, що вимагають знань експертів".

Експертна система — це система штучного інтелекту, що використовує знання з порівняно вузької наочної області для вирішення завдань, що виникають в ній, причому так, як це робив би експерт — людина, тобто в процесі діалогу із зацікавленими особами, що поставляють відомості з конкретного питання. ЕС здатні до інтелектуального діалогу з користувачем, що не вміє програмувати - особою що приймає рішення (ОПР). На основі накопичення і обробки спеціальних знань і правил прийняття рішення ЕС здатні: проводити експертизу; консультувати і давати рекомендації за вибором порядку дій; ставити діагноз і обґрунтовувати висновок при пошуку рішень неформалізованих завдань. Експертна система - підсилює інтелектуальну діяльність ОПР.

Можна виділити наступний перелік основних характеристик експертної системи. Будь-яка експертна система:

1. має обмежену наочну область (середовище дії);
2. здатна робити правильні висновки при нечітких даних;
3. дозволяє прослідкувати хід міркувань зрозумілим користувачеві способом;
4. має дані, знання і механізм висновку, які чітко відокремлені один від одного;
5. є відкритою системою, тобто кількість знань і даних може нарощуватися;
6. діє за визначеними наперед правилами;
7. має на виході логічний висновок в текстовій формі (звуковій), а не абстрактний результат;
8. дозволяє економити матеріальні і інформаційні ресурси, тобто економічно вигідна.

Прийнято вважати, що ЕС має корінну відмінність від простих програм для ЕОМ. Схематично це можна показати наступними схемами:

дані + алгоритм = програма ЕОМ

дані, знання + правила виводу = експертна система

Експертні системи призначені для так званих неформалізованих завдань, тобто ЕС не відкидають і не замінюють традиційного підходу до

розробки програм, орієнтованого на рішення формалізованих задач.

Неформалізовані завдання зазвичай володіють наступними особливостями:

- помилковістю, неоднозначністю, неповнотою і суперечністю початкових даних;
- помилковістю, неоднозначністю, неповнотою і суперечністю знань про проблемну область і вирішувану задачу;
- великою розмірністю простору рішення, тобто перебір при пошуку рішення вельми великий;
- даними, що динамічно змінюються, і знаннями.

Слід підкреслити, що неформалізовані завдання представляють великий і дуже важливий клас завдань. Багато фахівців вважають, що ці завдання є найбільш масовим класом завдань, вирішуваних ЕОМ.

Експертні системи і системи штучного інтелекту відрізняються від систем обробки даних тим, що в них в основному використовуються символьний (а не чисельний) спосіб подання, символьний висновок і евристичний пошук рішення (а не виконання відомого алгоритму).

Експертні системи застосовуються для вирішення тільки важких практичних (не іграшкових) завдань. За якістю і ефективністю рішення експертні системи не поступаються рішенням експерта-людини. Рішення експертних систем володіють "прозорістю", тобто можуть бути пояснені користувачеві на якісному рівні. Ця властивість експертних систем забезпечується їх здатністю міркувати про свої знання і висновки. Експертні системи здатні поповнювати свої знання в ході взаємодії з експертом. Необхідно відзначити, що в даний час технологія експертних систем використовується для вирішення різних типів завдань (інтерпретація, прогноз, діагностика, планування, конструювання, контроль, відладка, інструктаж, управління) в найрізноманітніших проблемних областях, таких, як фінанси, нафтова і газова промисловість, енергетика, транспорт, фармацевтичне виробництво, космос, металургія, гірська справа, хімія, освіта, целюлозно-паперова промисловість, телекомунікації і зв'язок і ін.

Типова ***статична експертна система*** складається з наступних основних компонентів (рис. 7.12.):

- вирішувача (інтерпретатора);
- робочої пам'яті (РП), яка також має назву бази даних (БД);
- бази знань (БЗ);
- компоненту придбання знань;
- пояснювального компоненту;
- діалогового компоненту.

База даних (робоча пам'ять) - призначена для зберігання початкових і

проміжних даних задачі, що вирішується у поточний момент. Цей термін співпадає за назвою, але не за сенсом з терміном, що використовується в інформаційно-пошукових системах (ІПС) і системах управління базами даних (СУБД) для позначення всіх даних (в першу чергу довгострокових), що зберігаються в системі.

База знань (БЗ) - призначена для зберігання довгострокових даних, що описують дану область (а не поточних даних), і правил, що описують дометані перетворення даних цієї області.

Вирішувач, використовуючи початкові дані з робочої пам'яті і знання з БЗ, формує таку послідовність правил, які, будучи застосованими до початкових даних, приводять до рішення задачі.

Компонент придбання знань - автоматизує процес наповнення ЕС знаннями, він здійснюється користувачем-експертом.

Пояснювальний компонент - пояснює, як система отримала рішення задачі (або чому вона не отримала рішення) і які знання вона при цьому використовувала, що полегшує експертові тестування системи і підвищує довіру користувача до отриманого результату

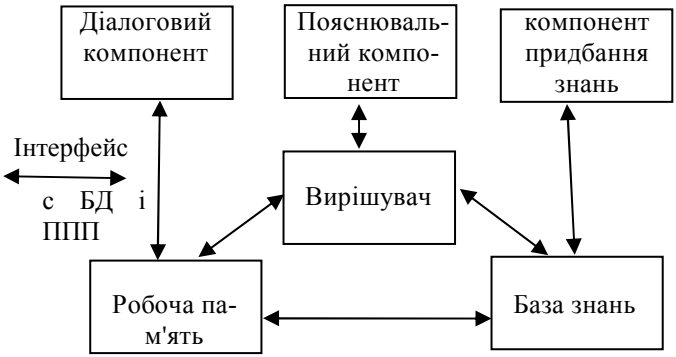


Рис. 7.12. Структура статичної ЕС

Діалоговий компонент - орієнтований на організацію дружнього спілкування з користувачем як в ході рішення задач, так і в процесі придбання знань і пояснення результатів роботи.

При розробці експертної системи залучаються представники наступних спеціальностей:

- експерт в проблемній області, задачі якої вирішуватиме ЕС;
- інженер за знаннями - фахівець з розробки ЕС ;

- програміст з розробки інструментальних засобів (ІЗ), призначених для прискорення розробки ЕС.

Експерт визначає знання (дані і правила), що характеризують проблемну область, забезпечує повноту і правильність введених в ЕС знань.

Інженер за знаннями допомагає експертові виявити і структурувати знання, необхідні для роботи ЕС; здійснює вибір того ІЗ, який найбільш підходить для даної проблемної області, і визначає спосіб подання знань в цьому ІЗ; виділяє і програмує (традиційними засобами) стандартні функції (типові для даної проблемної області), які використовуватимуться в правилах, що вводяться експертом.

Програміст розробляє ІЗ (якщо ІЗ розробляються наново), що містять всі основні компоненти ЕС, і здійснює їх сполучення з тим середовищем, в якому вони будуть використані.

Експертна система працює в двох режимах: режимі придбання знань і в режимі рішення задачі (режимі консультації або режимі використання ЕС).

У ***режимі придбання знань*** спілкування з експертною системою здійснюється (через посередництво інженера за знаннями) експертом. У цьому режимі експерт, використовуючи компонент придбання знань, наповнює систему знаннями, які дозволяють ЕС в режимі рішення самостійно (без експерта) вирішувати задачі з проблемної області. Експерт описує проблемну область у вигляді сукупності даних і правил. Дані визначають об'єкти, їх характеристики і значення, що існують в області експертизи. Правила визначають способи маніпулювання з даними, характерні для даної області.

Відзначимо, що режиму придбання знань в традиційному підході до розробки програм відповідають етапи алгоритмізації, програмування і відладки, що виконуються програмістом. Таким чином, на відміну від традиційного підходу у разі експертної системи розробку програм здійснює не програміст, а експерт (за допомогою ЕС), що не володіє програмуванням.

У ***режимі консультації*** спілкування з експертною системою здійснює кінцевий користувач, якого цікавить результат і спосіб його отримання. Необхідно відзначити, що залежно від призначення ЕС користувач може не бути фахівцем в даній проблемній області (в цьому випадку він звертається до експертної системи за результатом, не уміючи отримати його сам), або бути фахівцем (в цьому випадку користувач може сам отримати результат, але він звертається до ЕС з метою або прискорити процес отримання результату, або покласти на експертну систему рутинну роботу). У режимі консультації дані про завдання користувача після обробки їх діалоговим компонентом поступають в робочу пам'ять. Вирішувач на основі вхідних даних з робочої пам'яті, загальних даних про проблемну область і

правил з БЗ формує рішення задачі. ЕС при рішенні задачі не тільки виконує наказану послідовність операції, але і заздалегідь формує її. Якщо реакція системи не зрозуміла користувачеві, то він може зажадати пояснення:

Структуру, приведену на рис. 7.12, називають структурою статичної ЕС. Експертні системи даного типу використовуються в тих застосуваннях, де можна не враховувати зміни навколишнього середовища, що відбуваються за час рішення завдання. Перші експертні системи, що отримали практичне використання, були статичними.

На рис. 7.13 показано, що в архітектуру ***динамічної експертної системи*** в порівнянні із статичною ЕС вводяться два компоненти: підсистема моделювання зовнішнього середовища і підсистема зв'язку із зовнішнім оточенням. Остання здійснює зв'язки із зовнішнім середовищем через систему датчиків і контролерів. Крім того, традиційні компоненти статичної експертної системи (база знань і машина висновку) зазнають істотні зміни, щоб відобразити часову логіку подій, що відбуваються в реальному середовищі. Підкреслимо, що структура ЕС, представлена на рис. 7.12 і 7.13, відображає тільки основні компоненти (функції).

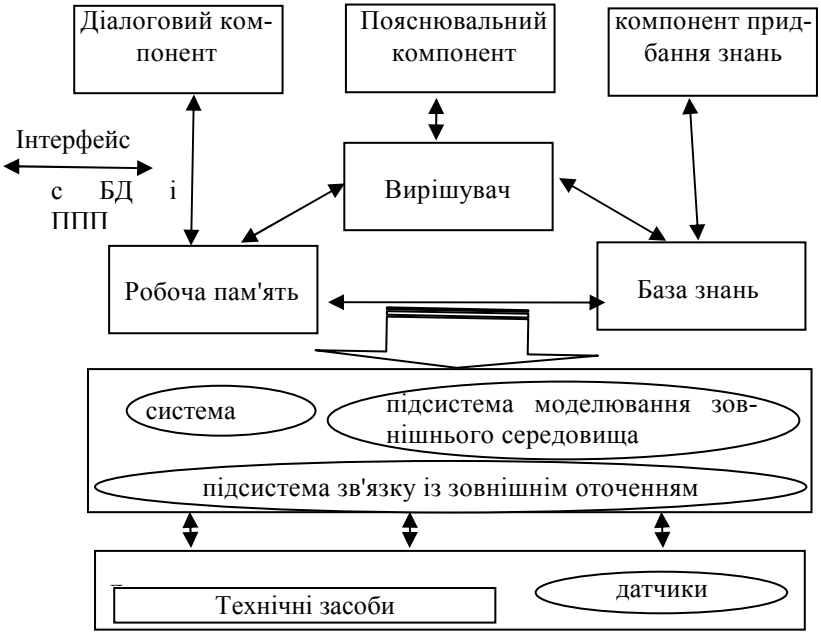


Рис. 7.13. Структура динамічної ЕС

Таким чином узагальнена структурна схема експертної системи може бути представлена у наступному вигляді (рис. 7.14).

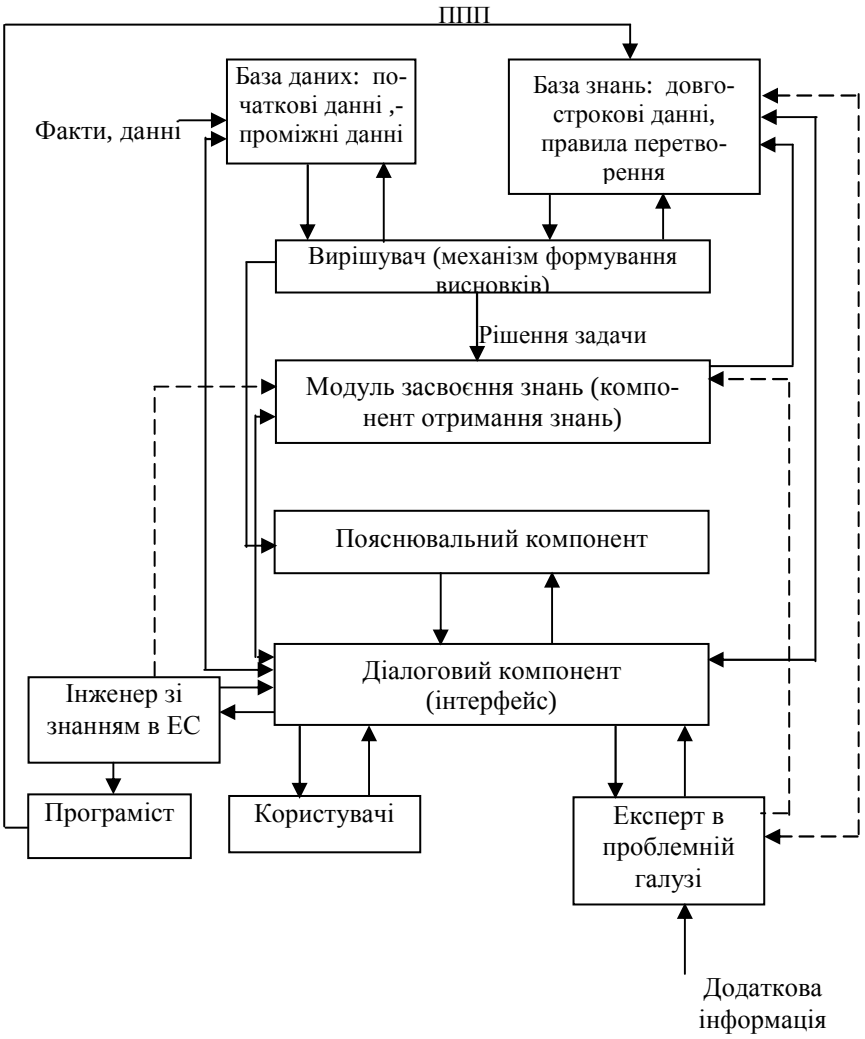


Рис. 7.14. – Узагальнена структурна схема

Розробка експертної системи має істотні відмінності від розробки звичайного програмного продукту. Досвід створення ЕС показав, що використання при їх розробці методології, прийнятої в традиційному програмуванні, або надмірно затягує процес створення ЕС, або взагалі приводить до негативного результату.

Застосування експертної системи може бути виправдане одним з наступних чинників:

- рішення задачі принесе значний ефект, наприклад економічний;
- використання людини-експерта неможливе або через недостатню кількість експертів, або із-за необхідності виконувати експертизу одночасно в різних місцях;
- коли при передачі інформації експерту відбувається неприпустима втрата часу або інформації;
- необхідність вирішувати задачу в оточенні, ворожому для людини.

