

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»



М.С. Пушкар, С.М. Проценко

## ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Навчальний посібник

Дніпропетровськ  
НГУ  
2013

УДК 681.5:622 (075.8)

ББК 32.965 я7

П 91

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів напряму підготовки «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (лист № 1/11-8559 від 20.05.2013 р).*

Рецензенти:

*В.С. Моркун*, д-р техн. наук, професор, керівник науково-дослідної частини (Державний національний вищий навчальний заклад «Криворізький технічний університет»);

*О.В. Садовий*, д-р техн. наук, професор, проректор з наукової роботи, завідувач кафедри електромеханіки (Державний вищий навчальний заклад «Дніпродзержинський технічний університет»).

**Пушкар, М.С.**

П91 Проектування систем автоматизації [Текст]: навч. посібник / М.С. Пушкар, С.М. Проценко – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 269 с.

ISBN 978 – 966 – 350 – 423 – 0

У навчальному посібнику викладені загальні питання проектування систем автоматизації, наведені властивості об'єктів і систем керування, життєвий цикл систем і роботи з проектування на кожному етапі цього циклу, наведена послідовність проектування АСКТП, а також зміст і склад технічної документації на кожному етапі проектування, детально розглянуті принципи і правила побудови різних схем, у тому числі мікропроцесорних і схем живлення, а також правила вибору технічних засобів автоматизації, у подробицях розглянуто проектування пунктів керування.

Книга стане у пригоді студентам ВНЗ галузі знань 0502 «Автоматика та управління» напряму підготовки 050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Посібник може бути також корисним студентам інших напрямів, де вивчаються питання проектування систем автоматичного керування.

УДК 681.5:622 (075.8)

ББК 32.965 я7

© М.С. Пушкар, С.М. Проценко, 2013

© Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2013

ISBN 978 – 966 – 350 – 423 – 0

## ЗМІСТ

	Стор.
ПЕРЕДМОВА.....	7
1. ОБ'ЄКТИ І СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	9
1.1. Постановка та розв'язання задач проектування.....	9
1.1.1. Мета і задачі проектування.....	9
1.1.2. Життєвий цикл систем керування.....	10
1.1.3. Маркетингова обробка проекту системи керування.....	11
1.2. Аналіз об'єктів керування.....	14
1.2.1. Структура, види і загальна характеристика об'єктів керування.....	14
1.2.2. Класифікація об'єктів керування.....	16
1.2.3. Основні властивості об'єктів керування .....	19
1.3. Аналіз систем керування.....	23
1.3.1. Класифікація систем керування.....	23
1.3.2. Основні властивості систем керування.....	29
1.3.3. Надійність в АСКТП.....	34
2. ПОСЛІДОВНІСТЬ ПРОЕКТУВАННЯ АСКТП.....	42
2.1. Термінологія, зміст і склад технічної документації.....	42
2.1.1. Етапи та стадії проектування АСКТП.....	42
2.1.2. Стадії проектування АСКТП.....	47
2.1.3. Вихідні дані для проектування.....	53
2.2. Виконання проектних робіт.....	59
2.2.1. Стадія формування вимог до АСКТП.....	59
2.2.2. Стадія «Розробка концепції АСКТП».....	60
2.2.3. Технічне завдання на створення АСКТП.....	62
2.2.4. Розробка технічного проекту АСКТП.....	64
2.2.5. Робочий проект (робоча документація).....	64
2.2.6. Взаємодія і відповідальність підрозділів в процесі створення АСКТП .....	65
2.3. Монтажні роботи і налаштування.....	67
2.3.1. Монтаж і пусконаладження.....	67
2.3.2. Порядок контролю і приймання.....	67
2.4. Вимоги до документування.....	73
2.4.1. Вимоги до змісту документів.....	73
2.4.2. Склад документації технічного проекту.....	74
2.4.3. Склад документації робочого (техноробочого) проекту АСКТП.....	75
2.4.4. Узгодження і твердження проектної документації АСКТП... ..	78
2.4.5. Впровадження АСКТП.....	79
2.5. Науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи.....	80
2.5.1. Основні етапи і стадії проведення НДР і ДКР об'єктів.....	80
2.5.2. Порядок оформлення технічних завдань на дослідно-конструкторські роботи.....	81
2.5.3. Попереднє проектування.....	83