Також застосування експертної системи дометано, якщо задача, що вирішується має сукупність наступних характеристик:

- задача може бути природним чином вирішена за допомогою маніпуляції з символами (тобто, за допомогою символічних міркувань), а не маніпуляцій з числами, як прийнято в математичних методах і в традиційному програмуванні;
- завдання повинне мати евристичну, а не алгоритмічну природу, тобто її рішення повинне вимагати застосування евристичних правил. Завдання, які можуть бути гарантовано вирішені (з дотриманням заданих обмежень) за допомогою деяких формальних процедур, не підходять для експертних систем;
- завдання повинне бути достатньо складне, щоб виправдати витрати на розробку ЕС. Проте вона не повинна бути надмірно складною (рішення займає у експерта години, а не тижні), щоб експертна система могла її вирішувати;
- завдання повинне бути достатньо вузьким і практично значущими, щоб вирішуватися методами експертної системи.

В ході робіт із створення експертної системи розроблена певна технологія їх побудови, що включає шість наступних етапів (рис. 7.15): ідентифікацію, концептуалізацію, формалізацію, виконання, тестування, дослідну експлуатацію.

На етапі ***ідентифікації*** визначаються завдання, які підлягають рішенню, виявляються цілі розробки, визначаються експерти і типи користувачів.

На етапі ***концептуалізації*** проводиться змістовний аналіз проблемної області, виявляються поняття, що використовуються і їх взаємозв'язки,

визначаються методи рішення задач.

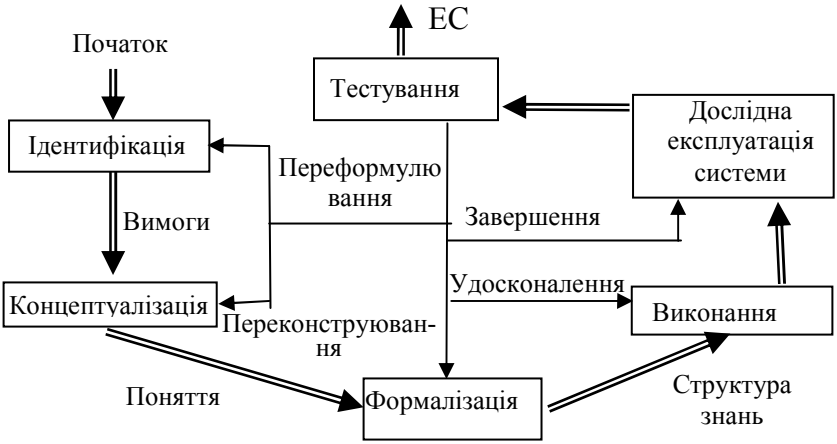


Рис. 7.15. Технологія розробки експертної системи

На етапі ***формалізації*** вибираються ІЗ і визначаються способи подання всіх видів знань, формалізуються основні поняття, визначаються способи інтерпретації знань, моделюється робота системи, оцінюється адекватність цілям системи зафіксованих понять, методів рішень, засобів подання і маніпулювання знаннями.

На етапі ***виконання*** здійснюється наповнення експертом бази знань. У зв'язку з тим, що основою експертної системи є знання, даний етап є найбільш важливим і найбільш трудомістким етапом розробки. Процес придбання знань розділяють на отримання знань від експерта, організацію знань, що забезпечує ефективну роботу системи, і подання знань у вигляді, зрозумілому експертній системі. Процес придбання знань здійснюється інженером за знаннями на основі аналізу діяльності експерта за рішенням реальних завдань.

Важливим завданням, яке треба вирішити при представленні знань в експертній системі, - це визначення складу знань, тобто визначення того, "що представляти". Друге завдання стосується того, "як представляти" знання.

Завдання "як представляти знання" можна розділити на два в значній мірі незалежні завдання: як організувати (структурувати) знання і як представити знання у вибраному формалізмі.

Прагнення виділити організацію знань в самостійне завдання викликане, зокрема, тим, що це завдання виникає для будь-якої мови сприйняття

і способи рішення цієї задачі є однаковими (або схожими) незалежно від використовуваного формалізму.

Отже, в круг завдань, що вирішуються при представленні знань, включатимемо наступні:

- визначення складу знань, що представляються;
- організація знань;
- подання знань, тобто визначення моделі сприйняття. Склад знань експертної системи визначається наступними чинниками:
- проблемним середовищем;
- архітектурою експертної системи;
- потребами і цілями користувачів;
- мовою спілкування.

Відповідно до загальної схеми статичної експертної системи (рис. 7.12) для її функціонування потрібні наступні знання:

- знання про процес рішення завдання (знання, що управляють), ці знання використовуються інтерпретатором (вирішувачем);
- знання про мову спілкування і способи організації діалогу (використовуються лінгвістичним процесором (діалоговим компонентом));
- знання про способи подання і модифікації знань (використовуються компонентом придбання знань);
- підтримуючі структурні знання і знання, що управляють (використовуються пояснювальним компонентом).

Для динамічної експертної системи, крім того, необхідні наступні знання:

- знання про методи взаємодії із зовнішнім оточенням;
- знання про модель зовнішнього світу.

З урахуванням архітектури експертної системи знання дометано ділити на ті, що інтерпретуються і ті, що не інтерпретуються . До першого типу відносяться ті знання, які вирішувач здатний інтерпретувати. Решта всіх знань відноситься до другого типу. Вирішувач не знає їх структури і змісту. Якщо ці знання використовуються яким-небудь компонентом системи, то він не "усвідомлює" цих знань. Знання, що не інтерпретуються, підрозділяються на допоміжні знання, що зберігають інформацію про лексику і граматику мови спілкування, інформацію про структуру діалогу і підтримуючі знання. ***Допоміжні знання*** обробляються природно-мовною компонентою, але хід цієї обробки вирішувач не усвідомлює, оскільки цей етап обробки вхідних повідомлень є допоміжним для проведення експертизи. ***Підтримуючі знання*** використовуються при створенні системи і при виконанні пояснень. Підтримуючі знання виконують роль описів (обгрунтувань) як знань, що інтерпретуються, так і дій системи. Підтримуючі

знання підрозділяються на технологічні і семантичні. ***Технологічні*** підтримуючі знання містять дані про час створення описуваних ними знань, про автора знань і т.п. ***Семантичні*** підтримуючі знання містять смисловий опис цих знань. Вони містять інформацію про причини введення знань, про призначення знань, описують спосіб використання знань і ефект, який може бути отримано. Підтримуючі знання мають описовий характер.

Знання, що інтерпретуються, можна розділити на предметні знання, знання, що управляють, і знання про подання. ***Знання про подання*** містять інформацію про те, яким чином (у яких структурах) в системі представлені знання, що інтерпретуються.

Предметні знання містять дані про предметну область і способи перетворення цих даних при рішенні поставлених задач. Відзначимо, що за відношенням до предметних знань знання про подання і знання про управління є метазнаннями. У предметних знаннях можна виділити описувачі і власне предметні знання. Описувачі містять певну інформацію про предметні знання, таку, як коефіцієнт визначеності правил і даних, міри важливості і складності. Власне предметні знання розбиваються на факти і твердження, що виконуються. Факти визначають можливі значення суті і характеристик предметної області. Твердження, що виконуються містять інформацію про те, як можна змінювати опис предметної області в ході рішення задач. Кажучи іншими словами, твердження, що виконуються - це знання, які задають процедури обробки.

Знання, що управляють, можна розділити на фокусуючи і вирішальні. ***Фокусуючи знання*** описують, які знання слід використовувати в тій або іншій ситуації. Зазвичай фокусуючи знання містять відомості про найбільш перспективні об'єкти або правила, які дометано використовувати при перевірці відповідних гіпотез. У першому випадку увага фокусується на елементах робочої пам'яті, в другому - на правилах бази знань. ***Вирішальні знання*** містять інформацію, що використовується для вибору способу інтерпретації знань, відповідного до поточної ситуації. Ці знання застосовуються для вибору стратегій або евристик, найбільш ефективних для вирішення даного завдання.

Якісні і кількісні показники експертної системи можуть бути значно покращені за рахунок використання метазнань, тобто знань про знання. Метазнання не представляють деяку єдину суть, вони можуть застосовуватися для досягнення різної мети. Перерахуємо можливі призначення метазнань :

1) метазнання у вигляді стратегічних метаправил використовуються для вибору релевантних правил ;

2) метазнання використовуються для обґрунтування доцільності за-

стосування правив з області експертизи;

3) метаправила використовуються для виявлення синтаксичних і семантичних помилок в предметних правилах;

4) метаправила дозволяють системі адаптуватися до оточення шляхом перебудови предметних правил і функцій;

5) метаправила дозволяють явно вказати можливості і обмеження системи, тобто визначити, що система знає, а що не знає.

Виділимо наступні аспекти проблеми організації знань:

- організація знань за рівнями подання і за рівнями детальності;
- організація знань в робочій пам'яті;
- організація знань в базі знань.

Для того, щоб експертна система могла управляти процесом пошуку рішення, була здатна набувати нових знань і пояснювати свої дії, вона повинна уміти не тільки використовувати свої знання, але і володіти здатністю розуміти і досліджувати їх, тобто експертна система повинна мати знання про те, як представлені її знання про проблемне середовище. Якщо знання про проблемне середовище назвати знаннями нульового рівня подання, то перший рівень подання містить метазнання, тобто знання про те, як представлені у внутрішньому світі системи знання нульового рівня. Перший рівень містить знання про те, які засоби використовуються для подання знань нульового рівня. Знання першого рівня грають істотну роль при управлінні процесом рішення, при придбанні і поясненні дій системи. У зв'язку з тим, що знання першого рівня не містять посилань на знання нульового рівня, знання першого рівня незалежні від проблемного середовища.

Число рівнів подання може бути більше двох. Другий рівень подання містить данні про знання першого рівня, тобто знання про подання базових понять першого рівня. Розділення знань за рівнями подання забезпечує розширення області застосовності системи.

Виділення рівнів детальності дозволяє розглядати знання з різним ступенем подробиць. Кількість рівнів детальності багато в чому визначається специфікою задач, що вирішуються, об'ємом знань і способом їх подання. Як правило, виділяється не менше трьох рівнів детальності, які відображають відповідно загальну, логічну і фізичну організацію знань. Введення декількох рівнів детальності забезпечує додатковий ступінь гнучкості системи, оскільки дозволяє проводити зміни на одному рівні, не зачіпаючи інші. Проте наявність різних рівнів перешкоджає розповсюдженню змін з одного рівня на інші.

Робоча пам'ять (РП) експертних систем призначена для зберігання даних, які можуть бути однорідні або розділятися на рівні за типами даних. Виділення рівнів ускладнює структуру експертної системи, але ро-

бить систему ефективнішої. Наприклад, можна виділити рівень планів і рівень даних предметної області (рівень рішень).

У сучасних експертних системах дані в робочій пам'яті розглядаються або як ізольовані. або як зв'язані. У першому випадку робоча пам'ять складається з безлічі простих елементів, а в другому - з одного або декількох (при декількох рівнях в РП) складних елементів (наприклад, об'єктів). При цьому складний елемент відповідає безлічі простих, об'єднаних в єдину суть.

Дані в робочій пам'яті в простому випадку є константами і змінними. При цьому змінні можуть трактуватися як характеристики деякого об'єкту, а константи - як значення відповідних характеристик. Якщо в робочій пам'яті потрібно аналізувати одночасно декілька різних об'єктів, що описують поточну проблемну ситуацію, то необхідно указувати, до яких об'єктів відносяться дані характеристики.

Показником інтелектуальності системи з погляду подання знань вважається здатність системи використовувати в потрібний момент необхідні (*релевантні*) знання. Системи, що не мають засобів для визначення релевантних знань, неминуче стикаються з проблемою "комбінаторного вибуху". Можна стверджувати, що ця проблема є однією з основних причин, що обмежують сферу застосування експертних систем. У проблемі доступу до знань можна виділити три аспекти:

- зв'язність знань і даних;
- механізм доступу до знань;
- спосіб зіставлення.

Зв'язність {агрегація) знань є основним способом, що забезпечує прискорення пошуку релевантних знань. Більшість фахівців прийшли до переконання, що знання слід організовувати навколо найбільш важливих об'єктів (суті) предметної області. Всі знання, що характеризують деяку суть, зв'язуються і представляються у вигляді окремого об'єкту. При подібній організації знань, якщо системі було потрібно інформацію про деяку суть, то вона шукає об'єкт, що описує цю суть, а потім вже усередині об'єкту відшукує інформацію про дану суть. У об'єктах дометано виділяти два типи зв'язок між елементами: зовнішні і внутрішні. Внутрішні зв'язки об'єднують елементи в єдиний об'єкт і призначені для виразу структури об'єкту. Зовнішні зв'язки відображають взаємозалежності, що існують між об'єктами в області експертизи. Зовнішні зв'язки можна класифікувати на логічні і асоціативні. Логічні зв'язки виражають семантичні відносини між елементами знань. Асоціативні зв'язки призначені для забезпечення взаємозв'язків, сприяючих прискоренню процесу пошуку релевантних знань.

Основною проблемою при роботі з великою базою знань є проблема пошуку знань, релевантних задачі, що вирішується. У зв'язку з тим, що в

даних, які оброблюються можуть не міститися явні вказівки на значення, потрібні для їх обробки, необхідно мати більш загальний механізм доступу, ніж метод прямого доступу (метод явних посилань). Завдання цього механізму полягає в тому, щоб за деяким описом суті, наявному в робочій пам'яті, знайти в базі знань об'єкти, що задовольняють цьому опису. Впорядкування і структуризація знань можуть значно прискорити процес пошуку.

Знаходження бажаних об'єктів в загальному випадку доречно розглядати як двох етапний процес. На першому етапі, що відповідає процесу вибору за асоціативними зв'язками, здійснюється попередній вибір в базі знань потенційних кандидатів на роль бажаних об'єктів. На другому етапі шляхом виконання операції зіставлення потенційних кандидатів з описами кандидатів здійснюється остаточний вибір об'єктів, що шукаються. При організації подібного механізму доступу виникають певні труднощі, що пов’язані з вибором критерію придатності кандидата, організацією роботи в конфліктних ситуаціях і т.п.

Операція зіставлення може використовуватися не тільки як засіб вибору потрібного об'єкту з безлічі кандидатів; вона може бути використана також для класифікації, підтвердження, декомпозиції і корекції. Для ідентифікації. невідомий об'єкт може бути зіставлений з деякими відомими зразками. Це дозволить класифікувати невідомий об'єкт як відомий зразок, при зіставленні з яким були отримані кращі результати. При реалізації процедури пошуку зіставлення використовується для підтвердження деяких кандидатів з безлічі можливих. Якщо здійснювати зіставлення деякого відомого об'єкту з невідомим описом, то у разі успішного зіставлення буде здійснена часткова декомпозиція опису.

Операції зіставлення вельми різноманітні. Зазвичай виділяють наступні їх форми: синтаксичне, параметричне, семантичне і зіставлення, що виконується примусово. У разі ***синтаксичного зіставлення*** співвідносять форми (зразки), а не зміст об'єктів. Успішним є зіставлення, в результаті якого зразки виявляються ідентичними. Зазвичай вважається, що змінна одного зразка може бути ідентична будь-якій константі (або виразу) іншого зразка. Іноді на змінні, що входять в зразок, накладають вимоги, що визначають тип констант, з якими вони можуть зіставлятися. Результат синтаксичного зіставлення є бінарним: зразки зіставляються або не зіставляються .

У ***параметричному зіставленні*** вводиться параметр, що визначає ступінь зіставлення. У разі семантичного зіставлення співвідносяться не зразки об'єктів, а їх функції.

У разі ***зіставлення, що виконується примусово*** один зразок, що зіставляється, розглядається з погляду іншого. На відміну від інших типів

зіставлення тут завжди може бути отриманий позитивний результат. Примушення можуть виконувати спеціальні процедури, що пов'язуються з об'єктами. Якщо ці процедури не в змозі здійснити зіставлення, то система повідомляє, що успіх може бути досягнутий тільки в тому випадку, якщо певні частини даної суті можна вважати такими, що зіставляються.

Особливості предметної області з погляду методів рішення задач в експертних системах можна характеризувати наступними параметрами:

- розмір, що визначає об'єм простору, в якому належить шукати рішення;
- змінність області, що характеризує ступінь змінності області в часі і просторі (тут виділяються статичні і динамічні області);
- повнота моделі, що описує область, характеризує адекватність моделі, що використовується для опису даної області. Зазвичай якщо модель не повна, то для опису області використовують декілька моделей, доповнюючих одна одну за рахунок віддзеркалення різних властивостей предметної області;
- визначеність даних про задачу, що вирішується ЕС, характеризує ступінь точності (помилковості) і повноти (неповнота) даних. Точність (помилковість) є показником того, що предметна область з погляду вирішуваних задач описана точними або неточними даними; під повнотою (неповнотою) даних розуміється достатність (недостатність) вхідних даних для однозначного вирішення завдання.

Вимоги користувача до результату завдання, що вирішується за допомогою пошуку, можна характеризувати кількістю рішень і властивостями результату і способом його отримання. Параметр "кількість рішень" може приймати наступні основні значення: одне рішення, декілька рішень, всі рішення. Параметр "властивості" задає обмеження, яким повинен задовольняти отриманий результат або спосіб його отримання. Так, наприклад, для системи, що видає рекомендації залікуванню хворих, користувач може вказати вимогу не використовувати деякі ліки (у зв'язку з його відсутністю або у зв'язку з тим, що вони протипоказані даному пацієнтові). Параметр "властивості" може визначати і такі особливості, як час рішення ("не більше ніж", "діапазон часу" і т.п.), об'єм пам'яті, що використовується для отримання результату, вказівка про обов'язковість (неможливість) використання яких-небудь знань (даних) і т.п.

Існуючі методи рішення задач, що використовуються в експертних системах, можна класифікувати таким чином:

- методи пошуку в одному просторі, це методи, призначені для використання в наступних умовах: області невеликої розмірності, повнота моделі, точні і повні дані;

- методи пошуку в ієрархічних просторах. Це методи, призначені для роботи в областях великої розмірності;
- методи пошуку при неточних і неповних даних ;
- методи пошуку, що використовують декілька моделей, вони призначені для роботи з областями, для адекватного опису яких одній моделі недостатньо.

Основне призначення існуючих ЕС - допомогти підприємствам зберігати і використовувати знання і досвід їх найбільш талановитих і кваліфікованих співробітників в інтелектуальних системах реального часу, що підвищують якість продукції, надійність і безпеку виробництва і що знижують виробничі витрати.

Принцип роботи експертної системи можна представити у вигляді наступного алгоритму, на прикладі фондової біржі.

База знань для ЕС "Фондова біржа" представлена в словесній формі:

Правило 1. *якщо* % ставка біржі = *падає*, *то* рівень цін на біржі = *росте*.

Правило 2. *якщо* % ставка біржі = *росте*, *то* рівень цін на біржі = *падає*.

Правило 3. *якщо* валютний курс $ = *падає*, *то* рівень цін на біржі = *росте*.

Правило 4. *якщо* валютний курс $ = *росте*, *то* рівень цін на = *падає*.

Правило 5. *якщо* % ставка федерального фонду = *падає* і обертання грошей федерального резерву = *додати*, *то* % ставка біржі = *падає*.

Таким чином, база знань містить п'ять правив. Кожне правило складається з умовної частини (*якщо)* і констатуючою (*то*). Змінна в умовній частині може приймати два значення (*падає*, *росте*). В умовній частині можуть бути дві і більше змінних (правило 5). Значення констатуючої частини тільки одне. Змінна правил 1, 2 міститься в констатуючій частині правила 5.

Подивимося, як, скориставшись цією БЗ відповісти на питання: "Що буде, якщо в банківську систему додати засоби з федерального фонду?". Таким чином, задано: " обертання грошей федерального резерву = *додати*".

Знайдемо цю змінну в БЗ. Вона знаходиться в правилі 5. Але, щоб зробити висновок, треба знати значення ще однієї змінної в умовній частині цього правила. Допустимо " % ставки федерального фонду = *падають* ".

Тоді за правилом 5 змінна в констатуючій частині матиме значення: " % ставка біржі - *падає* ".

Подивимося, чи немає такої змінної в інших правилах? Виявляється, є (1 і 2 правило), але друге правило не підходить, оскільки в цьому правилі

змінна має значення " *росте* ". Значить, вступає в дію правило 1, з якого виходить, що "Рівень цін на біржі = *падає* ".

Переглядання БЗ показує, що такої змінної в умовних частинах правил більше немає, значить це остаточний висновок. Таким чином, и отримана відповідь: "*якщо* додати в обертання грошей з резервного фонду, *то* ціни на біржі впадуть".

7.6. Системи підтримки прийняття рішень

У сучасних АСУ реального часу в стереотипних, типових ситуаціях управління може здійснюватися автоматично, без участі людини - оператора. Оператор здійснює безперервний контроль за процесами в системі, що управляється і активно включається в процес управління тільки при виникненні так званих проблемних (конфліктних) ситуацій. Надалі під ***конфліктною ситуацією*** розумітимемо таку, яка виникає в процесі управління складною технічною системою при не відповідності дійсного і необхідного станів системи, і пов'язана з необхідністю вибору ОПР (особою, що приймає рішення) конкретної альтернативи управління за наявності інформації про стан об'єкту і системи управління, критеріїв, вирішальних правил, власної системи переваг.

Конфліктні ситуації виникають в умовах, специфічних для праці оператора і пов'язаних перш за все з високим рівнем відповідальності за результат діяльності, нестандартністю ситуацій і гострим дефіцитом часу на прийняття рішення.

Причини, що породжують конфліктні ситуації, можна розділити на п'ять груп.

Ситуації першої групи виникають унаслідок ненадійності елементів системи, виходу з ладу. Ситуації другої групи є наслідком недосконалості самого процесу управління, що обумовлене неповнотою і неточністю інформації про об'єкт управління, недосконалістю методів, алгоритмів управління, недоліками і помилками оперативного персоналу і т.п. Ситуації третьої групи виникають у зв'язку з обмеженими можливостями системи управління, обмеженнями на ресурси і т.п. Ситуації четвертої групи пов'язані з подоланням багатозначності, що виникають в процесі управління. Нарешті, в ситуаціях п'ятої групи потребує прийняття рішення, коли система управління стає нездатною до рішення задач, що виникають.

Розглянемо загальну структуру процесу прийняття рішення. Прийняття рішення – складний психологічний процес. Серед відомих видів мислення з прийняттям рішення найтісніше пов'язано оперативне мислення, в ході якого формується "суб'єктивна модель передбачуваної сукупності дій", направлених на рішення поставленого завдання. Процес прийняття

рішення операторами АСУ дометано аналізувати з логіко-психологічної, операціональної, функціонально-динамічної і описової точок зору.

Логико-психологічне дослідження дозволяє відобразити послідовність прийняття рішення, яка включає постановку завдання, пошук, накопичення і регулювання інформації, необхідної для ПР, виявлення і оцінку поточної ситуації з урахуванням проблемної орієнтації діяльності операторів, висунення сукупності гіпотез, вибір рішення і його реалізацію.

Операціональний опис дозволяє розглядати процес ПР у вигляді композиції трьох множин:

$$H = H_1 * H_2 * H_3,$$

де безліч H_1 характеризує сукупність операцій інформаційної підготовки прийняття рішення;

H_2 – етап вибору рішення;

H_3 – дії, що ведуть до його реалізації.

Інформаційна підготовка прийняття рішення пов'язана з відбором такої інформації про об'єкт, що управляється і середовище, яка дозволяє досягти максимальної ефективності рішення. Досвід експлуатації АСУ реального часу різного призначення показує, що інформаційна підготовка може займати до 30-60% часу необхідного для прийняття рішення.

Інформаційна підготовка прийняття рішення складається із зовнішнього і внутрішнього інформаційного забезпечення. При зовнішньому інформаційному забезпеченні вирішується питання відбору необхідної інформації і вибору способів її оптимального подання. Етап внутрішньої підготовки включає процедури класифікації і узагальнення інформації про поточні ситуації і побудову оперативних моделей діяльності. Отже, зовнішнє інформаційне забезпечення проводиться при апріорній підготовці прийняття рішення, внутрішнє, – при рішенні конкретних оперативних задач.

Вибір рішення складається з

- формування робочих гіпотез;
- зіставлення робочих гіпотез з концептуальними моделями поточних ситуацій;
- коректування сформованих моделей;
- оцінки співвідношення гіпотез і результатів, що досягаються;
- вибору якнайкращої гіпотези;
- послідовності дій відповідно до вибраної гіпотези.

Функціонально-динамічні дослідження направлені на вивчення комплексу психологічних механізмів прийняття рішення і принципів інформаційно-евристичного пошуку.

Перераховані напрями досліджень процесу прийняття рішення дозволяють на основі вивчення закономірностей людського мислення імітувати ряд функцій мислення, що формалізуються, в технічних засобах. У інфор-

маційній підготовці прийняття рішення, яка за даними психології тісно переплітається з безпосереднім вибором рішення, приховані великі потенційні можливості для автоматизації, які дозволяють покласти на технічні засоби більшість функцій, що виконуються в даний час операторами.

Перевага людини-оператора, в порівнянні з ЕОМ, полягає в можливості подолати невизначеності, що виникають при прийнятті рішення, умінні вирішувати нестандартні ситуації, гнучко підходити до формулювання цілей і завдань управління. Тому головну увагу слід приділяти не кількісному збільшенню даних, що пред'являються оператору, а якісному вдосконаленню інформаційного забезпечення прийняття рішення, що дозволяє зменшити вплив о недоліків, що властиві собі оператора.

Можна виділити три можливі варіанти інформаційної взаємодії оператора і ЕОМ при прийнятті рішення.

У першому випадку ЕОМ здійснює збір, систематизацію і подання даних. Крім того, на ЕОМ можна покласти функцію оцінки ефективності варіантів рішення. Оператор виконує функції підготовки і прийняття рішення.

У другому випадку збільшення ступеня автоматизації йде на шляху передачі ЕОМ інформаційних, обчислювальних і оцінних завдань. Електронний помічник (ЕОМ) виконує функції обробки інформації і оптимізації рішення, що приймається. Варіанти рішень виробляються операторами, але їх оцінка і кількісна мотивація довіряються ЕОМ. Без людини-оператора система працювати не може, оскільки її функціональна структура буде розірвана.

У третьому випадку основний режим роботи системи – автоматичний; оператор безперервно контролює хід процесу, що управляється і може включатися в процес управління на будь-якому етапі, використовувати нові ідеї і методи управління і т.п. Схема має три канали: два вирішальних і один навчальний. Один з вирішальних каналів – автоматичний машинний; інший – "евристичний" операторський. Машинний канал аналізує вхідну інформацію, проводить її обробку, готує варіанти оперативних рішень за управлінням процесом, вибирає критерії, оцінює ефективність, оптимізує рішення. Подібні ж функції виконує операторський канал. Відмінність полягає в тому, що машинний канал готує рішення в типових ситуаціях, передбачених алгоритмами системи; о операторський канал приймає рішення в нестереотипних (проблемних, конфліктних ситуаціях). Розглянута схема взаємодії дозволяє представити ЕОМ і людину-оператора як двох партнерів, що одночасно беруть участь у виробленні рішення. Це дає можливість використовувати переваги кожного з партнерів і забезпечує високу оперативність і якість прийняття рішень.

При розробці експертних систем і систем підтримки прийняття рі-

шень широко застосовується логіко-лінгвістичний підхід, що припускає синтез алгоритмів прийняття рішень на основі вивчення процесу вироблення рішень фахівцем-експертом.

Основою логіко-лінгвістичного підходу при синтезі моделей прийняття рішень є теорія нечітких множин, яка дозволяє формалізувати словесні описи, що отримуються від експертів, у вигляді математичних виразів, і врахувати їх нечіткість через оцінки істинності і переваг. Математичний і логічний апарат алгебри нечітких множин направлений на пошук і оцінку переваг при виборі рішення ***A*** на базовій безлічі альтернатив ***X***. це відповідає тому психологічному факту, що при прийнятті рішень оператор завжди спирається на деяку структуру переваг.

Оцінкою переваг виступає функція приналежності (істинності)

$$\mu A: X \rightarrow [0,1],$$

яка ставить у відповідність кожному елементу $X_i \in X$, $i = \overline{1, N}$ (альтернативі) число $\mu A(X_i)$, що характеризує ступінь приналежність елементу X_i до рішення ***A***. Чисельне значення функцій приналежності визначається значенням лінгвістичної змінної, яка задається набором

$$\{L(X), T(X), X, G, M\},$$

де ***L(X)*** –базова змінна ***X***;

G – синтаксичне правило, визначальна мета і порядок оцінки змінної ***X***;

M – семантичне правило, яке кожному $X_i \in X$, ставить у відповідність його сенс.

Наприклад, у якості ***L(X)*** може виступати така характеристика конфліктної ситуації, як час прийняття рішень, величину якого визначають терміни

T(x)= {дуже велике, велике, …, маленьке, дуже маленьке},

а ***X*** позначає чисельні значення цього часу. Безліч ***M*** визначає цільові установки оцінки, наприклад, час прийняття рішення оцінюється з точки зору його співвідношення з таким допустимим часом, в продовж якого конфліктна ситуація повинна бути усунена без збитку для функціонування об'єкту управління. Семантичне правило ***M*** визначає результуючу класифікацію об'єкту, наприклад "малий час прийняття рішення" – ступінь приналежності цього часу до даної часової категорії $\mu A(X_i) \le 0,3$.

Отримана від експертів і інтерпретована кількісно в термінах теорії множин інформація про конфліктні ситуації обробляється системою підтримки прийняття рішень за допомогою математичних методів обробки знань, які умовно підрозділяються на декларативні, процедуральні і спеціальні.

Останнім часом широко поширені спеціальні моделі подання знань,

що включають моделі реляційної алгебри, мереж фреймів, семантичних мереж і моделей на базі алгебри нечітких множин,. Ці моделі в різній мірі об'єднують властивості декларативних і процедуральних моделей.