2.5.4.	Ескізне проектування.....	84
2.5.5.	Технічне проектування.....	86
2.5.6.	Випробування у процесі проектування.....	87
2.5.7.	Серійне виробництво.....	89
3.	РОЗРОБКА І ВИКОНАННЯ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ В АСКТП.....	92
3.1.	Види і типи схем, правила їх виконання.....	92
3.2.	Вибір, розробка і виконання схем автоматизації та сигналізації в АСКТП.....	97
3.2.1.	Вибір і розробка структурної схеми АСКТП.....	99
3.2.2.	Виконання структурних схем автоматизації.....	100
3.2.3.	Розробка і виконання алгоритмічних структурних схем автоматизації.....	102
3.2.4.	Розробка функціональних схем автоматизації.....	104
3.3.	Виконання функціональних схем.....	106
3.3.1.	Зображення технологічного устаткування і комунікацій на функціональних схемах.....	106
3.3.2.	Зображення засобів автоматизації і їх позиційне позначення.....	108
3.3.3.	Способи і прийоми виконання функціональних схем автоматизації.....	117
3.4.	Розробка принципів схем автоматизації.....	122
3.4.1.	Загальні положення.....	122
3.4.2.	Розробка електричних принципів схем.....	122
3.4.3.	Виконання електричних схем.....	126
3.4.4.	Виконання електричних схем з'єднання, підключення, загальних і розташування.....	137
3.4.5.	Умовні літеро-цифрові позначення кіл і елементів схем.....	142
3.4.6.	Виконання переліку елементів.....	148
3.5.	Проектування принципів пневматичних схем автоматизації.....	152
3.5.1.	Пневматичні засоби систем автоматизації та принципи їх застосування.....	152
3.5.2.	Зображення принципів пневматичних схем автоматизації.....	160
4.	ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	163
4.1.	Стан питання.....	163
4.2.	Вибір датчиків.....	164
4.2.1.	Вибір датчиків температури.....	164
4.2.2.	Вибір датчиків тиску.....	165
4.2.3.	Вибір датчиків витрати.....	165
4.3.	Вибір проміжних перетворювачів.....	167
4.4.	Вибір засобів відображення інформації.....	167
4.5.	Вибір вторинних приладів.....	168
4.6.	Вибір автоматичних регуляторів і виконавчих пристроїв.....	168

4.7.	Вибір засобів передачі інформації.....	170
5.	<b>ПРОЕКТУВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ.....</b>	<b>173</b>
5.1.	Рівні проектування мікропроцесорних пристроїв .....	173
5.2.	Основні характеристики мікропроцесорних систем.....	177
5.3.	Проектування систем керування безперервними об'єктами.....	181
5.4.	Розробка програмного забезпечення для мікропроцесорних систем.....	182
5.5.	Налагодження.....	183
5.6.	Приклад створення системи керування на базі мікроконтролера фірми Microsoft.....	186
5.7.	Розробка програмного забезпечення для програмувальних логічних контролерів.....	190
5.8.	Розробка програмного забезпечення для IBM-PC сумісних контролерів.....	194
6.	<b>ПРОЕКТУВАННЯ ПРИНЦИПОВИХ СХЕМ ЖИВЛЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....</b>	<b>197</b>
6.1.	Системи та джерела електроживлення засобів автоматики АСКТП.....	197
6.2.	Побудова схеми електропостачання АСКТП.....	201
6.3.	Вибір апаратури керування і захисту схем електропостачання.....	204
7.	<b>ПРОЕКТУВАННЯ ПУНКТІВ КЕРУВАННЯ ДЛЯ АСКТП.....</b>	<b>208</b>
7.1.	Загальні положення.....	208
7.2.	Ергономічні характеристики оператора.....	211
7.2.1.	Задачі інженерної психології при проектуванні пунктів керування АСКТП.....	211
7.2.2.	Основні сенсорні і моторні характеристики людини.....	212
7.2.3.	Пам'ять і механізми обробки інформації у людини.....	218
7.2.4.	Антропометричні характеристики людини.....	220
7.2.5.	Оцінка діяльності людини в системі керування і його характеристики надійності.....	221
7.3.	Аналіз і оптимізація роботи людини-оператора в системах керування.....	223
7.3.1.	Робота людини-оператора в одноконтурних системах керування.....	223
7.3.2.	Робота людини-оператора у складних системах керування...	226
7.3.3.	Методи і рекомендації раціонального розподілу функцій між людиною і машиною.....	230
7.3.4.	Методи вивчення і моделювання діяльності оператора в людино-машинних системах.....	231
7.4.	Основні принципи і рекомендації з проектування робочих місць оператора.....	234
7.4.1.	Інженерно-психологічне проектування.....	234
7.4.2.	Рекомендації щодо подання інформації оператору на пультах керування і приладових панелей.....	238