Семантична мережа є інформаційною моделлю, яка представлена у вигляді графа, вершини якого відповідають окремим поняттям, а дуги – відносинами між ними. Існує велика кількість різновидів семантичних мереж, проте у всіх них збережений принцип нероздільності структурних і семантико-прагматичних знань. Застосування семантичних мереж дозволяє скоротити число переборів при пошуку рішення і тим самим економити обчислювальні ресурси, а також дає можливість врахувати асоціативні зв'язки між включеними в неї елементами. Семантичний зв'язок дозволяє описувати процес розвитку ситуації. Разом з тим семантичні мережі відомих типів (К - мережі, α і β пірамідальні мережі, що розширюються і т.п.) не дозволяють враховувати невизначеність процесів, які моделюються.

Невизначеність в процесі рішення задач може враховуватися в результаті застосування моделей на базі нечіткої логіки. Подання знань у вигляді нечітких моделей дозволяє:

- використовувати нечіткі поняття і співвідношення, сформульовані на природній мові;
- створювати достатньо прості моделі для важкоформалізуємих процесів управління, зокрема багатокритеріальних, таких, що включають нечіткі цілі, обмеження і т.п.;
- за допомогою лінгвістичних оцінок, властивих людській розмовній мові, спростити мову спілкування в системі "людина-машина".

Основою нечітких моделей є декартово-композиційні алгоритми, що базуються на композиційному правилі висновку

$$\tilde{B} = \tilde{A} O R,$$

де $A \subseteq X$, $B \subseteq Y$ – деякі розпливчасті множини, відповідні вхідній дії і результуючому рішенню;

O – знак композиції.

R – розпливчате відношення $R = X \times Y$;

X, Y – деякі базові множини.

Відношення R є оператором наступного вигляду:

якщо ‹*умова*› , то має місце ‹*рішення*›.

Огляд моделей прийняття рішень дає підстави вважати, що систему підтримки прийняття рішень в АСУ реального часу доцільно створювати з використанням теорії нечітких множин, а для вироблення рішень застосовувати семантичні мережі. При цьому відповідно до логіко-лінгвістичного підходу основними етапами побудови системи підтримки прийняття рішень повинні бути:

- формування бази даних про характеристики конфліктних ситуацій на основі збору експертної інформації і її обробки за допомогою теорії нечітких множин;
- створення бази знань і процедур їх обробки в конфліктних ситуаціях на основі застосування семантичних мереж;
- розробка методики навчання і додаткового навчання систем підтримки прийняття рішень на основі експертної інформації і оперативного використання поточної інформації про конфліктні ситуації в ході експлуатації АСУ реального часу.

Узагальнена структурна схема системи підтримки прийняття рішень в АСУ реального часу приведена на рис. 7.16. ***Блок інформаційної підтримки прийняття рішень*** включає субблоки розпізнавання конфліктних ситуацій (***RS***), формування плану їх вирішення з урахуванням важливості і директивного часу вирішення (***US***), генерування гіпотез про можливі причини конфліктних ситуацій (***FH***), формування плану перевірки і реалізації рішень (***PH***).

Блок навчання складається з субблоків навчання розпізнавання ситуацій (***LR***); формування гіпотез про причини конфліктної ситуації (***LH***); формування моделі перевірки гіпотез (***LP***).

Блок знань (БЗ) містить інформацію про характеристики і ознаки конфліктних ситуацій, зокрема їх важливість, ознаку появи і причини виникнення.

База даних (БД) містить поточну інформацію про конфліктні ситуації.

Модель функціонування системи підтримки прийняття рішень ***U*** можна представити у вигляді чотирьохрівневого графа: перший рівень U_1 – опис ознак конфліктної ситуації; другий рівень U_2 – узагальнена модель всіх ситуацій, що включає їх опис і відносини переваг між ними; на третьому рівні U_3 зображена модель формування гіпотез про причини виникнення конфліктних ситуацій; четвертий рівень U_4 – перевірка гіпотез і реалізація рішень, що знімають конфліктні ситуації. При цьому кожній гіпотезі рівня U_3 відповідає модель рівня U_4.

Можна виділити три етапи функціонування системи підтримки прийняття рішень. Перший етап ***навчання***. На цьому етапі формується база знань системи підтримки прийняття рішень, в якій зберігається моделі функціонування системи ***U***. В основі формування моделі ***U*** лежить експертна інформація. Експерт, використовуючи екранний пульт і засоби спілкування з ЕОМ, за допомогою блоку навчання вводить інформацію в базу знань про характеристики і ознаки конфліктних ситуацій, і причини їх виникнення. Безліч ознак, що характеризують факт виникнення конфліктних ситуацій, формується на основі інформації, циркулюючої в системі управ-

ління. Описи конфліктних ситуацій в моделі U_2 формуються на основі аналізу цілей і завдань функціонування АСУ реального часу і експертної інформації. Для кожної конфліктних ситуацій синтезуються структури моделей формування гіпотез U_3 і їх перевірки U_4.

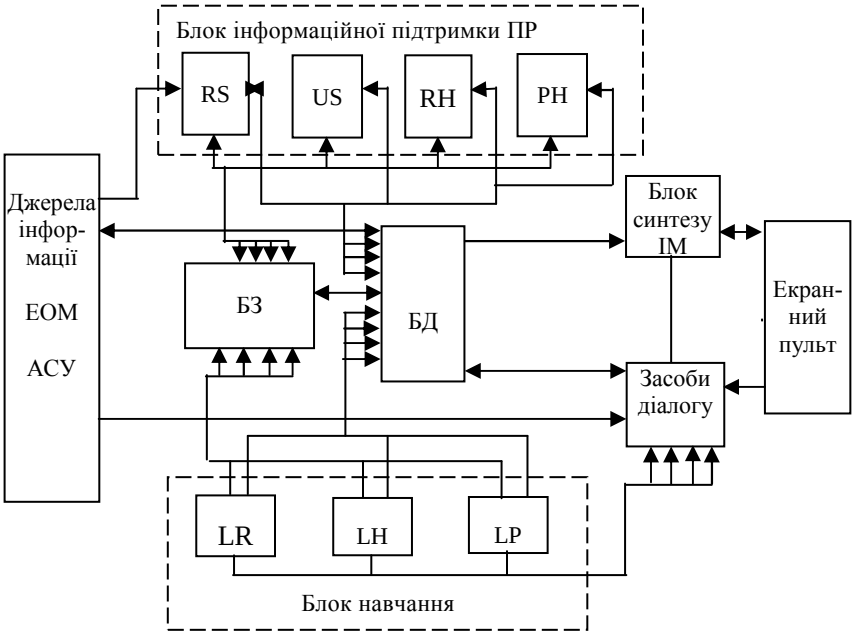


Рис. 7.16. Структурна схема системи підтримки прийняття рішень

Другий етап ***функціонування системи*** підтримки прийняття рішень. Це безпосередньо інформаційна підтримка прийняття рішень оператором при виникненні конфліктних ситуацій в процесі функціонування АСУ реального часу. Інформація про конфліктну ситуацію поступає в базу даних системи підтримки прийняття рішень з ЕОМ, що управляє АСУ. Блок ***RS*** розпізнає ситуації і заносить їх індекси в базу даних. Ці індекси, а також часові характеристики і коефіцієнти відносної важливості ситуацій, що зберігаються в базі знань, поступають на вхід блоку ***US***. У цьому блоці формується план вирішення ситуацій, який визначає відносну послідовність вирішення ситуації з урахуванням її важливості і терміновості. Оператор має всю інформацію на екрані дисплея. Після її оцінки він вводить індекс найбільш важливої, з його точки зору ситуації, в базу даних системи підтримки прийняття рішень, звідки цей індекс поступає на вхід блоку

FH. За індексом ситуації блок ***FH*** звертається до відповідної структури моделі U_3 в базі знань і формує гіпотези про можливі рішення. Індекси гіпотез поступають на вхід блоку ***PH***, який формує план перевірки гіпотез. Гіпотези про можливі рішення, план їх перевірки і довідкова інформація видаються оператору на екранний пульт, як рекомендація за прийняттям рішень. Оператор оцінює гіпотези, приймає рішення і вводить індекс гіпотези, що підтвердилася, в системи підтримки прийняття рішень. За індексом гіпотези блок ***PH*** формує план реалізації рішення, який висвічується на екрані дисплея. Оператор. вводячи відповідні команди, або впливаючи на процес, що управляється безпосередньо чи через вибір алгоритми ЕОМ АСУ, ліквідовує конфліктну ситуацію.

Третій етап ***додаткове навчання***. Полягає в коректуванні моделей в базі знань. Модель U_2 (безліч конфліктних ситуацій і їх ознаки) коректуються, як на етапі навчання в діалозі з оператором (блок ***LP***). Модель формування гіпотез U_3 і модель їх перевірки U_4 коректуються на основі об'єктивної інформації підтвердження або спростування гіпотез про причини конфліктних ситуацій (блоки ***LH***, ***LP***).

7.7. Питання до розділу 7

1. Дайте характеристику етапам розвитку штучного інтелекту.
2. Дайте визначення поняттю природний інтелект.
3. Дайте визначення поняттю штучний інтелект.
4. Дайте визначення поняттю предметна область.
5. Дайте визначення поняттю штучна нейронна мережа.
6. Дайте визначення поняттю багатошарова мережа.
7. Дайте визначення поняттю експертна система.
8. Дайте визначення поняттю неформалізовані завдання.
9. Дайте визначення поняттю система підтримки прийняття рішень.
10. Які форми мислення людини можна виділити.
11. Наведіть схему взаємозв'язків понять природного інтелекту.
12. В яких напрямках розвиваються системи штучного інтелекту?
13. Надайте схему взаємодії основних складових штучного інтелекту.
14. Назвіть і дайте характеристику підходам до створення системи штучного інтелекту.
15. Наведіть схему і поясніть функціонування формального нейрону.
16. Наведіть структуру системи штучного інтелекту.
17. Наведіть функціональну схему системи штучного інтелекту .

18. Наведіть загальну структурну схему системи штучного інтелекту і поясніть призначення елементів.

19. Поясніть принцип дії багатошарової нейронної мережі. Наведіть її структуру.

20. Наведіть функціональну схему апаратно-програмного комплексу АСУ , що використовує нейронну мережу.

21. Надайте перелік основних характеристик експертної системи.

22. Надайте особливості, які притаманні неформалізованим завдання.

23. Наведіть структурну схему типової статичної експертної системи і поясніть призначення елементів.

24. Наведіть структурну схему типової динамічної експертної системи і поясніть призначення елементів.

25. Наведіть узагальнену структурну схему експертної системи і поясніть призначення елементів.

26. Наведіть і поясніть основні етапи технології розробки експертної системи.

27. Наведіть класифікацію і поясніть існуючі методи рішення задач, що використовуються в експертних системах.

28. Дайте визначення поняттю конфліктна ситуація.

29. Наведіть класифікацію і поясніть причини, що породжують конфліктні ситуації.

30. З яких складових складається вибір рішення в системі підтримки прийняття рішень.

31. Наведіть узагальнену структурну схему системи підтримки прийняття рішень в АСУ і поясніть призначення елементів.

32. Наведіть і поясніть етапи функціонування системи підтримки прийняття рішень.

33. Наведіть і охарактеризуйте особливості предметної області з погляду методів рішення задач в експертних системах

34. . Наведіть і поясніть круг завдань, що вирішуються при представленні знань в експертних системах.

35. Дайте визначення поняттю предметні знання.

36. Дайте визначення поняттю знання, що управляють.

37. Дайте визначення поняттю підтримуючі знання.

38. Дайте визначення поняттю допоміжні знання.

39. Які аспекти можна виділити у проблемі доступу до знань.

40. Поясніть призначення режиму придбання знань експертною системою.

Розділ 8

Оцінювання якості і ефективності застосування АСУ

Розглянуті основні поняття і положення теорії ефективності системи управління, наведені показники, критерії оцінювання, методологічні рівні і принципи дослідження ефективності АСУ. Також розглянуті сутність оцінювання та загальна схема дослідження ефективності АСУ.

8.1. Поняття ефективності системи управління

Завдання системотехніки тісно пов'язані з питаннями теорії ефективності, основним змістом якої вважається оцінювання варіантів побудови, застосування АСУ і порівняння їх за ефективністю.

У загальному вигляді ***ефективність*** – це властивість АСУ, що характеризується ступенем досягнення мети, поставленої при її створенні. Основна відмінність ефективності від якості системи полягає в тому, що поняття «якість» не пов'язане з поняттям мети, а ефективність враховує даний факт. Ефективність системи є однією з узагальнених (інтегрованих) властивостей системи, що характеризує якість її цілеспрямованого функціонування.

Ефективність АСУ визначається співвідношенням ступеня досягнення мети (корисності результатів) при застосуванні системи за призначенням, з витратами ресурсів і втратами часу, обумовленими розробкою, виготовленням і експлуатацією АСУ. Тому оцінювання ефективності процесу, рішення, системи, операції і т.п. припускає обов'язковий облік наступних складових :

1) цілі;

2) ефекту, отриманого при досягненні певної мети;

3) ресурсів, потрібних для досягнення необхідного ефекту;

4) час досягнення ефекту, що розглядається як вид ресурсу;

5) умов функціонування системи;

6) способу реалізації функцій АСУ (централізований, децентралізований, змішаний).

При зміні будь-якої складової буде змінюватися і ефективність АСУ.

Необхідно відзначити, що ефективність АСУ залежить не від її струк-

турних властивостей і програми її функціонування, а від зовнішніх чинників – умов функціонування. Тому поняття «ефективність» при строгому розгляді безпосередньо до АСУ не відноситься. Воно характеризує тільки властивість цілеспрямованої послідовності дій, тобто операції „давати ефект". Коректніше термін «ефективність» слід відносити до операції (технологічною, військовою і інший), в якій застосовується АСУ за призначенням. У свою чергу, мета операції, в якій застосовується АСУ, може трактуватися як ситуація, яка повинна бути досягнута після закінчення етапу функціонування АСУ. Ефективність – це не тільки найбільш загальна властивість операції, що виявляється в її здатності давати ефект, але вона повинна співвідноситися з витратами всіх видів ресурсів.

Отже, ефективність – це властивість дії (операції), і її не можна відносити тільки до системи, що реалізовує операцію з наступних причин:

1) оцінювання ефективності пов'язане не стільки з властивостями системи, скільки з властивостями результату її функціонування і ресурсів, що витрачаються на досягнення даного результату, тобто з оцінюванням об'єктів, що не включаються в АСУ;

2) ефективність функціонування системи визначається не тільки властивостями системи, але і способом і умовами її застосування, і, отже, оцінку ефективності неправомірно відносити тільки до системи;

3) розгляд ефективності як властивості системи вступає в суперечність з поняттям якості системи.

Тому термін «ефективність системи» дометано використовувати тільки в сенсі характеристики потенційних можливостей АСУ, що розглядаються на стадії її створення. Строгіше слід говорити не про ефективність функціонування АСУ, а про якість результату функціонування системи, яка визначається якістю процесу її функціонування, а останнє, у свою чергу визначається якістю системи, що здійснює даний процес.

Таким чином, ефективність є не властивістю АСУ, а властивістю процесу її функціонування, причому не будь-якого, а тільки цілеспрямованого, тобто операції, що виконується АСУ.

Ефективність є найважливішою і найбільш загальною характеристикою будь-яких технічних засобів і систем.

Інтуїтивно поняття ефективності (корисності, дометаності) застосування АСУ вимагає кількісного виразу, бажано у вигляді одного числа, яке мало б певний сенс.

Перш за все для оцінки ефективності потрібно знайти відповідну засенсу одиницю вимірювання і виразити її в цих одиницях.

Дамо визначення поняття ефективності в двох сенсах (широкому і вузькому). Ефективність (у широкому сенсі) - це комплексна характеристика потенційних і (або) реальних результатів (інтегрального ефекту) використ-

тання системи з урахуванням ступеня відповідності цих результатів головним цілям, а також кількісним і якісним показникам, виявленим методами системного аналізу.

З погляду даного визначення, сказати про ефективність системи це означає дати інтегральну характеристику всім її властивостям в світлі головних цілей, пов'язаних з її призначенням. Тому дометано здійснити декомпозицію (розбиття) поняття ефективності на взаємозв'язані (пересічні) смислові поняття. Ця декомпозиція умовно показана на рис.8.1. Стисло розглянемо деякі складові, які є особистісними (у вузькому сенсі) поняттями ефективності.

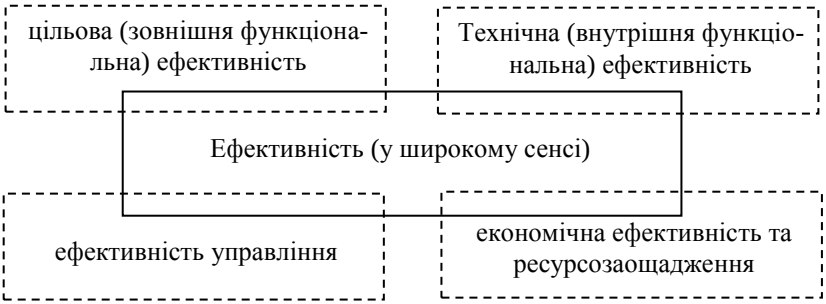


Рис. 8.1. Декомпозиція поняття ефективності

Метаова (зовнішня функціональна) ефективність. Це характеристика ступеня пристосованості системи до досягнення поставленої перед нею мети (необхідного кінцевого результату).

Для досягнення поставленої мети необхідна система цілеспрямованих дій, об'єднаних загальним задумом і єдиною метою, що має назву ***операція***.

Мета визначає способи і форми дії, їх характер і системну впорядкованість, а так само засоби досягнення і виступає як певний механізм інтеграції різних дій в систему «***мета→засоби→результат***». У формалізованому вигляді мета виражається набором деяких параметрів, але у окремому випадку всього один параметр може відображати мету операції. Реальний результат операції (фактичний або очікуваний її кінцевий висновок) може не співпадати з бажаним. Під ефективністю операції розуміють ступінь відмінності між реальним її результатом і бажаним результатом. Тому ефективність операції є категорією системного аналізу.

Для АСУ цільовою ефективністю є ефективність її застосування, що визначається, як ступінь реалізації можливостей системи управління при

виконанні операцій технологічного процесу з урахуванням витрачених засобів і часу.

Технічна (внутрішня функціональна) ефективність. Це комплексна характеристика технічних можливостей і пристосування системи до експлуатації в різноманітних умовах, а також її екологічності. Вона визначається широким набором різного роду показників, які можна розбити на три групи: (рис.8.2):

- якості технічної системи;
- умов функціонування технічної системи;
- способів використання (застосування) технічної системи.

Рис. 8.2. Показники, що визначають технічну ефективність АСУ

Дані показники побічно впливають на цільову функцію. Вибір вказаних показників, а також аналіз умов функціонування і способів застосування АСУ здійснюється на ранніх стадіях створення системи з урахуванням мети її застосування.

Необхідно відзначити, що в техніці завдання ефективності тісно

пов'язані із завданнями надійності технічних засобів. Зростання складності технічних систем призводить до зниження їх надійності, а отже, до зменшення їх ефективності. Ненадійна система не може бути ефективним засобом досягнення поставленої мети.

Економічна ефективність і ресурсозаощадження. . Для технічних систем витрати і результати вимірюються різними мірами. Тому роль вартісних оцінок при вирішенні технічних проблем виключно велика, оскільки дозволяє найбільш раціональним чином розмістити кошти, що виділяються, досягши найбільшого технічного ефекту.

Останньою складовою є ***ефективне управління***. Сучасне виробництво припускає, як правило, використання автоматизованої системи управління. У зв'язку з цим ефективність управління у силу її значущості повинна розглядатися як самостійний, особистісний вид ефективності. Більш того, ефективність управління залежить від розглянутих вище складових ефективності і, у свою чергу, впливає на них.

Дометано розглядати ефективність як єдність двох протилежних категорій: виграшу, позитивного результату реалізації рішення і плати за це – втрат і витрат, які неминучі при досягненні мети. Тому ефективність будь-яких систем визначається результатами використання за призначенням і витратами на їх створення і експлуатацію. В цьому випадку варіант побудови АСУ вибирають шляхом балансування показників приросту ефективності E, що отримується за рахунок створення або вдосконалення АСУ і витрат R. Математично це завдання формулюють таким чином:

$$\max E \text{ при } R \; const$$

або у вигляді зворотного завдання

$$\min R \text{ при } E \; const .$$

8.2. Показники і критерії ефективності функціонування АСУ

Кількісно ступінь досягнення мети (корисність результату) в результаті проведення операції (певної послідовності цілеспрямованих дій) визначається через показник наслідку (результату) операції за допомогою критерію ефективності.

Нехай є деяка операція на результат якої ми можемо якоюсь мірою впливати, вибираючи тим або іншим способом залежні від нас параметри. Ефективність операції характеризується числовим критерієм або показником W, який потрібно обернути, наприклад, в максимум (мінімум).

Критерій ефективності $U(x_i)$ являє собою правило $П(\tau_x)$, на основі якого визначається вибір кращого, з сукупності можливих, рішення

(стратегії). На основі вибраного правила також визначається оцінка ефективності. Критерій ефективності прямо або побічно виражається через показник результату. Показник ефективності в загальному випадку характеризує ступінь відповідності результату операції меті.

Таким чином критерій ефективності це правило, що дозволяє зіставити стратегії, які характеризуються різним ступенем досягнення мети і здійснювати вибір оптимальних стратегій з безлічі допустимих. Критерій ефективності вибирається на основі певної концепції раціональної поведінки системи.

Зауваження. В даному випадку термін "критерій" розглядається як синонім терміну "показник", тобто як міра для порівняння (а не як міра виконання тих або інших умов). Критерій ефективності АСУ визначають на безлічі показників, кожний з яких описує одну із сторін даної системи. Залежно від використовуваного математичного апарату критерій може бути виражений у вигляді цільової функції або порядкової міри, що встановлює впорядковану послідовність поєднань показників

Багатофункціональний характер складної системи, наявність в її структурі чітко обкреслених підсистем і необхідність обліку під час оцінки ефективності витрат – все це приводить до доцільності введення окрім загального критерію ефективності W особистісних критеріїв ефективності W_i ($i = 1, 2, \ldots, k$).

Співвідношення між W і W_i може мати вигляд:

- дробі в чисельнику показники $W_1, \ldots, W_m$, які бажано збільшити, а в знаменнику – ті, які бажано зменшити:

$$W = W_1, \ldots W_m / (W_{m+1} \ldots W_k) \qquad (8.1)$$

- «зваженої суми» окремих показників:

$$W = a_1 W_1 + a_2 W_2 + \ldots + a_k W_k \qquad (8.2)$$

де $a_1, a_2, \ldots, a_k$ – позитивні або негативні коефіцієнти (позитивні – при показниках, які бажано мінімізувати). Абсолютні значення коефіцієнтів(«вага») відповідають ступеню важливості показників.

У основних критеріях (8.1) і (8.2) можлива взаємна компенсація різнорідних показників.

У технічному завданні на побудову АСУ, окрім завдання умов $a_1, a_2, \ldots, a_k$, можуть також задаватися обмеження на окремі особистісні показники:

$$W_j \geq W_j^*; \quad W_l \leq W_l^*, \qquad (8.3)$$

де $W_j^*, W_l^* \quad (l \leq j, l \leq k)$ – задані обмеження.

Цим ряд показників переводиться в розряд заданих умов операції і

варіанти рішення, що не укладаються в задані межі, відразу ж відкидається як неконкурентоздатні.

Для того, щоб числова функція визначена на безлічі стратегій U, могла розглядатися як показник ефективності, крім вимоги відповідності меті операції вона повинна задовольняти наступним вимогам:

- змістовність і інтерпретуємість;
- вимірюваність;
- відповідність системі переваг особи, що приймає рішення.

Якщо результат застосування АСУ Y може бути описаний єдиною величиною y, то числова функція визначає скалярний показник ефективності. Інакше вводиться векторний показник ефективності

$$W(u) = \|W_1(u), W_2(u) \ldots W_m(u)\|^T \qquad (8.4)$$

де $W_i(u)$ ($i = 1, 2, \ldots, m$) особистісні критерії ефективності.

Виділимо групи показників. В першу чергу, це показники, що визначають можливість досягнення кінцевої мети, тобто потенційних можливостей системи (імовірнісні, нечіткі, максимально-мінімальні оцінки виконання завдання і ін.), це показники, що визначають стійкість системи при функціонуванні.

По-друге, показники якості функціонування, до яких відносять кількість і розосередженість об'єктів управління, швидкість обробки даних, пропускна спроможність каналів зв'язку, достовірність передачі інформації, надійність, ремонтопридатність і т.п.

По-третє, показники економічної ефективності і ресурсозаощадження (вартісні показники і показники витрат (заощадження) ресурсів).

У четвертих, показники, що визначають організаційно – управлінську ефективність.

Рішення будь-якої задачі, пов'язаної з кількісною оцінкою ефективності, полягає у визначенні виду показника, який би міг служити мірою ефективності досліджуваної системи у відповідних умовах, а також визначенні шляхів знаходження його значення.

Показником ефективності системи в загальному сенсі є ступінь її оптимальності, яка в деяких випадках може бути охарактеризована відношенням різниці вартості вихідного ефекту і витрат на його отримання до її (різниці) максимального значення (вартості вихідного ефекту системи у разі, коли завдання, що стоять перед нею, виконуються в повному обсязі). Визначення цього показника пов'язане з необхідністю, вимірювання вихідного ефекту в одиницях витрат на його отримання.

Необхідно мати на увазі, що величина вихідного ефекту в загальному випадку є випадковою величиною. Тому для повної оцінки показника ефективності необхідно знати його закон розподілу. Проте користуватися та-

ким законом при рішенні задач аналізу і синтезу незручно. Тому на практиці користуються характеристиками закону розподілу і в першу чергу, математичним очікуванням і середньоквадратичним відхиленням.

Існують три концепції раціональної поведінки системи (вироблення рішень): придатності, оптимізації і адаптивності.

Згідно ***концепції придатності*** раціональна будь-яка стратегія ***i***, при якій вибраний показник ефективності приймає значення не нижче деякого прийнятного (необхідного) рівня $W^{н}$, тобто

$$W(u) \geq W^{н} \qquad u \in U \tag{8.5}$$

де U – безліч допустимих стратегій.

Необхідний рівень $W^{н}$ ділить безліч допустимих стратегій U на дві непересічні підмножини: безліч допустимих стратегій і безліч неприйнятних стратегій.

Концепція оптимізації вважає раціональними ті стратегії $u \in U$, які забезпечують максимальний ефект в операції, тобто

$$W(u)^{*} = max_{u \in U} W(u). \tag{8.6}$$

Оптимальна стратегія може бути неєдиною, тобто рішення задачі може дати безліч рівноцінних оптимальних стратегій $u^{*} \in U$. Використовувати концепцію оптимізації можна в тому випадку, якщо умови проведення операції строго фіксовані, а показник ефективності $W(u)$ є скалярним. У даній концепції не враховується поточна інформація про зміни різного роду, що відбуваються в АСУ і в зовнішньому середовищі при реалізації оптимальної стратегії.

Концепція адаптивності припускає можливість оперативного реагування в ході операції на оперативну інформацію, що поступає, про зміну умов проведення операції. Суть концепції адаптивності полягає в зміні стратегій управління u на основі не тільки апріорної і поточної інформації, але і на основі прогнозованої інформації, для досягнення або збереження певного стану системи при зміні умов проведення операції. В даному випадку передбачається не тільки зміна параметрів технічних засобів АСУ, але і можлива зміна їх структури.

Безліч допустимих стратегій U може видозмінюватися в процесі надходження поточної інформації. Результатом аналізу оперативної інформації, що поступає, і прогнозування розвитку ходу операції може бути зміна мети функціонування системи. В цьому випадку згідно концепції раціональної адаптивності слід вибирати таку адаптивну стратегію $u(t)$ з безлічі допустимих $U(t\,\tau)$, яка забезпечує, наприклад, виконання умови:

$$W_t(u^{*}(t), \tau) \geq W_t^{н}(u(t), \tau), \quad u(t) \in U(t, \tau) \tag{8.7}$$

де t- час; τ - перестереження прогнозу.

Застосування концепції адаптивності приводить до цілеспрямованої і гнучкої системи дій, що управляють.

При виборі варіанту побудови технічних засобів і АСУ в цілому і оцінюванні ефективності її застосування найчастіше використовують наступні основні критерії ефективності, класифікація яких представлена на рис. 8.3.

Критерій прийнятного результату вибирають з наступного припущення. В умовах визначеності у якості показника ефективності може бути використаний результат застосування АСУ в операції ***y(u)***, мета якої носить кількісний характер. В цьому випадку функція відповідності має вигляд

$$\rho(y(u), y'') = y(u).$$

Критерій прийнятного результату рекомендує вибирати стратегію ***u*** з безлічі допустимих, таких, що задовольняють умові

$$u^* : y(u) \geq y'' \qquad (8.8)$$

де y'' - необхідний рівень результату.

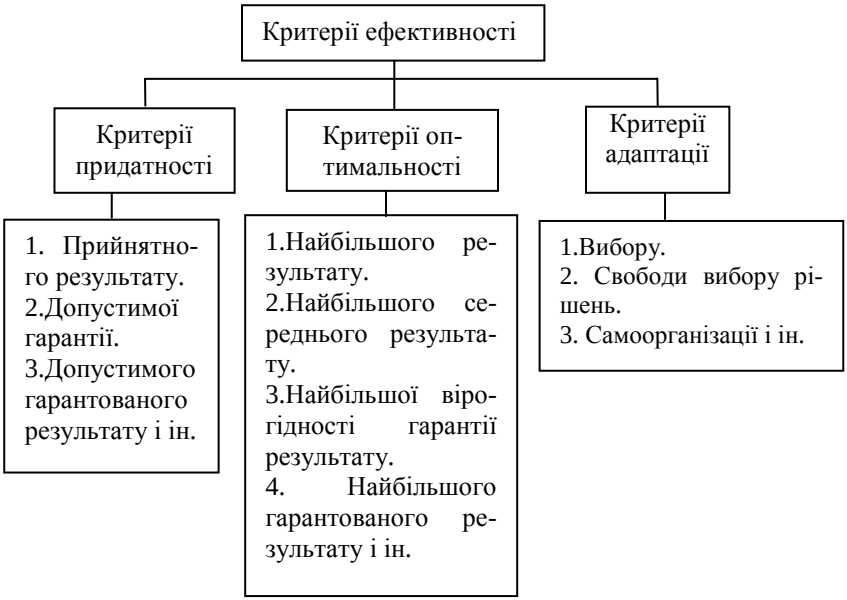


Рис. 8.3. Класифікація критеріїв ефективності АСУ

Згідно ***критерію допустимої гарантії*** функцію відповідності вибирають у вигляді

$$\rho(y(u), y^{п}) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } y \geq y^{п} \\ 0, & \text{якщо } y < y^{п} \end{cases}. \qquad (8.9)$$

Даний критерій дозволяє вибирати стратегії u з умови

$$u^{*} = P(y(u) \geq y^{п}) \geq P^{п} \qquad (8.10)$$

де $P^{п}$ – прийнятний рівень вірогідності досягнення мети операції.