7.4.3. Рекомендації з конструювання і розміщення робочих місць операторів.....	240
7.4.4. Рекомендації з проектування мнемосхем.....	243
7.5. Створення комфортних та безпечних умов праці обслуговуючого персоналу АСКТП.....	247
7.5.1. Чисельний склад пунктів керування.....	247
7.5.2. Забезпечення умов роботи персоналу керування (операторів).....	248
7.5.3. Гарантування техніки безпеки і пожежної безпеки.....	249
Додаток 1.....	253
Додаток 2.....	255
Додаток 3.....	260
Список літератури.....	264
Предметний покажчик.....	266

## ПЕРЕДМОВА

Науково-технічний прогрес, який визначає рівень життя людей, пов'язано перш за все зі створенням нових і модернізацією існуючих технологічних процесів, машин, агрегатів, різних технічних засобів і систем.

Технічною системою звичайно називають регулярну чи упорядковану сукупність пристроїв, які складаються з взаємозалежних частин, що діють як одне ціле і призначені для досягнення якої-небудь мети.

Нова техніка – результат творчої діяльності інженерів, озброєних знаннями в галузі методології проектування технічних систем.

Проектування – це процес розробки технічної документації, на підставі якої може бути виготовлено об'єкт, що виконує всі покладені на нього функції в повному обсязі і забезпечує задану якість функціонування. Проектування в сфері автоматизації виробничих процесів пов'язано з розробкою систем керування і передачі інформації, а також технічних засобів для їхньої реалізації. Особливість таких систем, як об'єктів проектування, складається не тільки в тому, що вони виникають завдяки людині, але й у тому, що вони одночасно чи побічно впливають на неї через автоматизований об'єкт, котрий, як правило, призначено для задоволення її потреб.

Відповідальність за наслідки своєї діяльності зобов'язує фахівців домагатися розуміння сутності технічних засобів, їхніх властивостей, особливостей, умов, при яких можуть бути створені кращі зразки. Тобто вони повинні володіти основами методології розробки нових виробів і систем. Підвищення методологічного рівня інженерно-технічної діяльності дозволяє фахівцям-проектувальникам належним чином орієнтуватися в різноманітному світі техніки, що неперервно оновлюється, підвищувати ефективність проектних рішень, поліпшувати якість створюваних проектів, скорочувати терміни проектування.

На сьогодні в галузі проектування технічних систем накопичився величезний вітчизняний і закордонний досвід, а також випущено багато нормативно-технічної документації. У книзі зроблено спробу узагальнити матеріали цього досвіду і дати насамперед студентам знання про основні принципи побудови і проектування автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСКТП), у тому числі комп'ютерних систем керування (КСК), а також навчити застосовувати різноманітні схеми автоматизації та розробляти пункти керування.

Зміст книги базується на матеріалах опублікованої літератури, дисциплін «Проектування пристроїв систем керування», «Проектування систем автоматизації гірничих виробництв» і «Проектування мікропроцесорних систем», які викладаються авторами для студентів спеціальностей 050201 «Системна інженерія» і 050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» факультету інформаційних технологій Національного гірничого університету.

У навчальному посібнику викладено загальні питання проектування систем автоматизації, подано властивості об'єктів і систем керування, життєвий

цикл систем і роботи з проектування на кожному його етапі, наведено послідовність проектування АСКТП, а також зміст і склад технічної документації на кожному етапі проектування, детально розглянуто принципи і правила побудови різних схем, у тому числі мікропроцесорних і живлення, а також правила вибору технічних засобів автоматики, приділено велику увагу проектуванню пунктів керування.

Текст посібника насичений таблицями, структурними, функціональними і принциповими схемами, а також прикладом розробки програмного забезпечення. У кінці кожного з розділів наводяться контрольні питання. Вони забезпечують самостійне засвоєння студентами теоретичних положень дисципліни, формування професіональних умінь і навичок з метою придбання належної кваліфікації для проектування, налагодження і експлуатації АСКТП. Набуті знання та навички є основою при подальшому вивченні дисциплін «Автоматизація процесів гірничого виробництва», «Проектування і надійність систем автоматизації», під час курсового та дипломного проектування.

Даний посібник розраховано у першу чергу на студентів старших курсів і дипломників для самостійної роботи з поглибленого вивчення методології проектування й існуючої нормативно-технічної документації з проектування систем автоматизації. Викладений матеріал також може бути корисним аспірантам та інженерам у їх практичній діяльності.

Автори дякують професорів кафедри «Автоматизації та комп'ютерних систем» Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» В.В. Ткачова і В.Г. Шаруду за цінні зауваження.



## **1. ОБ'ЄКТИ І СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ**

Метою вивчення розділу є оволодіння знаннями про властивості об'єктів і керуючих систем, що необхідні при проектуванні різних систем керування та визначенні їхньої класифікації і надійності.

Розглянуті задачі проектування, життєвий цикл систем керування, маркетингова обробка проекту системи керування; наведені структура, види, загальні характеристики об'єктів і систем керування та їх класифікація, властивості і надійність.

### **1.1. Постановка та розв'язання задач проектування**

#### **1.1.1. Мета і задачі проектування**

Сучасна наука про проектування являє собою самостійну галузь прикладних наук зі своїми методологічними передумовами, які складають її основу. Надійну базу для формулювання елементів теорії проектування дає визначення процесу проектування, виходячи з його результатів, тобто з кінцевої мети, а не з ходу самого процесу. Під звичайним проектуванням (на відміну від винаходу) розуміється розв'язання відомої задачі для досягнення відомої мети, здійснюване відомими шляхами чи способами за допомогою відомих засобів. Для розв'язання проектних задач необхідно розглядати перш за все побажання замовника, тобто того, хто оплачує роботу проектувальника, а також розробку, яка включає в себе виробництво, збут, споживання і закінчується аналізом впливу спроектованого об'єкта на світ у цілому. Причому, якщо проект виконано вдало, то створений на його основі об'єкт викликає саме ті зміни, на які розраховує замовник. Якщо ж проект виявився невдалим, його кінцевий вплив може стати дуже далеким від розрахунків замовника і прогнозів проектувальника. Але проте він і в цьому випадку викликає в навколишньому середовищі зміни того чи іншого характеру, іноді небажані.

Мета проектування – це початок необхідних змін у навколишньому штучному середовищі. Таке визначення допомагає зрозуміти, що процес проектування не може обмежуватися розробкою креслень, а тісно пов'язаний з науковими дослідженнями, дослідно-конструкторськими розробками, постачанням, розробкою технологій, підготовкою виробництва, збутом і багато іншим. При цьому проектування охоплює діяльність не тільки конструкторів і проектувальників, але також усіх тих, хто прагне здійснити зміни в навколишньому середовищі: плановиків, економістів, учених, фахівців з прикладних наук і т.п.