Критерій ***допустимого гарантованого результату*** має функцію відповідності у вигляді

$$\rho = F_{u}^{-1}(1 - \alpha) = y_{\alpha}(u). \qquad (8.11)$$

Придатну стратегію вибирають з умови

$$u^{*} : y_{\alpha}(u) \geq y_{\alpha}^{п} \qquad (8.12)$$

де $y_{\alpha}^{п}$ – допустимий рівень гарантованого результату з вірогідністю α.

Даний критерій виходить з наступних перетворень. Якщо мета застосування АСУ в операції носить кількісний характер, то як показник ефективності операції може бути прийнятий мінімальний результат y_{α}, що отримується із заданою вірогідністю α, тобто

$$\alpha = P(y(u)) \geq y_{\alpha},$$

де $y(u)$ – реальний результат операції.

Залежно від виду функції відповідності в рамках концепції оптимізації виділяють наступні критерії оптимальності.

Критерій найбільшого результату. В даному випадку математичне очікування функції відповідності має вигляд:

$$\mu(y(u), y^{п}) = y(u).$$

А оптимальну стратегію вибирають з умови (8.6):

$$u^{*} : max_{u \in U}\, y(u). \qquad (8.13)$$

Критерій найбільшого середнього результату. При істотному впливі випадкових чинників часто сам результат операції $y(u)$ вибирають як функцію відповідності. Тоді показник ефективності являє собою математичне очікування результату (середній результат), тобто

$$W(u) = M[y(u)]. \qquad (8.14)$$

Критерій найбільшого середнього результату дозволяє вибирати у якості оптимальної стратегію u^{*}, для якої

$$u^{*} : max_{u \in V}\, M[y(u)]. \qquad (8.15)$$

Критерій найбільшої вірогідності гарантії результату. Якщо ре-

зультат операції виражається випадковою змінною $y(u)$ і чітко визначений необхідний результат $y^н$, то функцію відповідності вводять в наступному вигляді:

$$\mu(y(u), y^н) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } y(u) \geq y^н \\ 0, \text{ якщо } y(u) < y^н \end{cases} \quad (8.16)$$

Показник ефективності в цьому випадки є вірогідність того, що реальний результат операції прийме значення не нижче необхідного рівня, тобто

$$W(u) = P(y(u) \geq y^н) . \quad (8.17)$$

Критерії найбільшої імовірнісної гарантії дозволяє як оптимальною вибрати стратегію $u^* \in U$ з умови

$$u^* : max_{u \in U} = P(y(u) \geq y^н . \quad (8.18)$$

Критерій найбільшого гарантованого результату. При випадковому характері результату $y(u)$ операції гарантованим результатом (імовірнісно – гарантованим результатом) називають рівень $y_\alpha(u)$, не нижче за який буде отриманий реальний результат із заданою вірогідністю $\mathfrak{I}$, тобто

$$I = P(y(u) \geq y_\alpha(u)) . \quad (8.19)$$

Звідси $y_\alpha(u) = F^{-1}(1 - \mathfrak{I})$, і функцією відповідності є $\mu = y_\alpha(u)$. Отже, показник ефективності внаслідок того, що $y_\alpha(u)$ не є випадкова змінна, приймає вигляд

$$W(u) = y_{\mathfrak{I}}(u) . \quad (8.20)$$

Згідно критерію найбільшого гарантованого (імовірнісно-гарантованого) результату оптимальну стратегію вибирають, при фіксованій вірогідності $\mathfrak{I}$ за умови

$$u^* : max\ y_{\mathfrak{I}}(u) , \quad u \in U . \quad (8.21)$$

В межах концепції адаптивності раціональна поведінка складної системи організовується відповідно до наступних основних принципів вибору критеріїв ефективності.

Принцип вибору (селекції). На кожному кроці багатоетапного процесу прийняття рішень цей принцип передбачає відбір декількох рішень, близьких до кращих. Потім з цих рішень формується ряд комбінацій і на наступному етапі прийняття рішень відбирається декілька комбінацій, близьких до кращих, користуючись критерієм вищого порядку, ніж на попередньому кроці. Таким чином, формується ряд комбінацій рішень, що ускладнюються, з яких відбираються не тільки самі кращі рішення, але і близькі до них.

Принцип свободи вибору рішень може бути реалізований при органі-

зації (проектуванні) поведінки систем, здатних до самоорганізації. Свобода вибору полягає в можливості перегляду, уточненні раніше прийнятого рішення, в залежності від поточної інформації.

Принцип самонавчання дозволяє забезпечити адаптивну поведінку системи в процесі багатократних зовнішніх дій на систему із запам'ятовуванням реакцій на ці дії і результатів реагування, а також коректуванням реакцій, що направлено на підвищення ефективності поведінки системи. Накопичувана інформація в процесі самонавчання використовується для удосконалення критеріїв ефективності.

Розглянуті вище показники і критерії ефективності застосування АСУ носять функціональний характер.

Для того, щоб вирішувати задачі оцінювання ефективності систем або завдання ефективного вибору варіанту побудови або застосування системи, необхідно спиратися на відповідним чином представлену безліч показників (критеріїв).

Зауваження. Методика вибору показників оцінки ефективності будується за ієрархічним принципом. Тому при оцінці ефективності спочатку визначають виграш і плату, які на наступному рівні залежать від простіших показників ефективності, потім кожний з них розділяють на ще простіші описові параметри спосіб обчислення яких відомий. Основоположною вимогою до критерію ефективності вважається його фізична вимірність, що дозволяє при розробці і дослідженні АСУ вирішувати конкретні практичні задачі.

Математично ефективність записується у вигляді деякого функціонала; оцінити ефективність - означає обчислити цей функціонал. Форма функціонала ефективності залежить від конкретного завдання, а також від виграшу і плати.

Окрім цього вихідний ефект є функцією часу. Тому для оцінки ефективності системи залежно від поставлених завдань може використовуватися інтегральний (***WT***) або диференційний (***WL***) показник ефективності (ПЕ).

Інтегральний показник оцінюється за заданий період, а ***диференційний показник*** - до певного моменту часу.

Математичне формулювання для диференційного показника ефективності має вигляд

$$W_{t\,M} = M(E_t / E_{t\,max}) \text{ або } W_{t\,p} = P(E_t > E_{t\,max}). \qquad (8.22)$$

де $E_{t\,max}$ - значення максимального вихідного ефекту до заданого часу;

E_t досягнутий рівень вихідного ефекту до заданого часу.

Для інтегрального показника

$$W_{t\,M} = M\left[\int_0^T E_t dt / E_{max}\right] \text{ або } W_{t\,p} = P\left[\int_0^T E_t dt > E_{t\,зад}\right]. \qquad (8.23)$$

де E_{max} ($E_{зад}$) - максимальне (задане) значення інтегрального вихідного ефекту за час T.

Розглянемо деякі види показників ефективності, які найчастіше використовуються на практиці. Вибір конкретної форми ПЕ багато в чому залежить від способу опису результату операції оскільки ефективність як властивість виявляється в результаті проведення операції, в якій застосовується технічна система. Такою системою може бути АСУ.

Мета операції описується випадковою подією A, настання якої є бажаним результатом (метою) операції. В цьому випадку ПЕ є вірогідністю настання події A:

$$W(u) = P_u(A).$$

Прикладом такого показника ефективності є вірогідність виявлення мети засобами радіолокації.

Часто операція вважається успішною, якщо її результат X лежить в деякому заданому діапазоні. В цьому випадку дана подія A полягає в істинності одного із співвідношень

$$A = Y_{н1} < Y_{оп}(u) < Y_{н2} \text{ або } A = Y_{оп}(u) < Y_н.$$

Відповідний показник ефективності трактується як імовірнісна гарантія виконання поставленого завдання:

$$W(u) = P(Y_{оп}(u) \geq Y_н). \qquad (8.24)$$

Якщо мета операції виражається у числовій змінній, залежній від випадкових чинників, то може бути використаний ще один показник ефективності - показник середнього результату:

$$W_u(н) = M[(Y_{оп}(u)]. \qquad (8.25)$$

Прикладами таких показників є середнє число замовлень, що обслужені, середня довжина черги СМО і т.п.

Знаючи діапазон зміни показника ефективності, можна порівнювати значення середнього результату з граничними (допустимими) значеннями результату операції.

Вибір стратеги поведінки системи управління значно ускладнюється, якщо результат операції оцінюється за допомогою векторного ПЕ (або безлічі скалярних ПЕ). Це пояснюється тим, що деяке рішення може перевершувати інші за одними показниками і поступатися їм за іншими. У таких умовах важко визначити, яка із стратегій краща, не говорячи вже про її оптимальність. Якщо в завданнях прийняття рішень (ПР) за скалярним показником основна складність полягає в розробці або виборі методу пошуку екстремуму, то в завданнях ПР за векторним показником головна

увага приділяється виробленню вирішального правила, заснованого на компромісі між значеннями компонент векторного показника.

Зауваження. Складність проблеми ПР за векторним показником навіть в умовах визначеності зв'язана не стільки з труднощами обчислення, скільки з обґрунтованістю вибору «якнайкращого» рішення. Неможливо строго математично довести, що вибране рішення є якнайкращим: будь-яке рішення з числа не домінуючих (які не покращуються одночасно за всіма показниками) може виявитися якнайкращим для конкретної особи що приймає рішення (ОПР) в конкретних умовах. Це є основною аксіомою ПР за декількома показниками.

Залежно від способу формування вирішального правила, методи ПР за векторним показником можна умовно розділити на дві групи. До першої групи відносяться евристичні методи, в яких особа, яка приймає рішення визначає вигляд згортки компонент векторного ПЕ в скалярний на основі «здорового глузду» (або інтуїції). Тут під згорткою розуміється скалярне представлення, що є фактично функцією від ряду особистісних показників.

Методи другої групи — аксіоматичні — засновані на використанні додаткової інформації про компоненти векторного ПЕ.

Розглянемо деякі найбільш поширені методи, що відносяться до першої групи.

Метод узагальненого показника

Якщо, виходячи з характеру завдання, можна допустити, що абсолютне зменшення одного з показників компенсується сумарним абсолютним збільшенням інших (показники однорідні), то у якості узагальненого показника може бути прийнята сума наступного вигляду:

$$W_0 = \sum_{i=1}^{\kappa} g_i W_i \qquad (8.26)$$

тут g_i - коефіцієнт відносної важливості особистісного показника W_i.

Іноді допустимою вважається не абсолютна, а відносна компенсація зміни одних показників за рахунок інших.

Наприклад, при оцінці ефективності бойових дій винищувальної авіації можуть бути використані два особистісні показники — математичне очікування числа знищених цілей (W_1) і математичне очікування числа втрат своїх літаків (W_2)**:**

$$W_0 = \sum_{i=1,2} g_i W_i$$

Метод «витрати / ефект»

Якщо із сутності завдання виходить, що одні показники бажано збільшувати, а інші зменшувати, то у якості узагальненого ПЕ використовують наступне співвідношення:

$$W_0 = \frac{\prod_{i=1}^{m_1} W_i}{\prod_{i=m_{1+1}}^{\kappa} W_i} \tag{8.27}$$

тут $i = \overline{1, m_1}$ - номери показників, значення яких бажано збільшувати, а $i = \overline{m_{1+1}, \kappa}$ - номери показників, значення яких бажано зменшувати.

Часто перша група показників ототожнюється з цільовим ефектом, а друга -с витратами на його досягнення. При цьому показники не обов'язково повинні бути однорідними.

Метод цільового програмування

Основою методу є згортання особистісних ПЕ в узагальнений показник.

$$W_0 = \sum_{i=1}^{m_1} g_i (W_i - W_{in})^2 \tag{8.28}$$

тут W_{in} - ідеальне значення приватного ПЕ W_i.

Як ситуацію, що ілюструє застосування даного підходу, розглянемо вибір одного з двох місць роботи, кожне з яких характеризується розміром зарплати (W_1), тривалістю відпустки (W_2) і часом, що витрачається на дорогу (W_3). Якщо визначити для себе бажане значення для кожного з цих показників (відповідно W_1, W_2 і W_3), то узагальнений ПЕ виглядатиме так:

$$W_0 = \sum_{i=1}^{3} g_i (W_i - W_{in})^2 \cdot$$

В цьому випадку буде вибрано таке місце роботи, для якого відхилення реальних характеристик від бажаних є найменшим.

Метод головного показника

Якщо особа, що приймає рішення рахує, що цільовий ефект досяжний в основному у наслідок збільшення одного («головного») особистісного ПЕ, то початкове завдання може бути зведене до завдання оптимізації за цим показником за умови, що значення інших будуть не нижче заданих.

Загальним недоліком перерахованих методів є залежність від деяких евристичних допущень, що задаються ОПР, тому ці рішення можуть не забезпечити дійсно кращої стратегії поведінки. Їх перевага - відносна простота реалізації.

У тих випадках, коли неможливо провести згортку векторного ПЕ, тобто привести до скалярного вигляду необхідно використовувати один з аксіоматичних методів.

Ці методи засновані на використанні поняття ***Парето-оптимальності*** (за прізвищем італійського економіста В. Парето). Стра-

тегія називається Парето - оптимальною (ефективною), якщо вона за всіма показниками не гірше за будь-яку стратегію з допустимої множини і краще хоч би за одним з них (при взаємній незалежності особистісних ПЕ). Щоб вибрати одну з декількох ефективних стратегій, необхідно мати в своєму розпорядженні додаткову інформацію. Ця інформація повинна дозволити ОПР упорядкувати особистісні ПЕ за їх важливості, після чого можуть бути використані, наприклад, розглянуті вище методи згортки.

Як відомо, АСУ є сукупністю одного або декількох функціонально взаємозв'язаних комплексів технічних засобів, призначених для вирішення різних завдань контролю і управління, залежно від призначення системи.

Відзначимо, що під застосуванням комплексів і систем що входять в АСУ слід розуміти їх цільове організоване використання для вирішення завдань управління, наприклад виробництвом.

Зауваження. Під функціональними можливостями АСУ, в загальному випадку, розуміють кількісні і якісні показники, що характеризують можливості комплексів і систем, що входять в АСУ вирішувати певні задачі управління за встановлений час в конкретних умовах. Ступінь реалізації можливостей АСУ характеризується, як вказано вище, ефективністю її застосування.

Таким чином, показник ефективності застосування АСУ повинен бути комплексним, таким, що враховує достатньо повно всі технічні властивості АСУ:

$$K_{еф} = W_в W_{цф} W_п W_д W_т I_п \qquad (8.29)$$

де $W_в$ - вірогідність відмови (несправності) АСУ;

$W_{цф}$ - вірогідність виконання цільової функції АСУ;

$W_п$ - вірогідність надійної передачі інформації;

$W_д$ - достовірність дешифрування інформації;

$W_т$ - вірогідність справності технічних засобів;

$I_п$ - об'єм оброблюваної інформації.

Для оцінки ефективності АСУ з урахуванням економічних витрат дометано ввести критерій економічності.

Розглянемо можливі підходи до оцінки ефективності функціонування засобів АСУ.

Для оцінки ефективності функціонування АСУ дометано спочатку виконати її декомпозицію. Як відомо, АСУ можна представити у вигляді декількох підсистем. Оцінку ефективності дометано проводити для кожної підсистеми, а узагальнений показник ефективності АСУ сформувати у вигляді векторної або скалярної згортки.

В той же час кожну підсистему можна представити у вигляді двох основних компонентів: технічних засобів і комплексу програмно-алгоритмічних засобів. Для оцінки кожної підсистеми необхідно виявити

основні показники, які її характеризують.

Як відомо, знаючи точність отримання одиничних вимірювань, задану в технічних характеристиках, можемо визначити потенційну точність оцінки параметрів об'єкту управління.

Оцінити ефективність АСУ можна за допомогою співвідношення

$$E_1 = I_1 E_{CT} + I_2 E_{CП} \qquad (8.30)$$

де E_{CT} - оцінка ефективності технічної частини АСУ;

E_{CT} - оцінка ефективності програмно-алгоритмічного комплексу АСУ;

I_1, I_2 - коефіцієнти, що враховують роль складових.

Показник ефективності функціонування технічних засобів в АСУ $W(u)$ в операції є міра ступеня відповідності реального результату, отриманому від застосування АСУ в операції - потрібному. Основною вимогою при виборі показника ефективності є відповідність показника меті операції, яка відображається необхідним результатом Y''.

Для опису відповідності реального результату X операції потрібному формально вводять числову функцію на безлічі результатів операції:

$$\rho = \rho(Y(u), Y'') \qquad (8.31)$$

яку називають ***функцією відповідності***. Ця функція показує ступінь досягнення мети операції, а конкретний вигляд функції відповідності залежить від мети операції, в якій застосовують технічні засоби АСУ, завдання дослідження і інших чинників. У детермінованому випадку функція відповідності служить показником ефективності застосування АСУ. Якщо результат застосування АСУ в операції виражається випадковою змінною, то запис $X(u)$ означає, що розподіл X залежить від вибраної стратегії управління $u \in U$.

Введення в розгляд функції відповідності (8.31) дозволяє прийняти математичне очікування цієї функції як показник ефективності $W(u)$, тобто

$$W(u) = M[\rho(Y(u)Y'')] . \qquad (8.32)$$

Аналогічно можна поступити і з іншими підсистемами АСУ.

Оцінку ефективності АСУ в цілому можна виконати з використанням відношення:

$$E = k_1 E_1 + k_2 E_2 + k_3 E_3 + k_4 E_4 \qquad (8.33)$$

де: E_1 - оцінка ефективності системи збору первинної інформації;

E_2 - оцінка ефективності системи управління;

E_3 - оцінка ефективності системи передачі даних;

E_4 - оцінка ефективності системи виконання команд;

$k_1 ... k_4$ - коефіцієнти, що визначаються на основі експертних оцінок.

8.3. Методологічні рівні і принципи дослідження ефективності АСУ

Для аналізу ефективності функціонування АСУ дометано введення чотирьох якісно різних методологічних рівнів. (рис. 8.4):

1 рівень - "склад - властивості" (елементарний рівень);

2 рівень - "структура - функції" (агрегатний рівень);

3 рівень - "організація - поведінка" (системний рівень);

4 рівень - "мета система - діяльність"

Перший рівень охоплює прийоми і методи дослідження елементів АСУ, їх склад, властивості на стадіях створення або застосування. На цьому рівні аналізуються різні властивості елементів, виявляються їх конструктивні, експлуатаційні, економічні, інші характеристики. Методами теорії ефективності на даному рівні досліджується, в основному, якість елементів системи як сукупність їх корисних властивостей. При цьому головним завданням вважається визначення, з використанням показників якості, кількісних характеристик властивостей АСУ і обгрунтування критеріїв якості функціонування елементів системи. На цьому рівні поняття ефективності системи ще не вводиться, оскільки система і цілеспрямований процес її функціонування не розглядаються.

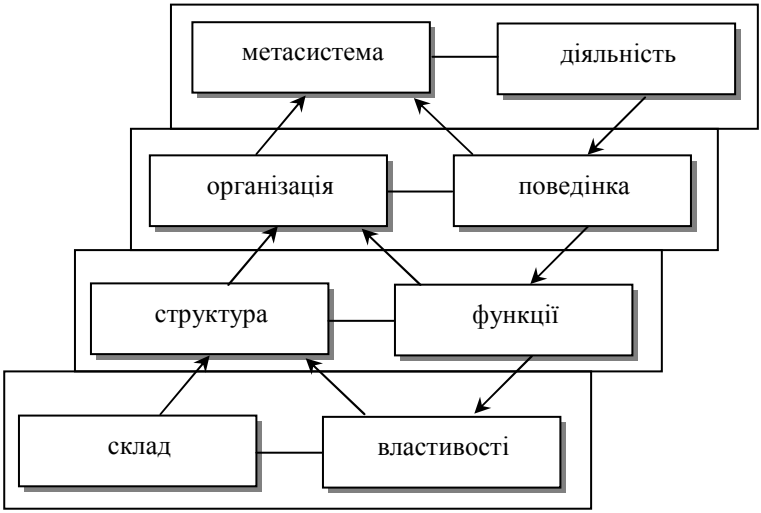


Рис 8.4. Схема методологічних рівнів аналізу АСУ

Об'єктом досліджень на ***другому рівні*** є операції, що проводяться в рамках функцій АСУ. Ефективність автоматизованої системи, що вивчається на даному рівні, може бути достатньо адекватно відбита, як правило, скалярним (узагальненим) показником. Системи даного рівня мають відносно просту структуру, зв'язки між елементами стабільні, їх число і різноманітність невелике, а самі вони розглядаються як підсистеми деякої складнішої системи.

На ***третьому рівні*** досліджуються великомасштабні АСУ. Зазвичай ефективність застосування таких автоматизованих систем виявляється як їх багатовимірна властивість, яку далеко не завжди вдається адекватно відобразити скалярним показником ефективності. Частіше доводиться використовувати векторний показник. Системи даного рівня є великими людино-машинними системами з складною ієрархічною структурою. Вони включають в свій склад підсистеми (автоматизовані системи управління, інформаційна підсистема і т.п.), складність яких не перевищує складності систем другого рівня дослідження. Зв'язки між підсистемами і їх інтенсивність може змінюватися в часі а залежності від оперативної обстановки, що складається, на об'єктах управління і ступеня дії зовнішнього середовища. Системи даного рівня здатні до самоорганізації. Основа функціонування таких систем будується зазвичай на концепції адаптивності. Наявність в такій АСУ технічної обслуги, наділеної правом приймати рішення відповідно до своїх особистісних цілей, вносить невизначеність, яка зв’язана з варіантами їх можливою поведінки і значною мірою утрудняє формалізований опис системи.

На рівні "метасистема - діяльність" досліджуються глобальні системи (метасистеми), що включають в свій склад розглянуті крупномсштабні системи третього рівня. Як метасистема можуть розглядатися економічні, військово-політичні, господарські і інші крупні об'єднання державного і міжнародного рівня.

Системний підхід є основною методологічною установкою дослідження АСУ. Системний аналіз є спосіб реалізації системного підходу до дослідження ефективності АСУ, в основі якого лежить концепція метасистеми. Суть цієї концепції зводиться до наступного. АСУ, що досліджується розглядається не ізольовано, а як невід'ємна складова частина метасистеми. З позицій метасистеми визначається корисність системи, що досліджується, яка виражається її ефективністю. А ефективність пов'язана не тільки з властивостями цієї системи, але і з властивостями метасистеми. Таким чином, системний підхід об'єднує дослідження на третьому і четвертому методологічних рівнях.

Важливим принципом системного аналізу ефективності технічних систем є принцип декомпозиції систем. Принцип декомпозиції виступає як

засіб, що дозволяє знижувати рівень складності досліджень, що проводяться в процесі створення і застосування систем.

Системні дослідження ефективності в залежності, від ступеня узагальнення чинників, що враховуються, можна розділити на узагальнені і детальні. В рамках узагальнених досліджень залежно від цілей аналізу ефективності виділяють концептуальний і операційний рівні.

Метою ***концептуального дослідження*** (проектування) є встановлення загальних тенденцій розвитку процесу, що вивчається, форм і способів його організації, розробку концепцій зі всіх основних питань організації і проведення великомасштабних операцій (створення, застосування АСУ). Це дослідження проводиться з позицій метасистеми і організовується в основному на четвертому і на третьому методологічних рівнях. Ступінь узагальнення чинників тут найбільш висока.

Концептуальні дослідження, як правило, проводяться на ранніх етапах прийняття рішень зі створення систем для визначення областей можливого застосування АСУ, які встановлюються неформальним шляхом.

Операційні дослідження мають на меті докладніше вивчення напрямів і варіантів побудови технічних систем в рамках концепцій, рекомендованих до подальшого аналізу концептуальним дослідженням. Ступінь узагальнення чинників тут нижче, ніж при концептуальних дослідженнях, що дозволяє визначити функціональні структури операцій, технічні засоби, які повинні приводити до досягнення поставлених завдань, а також переліки завдань конкретним підсистемам і засобам, показники і критерії їх виконання, самі підсистеми і зв'язки між ними.

Операційні дослідження організовуються на другому і частково на третьому методологічних рівнях. При цьому вирішується загальне завдання розробки практичних рекомендацій за вибором стратегії управління і варіанту побудови технічних систем другого і третього рівня. Концептуальні і операційні дослідження складають основний зміст обґрунтування розробки (системного проектування) АСУ.

Останній рівень декомпозиції загального завдання дослідження ефективності АСУ припускає ***детальне дослідження*** питань, що стосуються змісту конкретних технічних засобів. Детальні дослідження складають основний зміст дослідно-конструкторських робіт із створення АСУ. Детальне дослідження припускає аналіз якості підсистем, їх елементів, що входять до складу систем, що розглядаються на другому і третьому методологічних рівнях. Ці дослідження проводяться, як правило, на першому рівні і для них характерний низький ступінь узагальнення чинників.

В процесі розробки або застосування АСУ виникає завдання порівняння вибраних варіантів технічних рішень або стратегій управління об'єктами. Загальний підхід до оцінювання ефективності АСУ в процесі її роз-

робки припускає виділення наступних етапів:

1) проблемний аналіз;
2) концептуальні дослідження;
3) операційні дослідження;
4) детальні дослідження;
5) прийняття рішення.

На рис. 8.5 надана схема основних етапів дослідження ефективності АСУ і показаний зв'язок між ними.

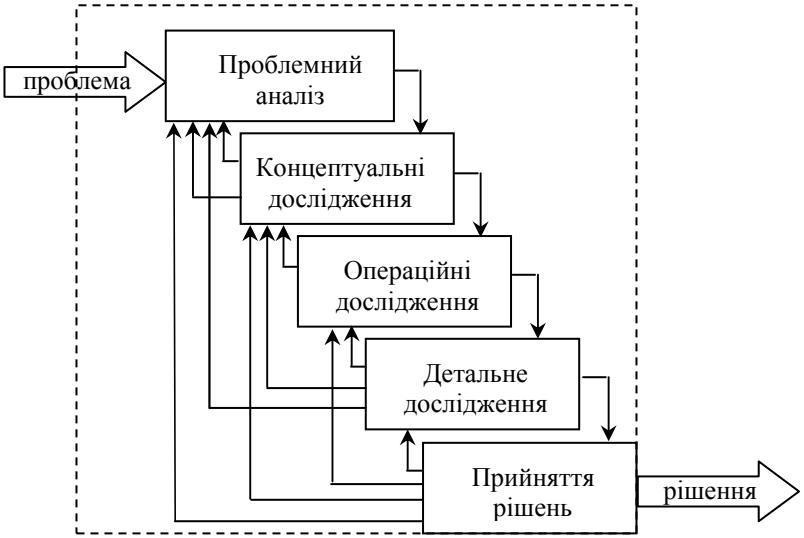


Рис 8.5. Основні етапи дослідження ефективності АСУ

Проблемний аналіз припускає рішення наступних основних задач при створенні АСУ:

- обґрунтування необхідності створення АСУ, як засоба для вирішення певної проблеми;
- оцінювання і прогноз експлуатаційних і кліматичних умов, в яких застосовуватиметься АСУ;
- визначення "глобальної мети застосування АСУ, декомпозиція глобальної мети на особистісні цілі;
- аналіз розвитку науки і техніки в даній області, пошук можливих шляхів досягнення мети створення АСУ і визначення істотних обмежень (економічних, технічних і ін.), що впливають на вибір технічних рішень;

- формування, аналіз і вибір найбільш дометаних альтернативних особистісних цілей, досягнення яких вирішує проблему ефективного застосування АСУ;
- вибирання засобів досягнення мети, визначення узагальнених властивостей АСУ (технічних, ергономічних і т.п.), обґрунтування рівня їх якості $\boldsymbol{\Pi = \{\pi_1, \pi_2, ..., \pi_k\}}$, оцінка наявних і необхідних ресурсів;
- комплексне рішення задачі дослідження ефективності АСУ на стадії її створення.

Проблемний аналіз безпосередньо не входить в дослідження ефективності системи, але є складовою частиною системного проектування АСУ.

Безпосереднє оцінювання ефективності АСУ та її елементів починається в процесі ***концептуального дослідження***, в ході якого вирішуються наступні основні завдання:

- опис і аналіз поведінки (діяльності) системи управління вищестоящого рівня при реалізації заходів щодо досягнення поставленої мети;
- виділення АСУ, що проектується із загальної структури вищестоящої системи управління і встановлення її рівня ієрархії $\boldsymbol{\mu}$;
- обґрунтування ієрархічного рівня дослідження ефективності застосування АСУ $\boldsymbol{\nu = \{1,2,3,4\}}$;
- обґрунтування принципів побудови АСУ і концепції її оптимального функціонування $\boldsymbol{\gamma}$;
- розробка можливих варіантів поведінки суб'єктів системи при досяганні глобальної і особистісних цілей АСУ;
- обґрунтування і вибір сукупності стратегій управління для осіб, що приймають рішення, визначення системи обмежень, що формулюються в результаті аналізу завдань поставлених вищестоящою системою управління;
- вибір узагальнених показників ефективності застосування АСУ в операції, конкретизація корисних ефектів від застосування системи, визначення необхідних на це витрат і обґрунтування на їх основі кількісних шкал показників;
- обґрунтування принципу розробки концептуального рішення і введення на цій основі критерію ефективності застосування АСУ при реалізації глобальної мети і особистісних критеріїв ефективності, що характеризують особистісні цілі функціонування системи;
- побудова загальною і особистісних математичних моделей функціонування і експлуатації АСУ в цілому і її підсистем, а також виявлення чинників, що впливають на результат функціонування системи;
- розподіл функцій АСУ за рівнями ієрархії і обґрунтування основних організаційно-технічних принципів побудови системи взаємодії люди-

ни з технічними засобами АСУ;

- обґрунтування структури АСУ і дослідження її ефективності в рамках структурного синтезу.