Замовник дає проектувальнику орієнтовані вказівки про те, якого майбутнього стану частини навколишнього середовища він бажав би домогтися. Для технологів це можуть бути визначені параметри на виході з агрегату. Якщо потрібно підвищити ефективність технологічних процесів, у завданні можуть бути попередні вказівки щодо меж зміни параметрів процесу, що повинні підтримуватися економічно.

Відповідно до отриманих завдань проектувальник повинен підготувати свої пропозиції. Його завдання – тим чи іншим способом передбачити властивості об'єкта, установити методи визначення основних характеристик об'єкта при заданих умовах, а також запропонувати способи технічної реалізації цих характеристик. При цьому процедура оптимального вибору основних характеристик стає частиною відповідного методу розв'язання задачі, тоді як змістовною основою проектування є оптимізація проектних рішень.

### **1.1.2. Життєвий цикл систем керування**

Досягнення основної мети проектування, тобто створення високоефективного варіанта САК, що задовольняє потреби її користувача (замовника), пов'язано з цілим комплексом робіт, які виконуються фахівцями різного профілю. Отже, розробка системи повинна включати стандартні процедури і завершуватися підготовкою нормативних документів, що відображають особливості системи на всіх стадіях її життєвого циклу – від задуму і перспективних досліджень до заміни чи зняття з виробництва.

Системи керування, як і будь-які технічні системи, виникають не відразу і проходять стадії розвитку: задум, проектування, виготовлення, експлуатація, модернізація, зняття з експлуатації, утилізація.

Потреба в створенні нової системи керування (задум) виникає в першу чергу у зв'язку з появою нового об'єкта, для керування яким існуючі системи не підходять за своїми технічними характеристиками або їх застосування недоцільно за економічними критеріями. Іншими причинами є моральне старіння існуючих систем керування, зміна елементної бази, поява нових ідей, що змінюють рівень керування в кращий бік.

Для кожної стадії мається характерна схема виконуваних процедур і визначений склад необхідної документації. На стадіях задуму і проектування системи встановлюються потреба в ній, принципова можливість і доцільність її створення, а також формується вихідні посилки для її реалізації. Якщо з'ясовується, що створення системи доцільно, то формується загальна стратегія розробки системи, виділяються ресурси й організується контроль за їхнім використанням. Стратегія розробки подається у вигляді технічного завдання (ТЗ). Виконавцями робіт виступають різні наукові підрозділи (науково-дослідницькі і проектні інститути, конструкторські бюро і т.п.). Результати проектування у вигляді науково-дослідницьких звітів, технічних проектів і інших нормативних документів і експериментальних зразків систем керування передаються організаціям, що забезпечують промислове виготовлення таких систем і їхнє впровадження.

На стадії експлуатації систем керування звичайно проектианти здійснюють авторський нагляд, допомагають виробникам поліпшити виробничі показники випуску систем за рахунок як удосконалення самої системи керування, так і технології її виготовлення.

У процесі експлуатації розроблювачі системи керування удосконалюють технічну документацію з обслуговування, тестування і ремонту систем.

За час експлуатації система керування морально старіє, тобто перестає задовольняти новим технічним вимогам, тому виникає необхідність заміни її на нову. З метою скорочення витрат на заміну системи останню піддають модернізації, що полягає в удосконаленні окремих вузлів системи, переналаштуванні, зміні програмного забезпечення і т.п. Коли систему за технічними чи економічними чинниками вже не можливо експлуатувати, її знімають з виробництва.

Складні системи керування звичайно мають у своїх елементах досить велику кількість кольорових, рідких і дорогоцінних металів та інших коштовних матеріалів. Для них на стадії утилізації розробляється технологія розбирання систем керування, вилучення коштовних матеріалів й металів і наступної їхньої утилізації.

Більш докладно робота на кожній стадії розробки систем керування будуть розглянуті в наступних розділах посібника.