Операційні дослідження направлені на деталізацію і уточнення завдань, що вирішуються в процесі концептуальних досліджень. При цьому вирішуються наступні основні завдання:

- формулювання завдання операційного дослідження;
- оцінка наявної інформації і збір при необхідності додаткових даних потрібних для вирішення конкретних завдань даного етапу;
- формування (уточнення) безлічі стратегій проектування АСУ і її складових частин;
- уточнення характеристик технічних засобів, опис їх властивостей, оцінка необхідних ресурсів;
- визначення сукупності завдань і їх взаємозв'язку, що вирішуються в рамках кожної функції АСУ, обґрунтування етапів і алгоритмів їх реалізації;
- вибір способу і засобів математичного моделювання процесів функціонування АСУ і обґрунтування характеристик програмно-алгоритмічних засобів;
- розробка математичної моделі функціонування АСУ, встановлення переліку первинних даних і уточнення обмежуючих умов;
- уточнення показників і критеріїв ефективності АСУ;
- математичне моделювання процесів, що досліджуються і розробку рекомендацій для прийняття проектних рішень.

Детальні дослідження проводяться в рамках дослідно-конструкторських робіт із створення АСУ. При цьому вирішуються наступні основні завдання:

- формулювання завдання детального дослідження;
- уточнення вимог до якості елементів АСУ;
- узгодження і вибір показників і критеріїв оцінки якості технічних засобів;
- експериментальні дослідження правильності прийняття технічних рішень і визначення характеристик їх якості, за допомогою математичних моделей, макетів і дослідних зразків елементів структури АСУ;
- рішення задачі відповідності необхідній якості елементів комплексу технічних засобів, програмного забезпечення і ергатичної ланки АСУ.

З формальної точки зору на етапі проблемного аналізу реалізується відображення

$$\lambda_0 * \Pi \rightarrow M_1 \qquad (8.34)$$

де M_1 безліч описів технічних підсистем, що входять в АСУ.

Відображення (8.34) кожній парі ***мета → засіб її досягнення*** ставить у відповідність конкретний системний опис АСУ, сукупність технічних засобів якої з певними заданими властивостями здатна раціонально вирішити проблему створення автоматизованої системи.

На етапі концептуальних досліджень реалізується відображення

$$M_1 * \mu * \nu * \gamma \rightarrow M_2 \qquad (8.35)$$

де M_2 - безліч варіантів зовнішнього доповнення з конкретним описом АСУ, що розробляється.

Операційне дослідження формально можна представити відображенням

$$M_2 * D \rightarrow u^* \qquad (8.36)$$

де D - безліч варіантів первинних даних завдання вибору оптимального рішення при побудові або експлуатації АСУ;

u - безліч раціональних рішень при різних варіантах первинних даних.

Етап прийняття рішення реалізує відображення

$$u^* * \delta \rightarrow U^* \qquad (8.37)$$

де δ - безліч можливих ситуацій, що склалися до моменту прийняття рішення.

Послідовна реалізація відображень (8.34 - 8.37) є формальною схемою дослідження ефективності АСУ.

Для теорії ефективності має основоположне значення принцип зовнішнього доповнення, який слідує з ***теореми Геделя*** про неповноту формальних систем. Згідно цієї теореми в рамках деякої формальної системи неможливо вивести всі дійсні твердження, що відносяться до об'єктів, які описуються засобами цієї формальної системи. Необхідна інша, ширша система, в межах якої формуються принципові положення для систем нижчого рівня, тобто необхідне зовнішнє доповнення.

Роль зовнішнього доповнення дозволяє у певній міри виділити з метасистеми систему, що вивчається на третьому рівні, як деяку цілісну структуру, висунути припущення відносно поведінки осіб, що приймають рішення і тим самим перейти до формалізованого опису систем на рівні "організація-поведінка". Таким чином, тільки на рівні "метасистема-діяльність" можна теоретично прогнозувати поведінку систем нижчестоячих рівнів.

Зважаючи на відсутність зовнішнього доповнення для самої метасистеми вона не формалізується і описується тільки на вербальному рівні. Сприйняти у такому вигляді зовнішнє доповнення може лише людина. От чому участь людини принципово необхідна в ланці управління системи третього рівня.

8.4. Питання до розділу 8

1. Дайте визначення поняттю ефективність.
2. Чим визначається ефективність АСУ.
3. Облік яких складових обов'язковий при оцінюванні ефективності системи.
4. Дайте визначення поняттю ефективність у широкому сенсі.
5. Дайте визначення поняттю цільова ефективність.
6. Дайте визначення поняттю технічна ефективність.
7. Дайте визначення поняттю економічна ефективність
8. Дайте визначення поняттю ефективність управління.
9. Дайте визначення поняттю критерій ефективності.
10. Дайте визначення поняттю векторний показник ефективності.
11. Дайте визначення концепції придатності, як концепції раціональної поведінки системи.
12. Дайте визначення концепції оптимізації, як концепції раціональної поведінки системи.
13. Дайте визначення концепції адаптивності, як концепції раціональної поведінки системи.
14. З яких припущень вибирають критерій прийнятного результату.
15. Дайте визначення поняттю критерій допустимої гарантії.
16. Дайте визначення поняттю критерій допустимого гарантованого результату.
17. Дайте визначення поняттю критерій найбільшого результату.
18. Дайте визначення поняттю критерій найбільшого середнього результату.
19. Дайте визначення поняттю критерій найбільшої вірогідності гарантії результату.
20. Дайте визначення поняттю критерій найбільшого гарантованого результату.
21. В чому полягає сутність принципу вибору (селекції) раціональної поведінки складної системи.
22. В чому полягає сутність принципу свободи вибору рішень раціональної поведінки складної системи.
23. В чому полягає сутність принципу самонавчання складної системи.
24. Дайте визначення поняттю диференційний показник ефективності.
25. Дайте визначення поняттю інтегральний показник ефективності.
26. Дайте визначення поняттю комплексний показник ефективності системи.
27. Дайте визначення поняттю функція відповідності.

28. В чому полягає сутність методу узагальненого показника який використовується при формування вирішального правила.

29. В чому полягає сутність методу «витрати / ефект» який використовується при формування вирішального правила.

30. В чому полягає сутність методу цільового програмування який використовується при формування вирішального правила.

31. В чому полягає сутність методу головного показника який використовується при формування вирішального правила.

32. В чому полягає сутність методів які використовують принципи Парето – оптимальності.

33. Наведіть вираз, що дозволяє виконати оцінку ефективності АСУ в цілому.

34. В чому полягає сутність першого методологічного рівня аналізу ефективності функціонування АСУ.

35. В чому полягає сутність другого методологічного рівня аналізу ефективності функціонування АСУ.

36. В чому полягає сутність третього методологічного рівня аналізу ефективності функціонування АСУ.

37. В чому полягає сутність четвертого методологічного рівня аналізу ефективності функціонування АСУ.

38. У чому полягає мета концептуального дослідження ефективності АСУ.

39. У чому полягає мета детального дослідження ефективності АСУ.

40. У чому полягає мета операційного дослідження ефективності АСУ.

41. Які завдання підлягають вирішенню при створенні АСУ з точки зору проблемного аналізу.

42. Які завдання підлягають вирішенню при концептуальному дослідженні АСУ.

43. Які завдання підлягають вирішенню при операційному дослідженні АСУ.

Література

1. Артюх С.Ф., Дуэль М.А., Шелепов И.Г. «Автоматизированные системы управления технологическими процессами в энергетике». Харьков: 2001.- 392 с.

2. Барсов В.І., Прокопенко О.О., Ігуменцев Є.О., Бовдуй І.В. Математичні засоби автоматизованих систем управління виробництвом. Методичні рекомендації завиконанню курсового проекту. – Харків: УІПА, 2005. – 44 с.

3. Барсов В.І., Залевський Г.С., Сачук І.І.. Моделювання і оптимізація автоматизованих систем управління виробництвом. Методичні рекомендації завиконанню курсового проекту. – Харків: УІПА, 2006. – 39 с.

4. Барсов В.І. Дипломне проектування. Методичні вказівки для студентів денної і заочної форм навчання. – Харків: УІПА, 2005. – 36 с.

5. Барсов В.І., Кузнецов Б.І., Василець Т.Ю. Автоматизовані системи управління типових промислових установок. Методичні рекомендації завиконанню курсового проекту. – Харків: УІПА, 2005. – 56 с.

6. Барсов В.І. Сорока Л.С., Краснобаєв В.А., Хері А.А. Моделі і методи підвищення відмовостійкості і продуктивності управляючих обчислювальних комплексів спеціалізованих систем управління реального часу на основі застосування непозиційних кодових структур модулярної арифметики: Монографія. – Х.: МОН, УІПА, 2008. 147-с. (рос. мовою).

7. Барсов В.І., Краснобаєв В.А., Фурман І.А., Маліновский М.Л. Системи обробки інформації та управління АСУ ТП на підставі застосування кодів модулярної арифметики: Монографія. – Х.: МОН, УІПА, 2009. 145-с. (рос. мовою).

8. Берёза А.С., Основы построения АСУ. В 2 т. - Харьков: ХВУ, 1996.-565 с.

9. Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н. Лекции затеории сложных систем.- М.: Сов. радио. 1973. - 439 с.

10. Глушков В.М. «Введение в АСУ», Киев: «Техніка», 1974. -320 с.

11. Денисов А.А., Колесников Д.Н. Теория больших систем управления: Учебное пособие для вузов. -Л.: Энергоиздат, Ленинград, отделение, 1982. - 288 с.

12. Искусственный интеллект: применение в интегрированных производственных системах / Под ред. Э. Кьюсиака; Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1995. – 544 с.

13. Квасный Р. Искусственный интеллект – ресурс Интернета, http://neural.narod.ru/, 2001.

14. Коршунов Ю.М. Математические основы кибернетики. – М.: Энергия, 1980. – 424 с.

15. Кузнецов Ю.Н., Кузубов В.И. , Волощенко А. Б. Математическое программирование. Учебное пособие – Москва: ВШ. 1980.- 300 с.

16. Кузнецов А.В., Холод Н.И., Костевич Л.С. Руководство к решению задач заматематическому программированию. – Минск: ВШ, 1978. – 404 с.

17. Либерман .Е.А. Молекулярная вычислительная машина клетки (МВМ). Общие соображения и гипотезы // Биофизика. 1972. Т.17. N.5. С.932-943.

18. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем: Пер. с англ. - М.: Мир, 1973. - 344 с.

19. Нечипоренко В.И. Структурный анализ систем. - М.: Сов. радио, 1977. - 216 с.

20. Общесистемное проектирование АСУ реального времени / Володин С.В., Макаров А.Н., Умрихин Ю.Д., Фараджев В.А./ Под ред. Шабалина В.А.. М.: Радио и связь, 1984. - 232 с.

21. Перегудов Ф.-И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ: Учебн.пособие для вузов. - М.: ВШ, 1989. - 367 с.

22. Стефани Е.П. Основы построения АСУ ТП. М.: ЭАИ, 1974. – 318 с.

23. Саакян Ю.З., Цитоловский Л.Е. Модель химической памяти нейрона // Биофизика. 1990. Т.35. N.3. С.518-519.

24. Саакян Ю.З., Россохин А.В., Цитоловский Л.Е. Математическая модель пластичности нейрона // Биофизика. 1993. Т.38. N.3. С.471-477.

25. Технические эргатические системы. - Киев: "Вища школа", 1977. - 344 с.

26. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника. Теория и практика. М.: Мир, 1972. - 238 с.

27. Фон Нейман Дж. Теория самовоспроизводящихся автоматов. М.: Мир, 1971. - 382 с.

28. Фон Нейман Дж. Вероятностная логика и синтез надежных организмов из ненадежных компонент. // Автоматы, под ред. Шеннона К.Э. и Маккарти Дж. М.: ИЛ, 1956. С. 68 - 139.

29. Фомин С.В., Беркенблит М.Б. Математические проблемы в биологии. М.: Наука, 1973. - 200 с.

30. Фролов А.А., Муравьев И.П. Нейронные модели ассоциативной памяти. М.: Наука, 1987. - 160 с.

31. Фролов А.А., Муравьев И.П. Информационные характеристики нейронных сетей. М.: Наука, 1988. - 160 с.

32. Хетагуров Я.А., Древе Ю.Г. Проектирование информационно-вычислительных комплексов. - М.: ВШ, 1987. - 280 с.

33. Хакен Г. Информация и самоорганизация: Макроскопический

подход к сложным системам. М.: Мир, 1991. - 240 с.

34. Шихов Е. Варианты реализации искусственного интеллекта – ресурс Интернета, http://neural.narod.ru/, 2002.

35. Эффективность технических систем: Справочник. Т.3 / Под ред. В.Ф.Уткина, Ю.В.Крючкова // Надежность и эффективность в технике: В 10 т. - Ш.: Машиностроение, 1988. - 328 с.

36. Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г. Линейное программирование. – Москва: Наука – 1969. – 384 с.

37. Amari S. Mathematical foundations of neurocomputing // Proceedings of the IEEE. 1990. V.78. N.9. P.1443-1462.

38. Amari S. Dualistic geometry of manifold of higher-order neurons // Neural networks. 1991. V.4. P.443-451.

39. Amit D.J., Gutfreund H., Sompolinsky H. Spin-glass model of neural networks // Physical Review A. 1985. V.32. N.2. P.1007-1018.

40. D.R Perley. Migrating to Open Systems: Taming he Tiger. McGraw-Hill, 1993, p.252.

41. F. Hayes-Roth, N. Jacobstein. The State of Enowledge-Based Systems. Communications of the ACM, March, 1994, v.37, n.3, pp.27-39.

42. P. Harmon. The Size of the Commercial AI Market in the US. Intelligent Software Strategies. 1994, v.10, n.1, pp. 1-6.

43. P. Harmon. The AI Tools Market The Market for Intelligent Software Building Tools. Part I. Intelligent Softwane Strategies, 1994, v 10, n.2, pp.1-14.

44. P. Harmon. The market for intelligent software pnducts Intelligent Software Strategies, 1992, v.8, n.2, pp.5-12.

45. B.R. Clements and F. Preto. Evaluating Commencial Real Time Expert System Software for Use in the Process Industries. C&I, 1993, pp. 107-114.

46. B. Moore et al. Questions and Answers about G2. 1993. Gensym Corporation. pp.26-28.

47. Fukushima K. Neocognitron: A hierarchical neural network capable for visual pattern recognition // Neural networks. 1988. V.1. N.2. P.119-130.

Наукове видання

Барсов Валерій Ігорович
Одарущенко Олег Миколайович
Краснобаєв Віктор Анатолійович
Тиртишніков Олексій Іванович
Барсова Зоя Валеріївна

Основи побудови АСУ

підручник

Відповідальний за випуск – Барсов В.І.
Комп'ютерна верстка та технічне редагування – Контилева О.О.

Підписано до друку . .2012р.
Формат 60х84 1/16 папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Офсетний друк. Умов. друк. арк. .
Тираж 500 примірників.

Віддруковано