### **1.1.3. Маркетингова обробка проекту системи керування**

Освоєння нових технологічних процесів виробництва, джерел сировини, енергії, матеріалів вимагає розробки відповідного технічного устаткування, створення нових підприємств чи реконструкції старих. При цьому комплексне проектування нових підприємств або тих, що реконструюються, передбачає обов'язкову розробку проектів автоматизації. Встановлений обсяг і рівень автоматизації визначає терміни і вартість розробки. Якщо розвиток підприємства необов'язково повинен проходити паралельно розвитку загальної економіки країни, то вихідними даними для планування розробки є показники ринку.

Особливу увагу при плануванні розробок приділяють скороченню термінів проектування і введенню спроектованого об'єкта в експлуатацію.

Високі темпи розвитку світової науки і техніки в останнє десятиліття обумовлюють скорочення термінів морального старіння технічних виробів. З іншого боку складність створюваних виробів збільшується, що є причиною зростання термінів їхнього створення.

Зазначені фактори призводять до того, що вироби часто старіють, знаходячись ще на стадії розробки, особливо це стосується систем керування.

Розв'язання проблеми зменшення диспропорції в термінах розробки і морального старіння створюваних систем керування і технічних засобів ведеться за трьома основними напрямками:

- удосконалення методів науково-технічного планування розробки;
- скорочення часу розробки;
- пошук можливості усунення виявлених протиріч між прогнозованими і реалізованими на практиці характеристиками систем на всіх стадіях їхнього життєвого циклу.

Основу вдосконалювання науково-технічного планування складають народногосподарські прогнози. Науково-технічного прогнозування – пошук оптимальних шляхів розвитку прогнозованої галузі чи техніки промисловості, виявлення найбільш раціональних способів витрати сировинних і енергетичних ресурсів.

Прогнозування ведуть у двох напрямках: дослідницькому (прогнозування можливості) і нормативному (прогнозування потреби), використовуючи при цьому різні методи.

З усіх відомих методів прогнозування найбільш простим є метод проб і помилок, коли з урахуванням помилок минулого прогнозування робиться уточнений прогноз майбутньої системи. Не менш широкою популярністю користується метод комп'ютерного моделювання, а також фізичного (експерименти на моделях, у яких закладені фізичні принципи, що характерні і для натурального зразка).

Скорочення термінів створення перспективних розробок реалізується в основному за рахунок автоматизації процесів кожної стадії життєвого циклу технічної системи.

Із сукупності автоматизованих систем, які використовуються на стадії планування і виконання проектних і конструкторських робіт, виділяють:

- автоматизовані системи наукових досліджень, які використовують при проведенні фундаментальних і прикладних науково-дослідних робіт;
- системи автоматизованого проектування (САПР), які створені для автоматизації дослідницьких і конструкторських робіт на стадії формування технічних пропозицій, ескізного проектування і підготовки проектної документації;
- автоматичні потокові лінії, верстати-автомати, роботи, які використовують на стадіях виготовлення дослідних і серійних зразків розроблювальних технічних систем;
- автоматичні системи обробки результатів випробувань, проведених на стадіях відпрацювання режимів створюваної системи.

Третій напрямок рішення проблеми запобігання диспропорції в термінах створення і морального старіння створюваних виробів і систем полягає у вишукуванні можливостей усунення виявлених протиріч між прогнозованими і реалізованими промисловістю характеристиками, які базуються на раціональних методах організації і безперервному удосконалюванні керування процесом розробки. Керування розробкою принципово можливо при наявності відповідної нормативної документації.

В даний час існує цілий перелік нормативної документації, що регламентує розробку систем керування. Це дає можливість узгодити думки учасників розробки і раціонально використовувати (людські) кадрові ресурси, а також вчасно організувати навчання персоналу й ефективно контролювати одержувані проектні рішення, а тим самим гарантувати якість розробки і її ефективність.

Відповідно до цих рекомендацій на першому етапі життєвого циклу розроблювальної системи виділяються такі операції: формування стратегії розробки системи, а також виділення ресурсів і контролю їхнього використання, а також організація керування розробкою.

До основних задач, що розв'язуються на етапі формування стратегії розробки, відносять:

- критичний аналіз вимог до проектованої системи;

- формування концепції і критичний аналіз загальної схеми майбутньої системи;
- вибір методів виконання всіх проектних і конструкторських робіт, а також методів керування розробкою;
- ідентифікація головних проектних рішень, установлення послідовності їхньої реалізації й оцінка необхідних для цього ресурсів. При аналізі реалізованості загального плану і розрахунку необхідних ресурсів імовірно виникнення потреби в додаткових дослідженнях.

Після схвалення стратегії розробки проекту і затвердження кошторису на розробку організується керування розробкою, в основу якого кладуть поетапний принцип.

Як основні задачі керування розробкою висувуються:

- планування працевитрат на розробку;
- контроль якості проектних рішень;
- підготовка і видача звітів про хід робіт;
- періодичний аналіз можливості успішного завершення проекту.

Основною метою розв'язання цього комплексу задач є формування принципів керування процесом розробки системи, що забезпечують реалізацію системи в заданий термін без перевищення кошторису і з відповідними характеристиками.

На стадіях проектування, виготовлення і введення систем в експлуатацію виявляються альтернативні рішення і виконується пошук найкращого варіанта в рамках обмежень, що накладаються загальним планом створення САК й особливістю функціонування об'єкта, який автоматизується. Таким чином:

- реалізується керування розробкою;
- реалізується поетапний підхід від аналізу реалізації проекту до розробки системи;
- тестування системи перед введенням її в дослідну експлуатацію;
- залучення користувачів і інших підрозділів до участі в розробці системи;
- реалізується система.

Метою розв'язання цього комплексу задач є створення високоякісної технічної документації на дослідний зразок системи керування, що задовольняє потреби відповідних користувачів-підприємств і організацій. У плані впровадження системи передбачається рішення наступних задач:

- складання графіка впровадження;
- формування штатів і навчання персоналу;
- підготовка експлуатаційної технічної документації;
- введення системи в експлуатацію.

Промислова експлуатація САК також вимагає одночасного розв'язання декількох задач, що переслідують єдину мету – забезпечення нормального функціонування системи і надання користувачам необхідних послуг. Для цього організується обслуговування технічних засобів, а при використанні керуючих пристроїв комп'ютерної техніки створюється підрозділ для супроводу системного і прикладного забезпечення.

У такий спосіб розвиток СК на всіх стадіях життєвого її циклу припускає рішення цілого комплексу задач, що характеризуються різним рівнем складності.

## **1.2. Аналіз об'єктів керування**

### **1.2.1. Структура, види і загальна характеристика об'єктів керування**

Під об'єктом керування (ОК) розуміють ту частину навколишнього середовища, на яку людина може цілеспрямовано впливати (тобто керувати нею), змінюючи її стан, і тим самим забезпечувати задоволення визначених своїх потреб. До об'єктів керування відносяться різні технічні пристрої, фізико-хімічні і виробничі процеси, які характеризуються деякою сукупністю властивостей, що відповідають цілям їхнього використання, а також процесами, що у них відбуваються, котрі забезпечують досягнення зазначених цілей. Сучасне виробництво будь-якої галузі промисловості являє собою складний комплекс цілеспрямовано організованих технологічних процесів, що забезпечують видобування, переробку сировини в готову до реалізації продукцію заданої якості. Харчові продукти, будматеріали, хімічна, вугільна і металургійна сировина, матеріали і вироби з них – далеко не повний перелік продукції означених галузей промисловості.

Якість продукції, що випускається, визначається сукупністю властивостей, які характеризують технічну досконалість і ступінь відповідності готових виробів своєму функціональному призначенню. До них відносяться хімічний склад, механічні властивості, показники якості поверхні, характеристики структури і мікроструктури, спеціальні властивості (теплопровідність, спікливість, магнітна проникність, питомі втрати при перемагнічуванні і т.п.). Перераховані показники якості залежать насамперед від точності відтворення регламентованих технологій, дій з перетворення вихідної сировини у визначену доцільну форму з якісно новими характеристиками, сполучення яких визначає ціль технологічного процесу. Цілеспрямовано організована сукупність таких процесів, що забезпечує одержання заданого виду продукції, утворює виробничий процес. У загальному випадку виробничі процеси розділяються на ряд приватних взаємозалежних процесів: основних, підсобних, побічних і допоміжних. Основні процеси забезпечують переробку сировини і напівфабрикатів у готову продукцію. Підсобні орієнтовані на виготовлення і підготовку сировини, матеріалів і енергії для основних процесів. Побічні забезпечують переробку відходів основного виробництва, а допоміжні – шляхом обслуговування перших трьох типів створюють необхідні умови для їхнього нормального перебігу. Задача формування необхідної кількості і заданої якості продукції, що випускається, забезпечується в основному за рахунок основних виробничих процесів. Так, наприклад, технологічну базу збагачення руд чорних металів утворюють чотири переробки: дроблення руди, тонке її подрібнювання, сушіння, виділення корисного компонента. Особливістю взаємодії процесів технологічного переділу вихідної сировини більшості виробничих процесів є те, що зв'язки між

ними через матеріальні потоки носять однобічний характер, тобто виробничим процесам в основному відповідає послідовний ланцюжок технологічних фаз, що реалізують широкий набір різноманітних операцій з різним характером перебігу. У цьому зв'язку для забезпечення необхідної продуктивності всієї лінії й окремих її агрегатів необхідні відповідні цілеспрямовані впливи шляхом організації, синхронізації і координації їхньої роботи. Організація – комплекс операцій з планування технологічного процесу, що забезпечує ефективне завантаження устаткування і виконання планових завдань з максимальною швидкістю. Синхронізація – комплекс операцій з забезпечення збігу часу завершення і початку операції послідовних технологічних процесів відповідно до необхідного режиму роботи лінії. Координація – комплекс операцій, що забезпечують доцільне рівнобіжне функціонування декількох технологічних процесів з метою одержання максимального виробничого ефекту. Рішення задач організації, синхронізації і координації технологічних процесів різних виробництв обумовлює доцільність об'єднання набору пристроїв, механізмів і агрегатів технологічної лінії в єдину систему з загальною функціональною метою. Це робить необхідним розглядання технологічної лінії як технологічного комплексу з переробки вихідної сировини в кінцеву. Аналізуючи функціональну структуру різних технологічних ліній (наприклад, збагачувального комплексу і т.п.) як об'єкта керування, неважко помітити, що неодмінною умовою їхньої ефективної роботи є насамперед відтворення з заданим ступенем точності режимів роботи кожного технологічного агрегату, які складають технологічну лінію. Тільки в цьому випадку можливо забезпечити ведення процесу відповідно до технологічного режиму, під яким розуміється зміна керуючих впливів у рамках умов, які обговорені технічною документацією на технологічне устаткування. Разом з тим, враховуючи значні одиничні потужності сучасних технологічних агрегатів, зміна керуючих впливів навіть у межах регламенту викликають відчутні зміни техніко-економічних показників. З огляду на цю обставину керуючі впливи варто формувати з урахуванням змін техніко-економічних показників, викликаних їхньою реалізацією на об'єкті. В аналітичному плані рішення цієї задачі зводиться до знаходження таких керуючих значень, при яких техніко-економічні показники приймали б найкращі з можливих значень, тобто необхідно вирішити задачу оптимізації. Таким чином, забезпечення ефективної роботи технологічного комплексу припускає рішення трьох груп задач з організації керування об'єктами:

- 1) організація, синхронізація і координація взаємодії технологічних операцій і устаткування автоматизованого комплексу;
- 2) оптимізація окремих технологічних ділянок і процесів;
- 3) контроль і стабілізація окремих режимних параметрів.

При цьому очевидним фактом є те, що ефективність рішення задач керування в однаковій мірі залежить від ефективності прийнятого набору автоматизованого технологічного устаткування, тобто характеристики об'єкта керування, а також від правильності вибору технічних засобів автоматизації. Рівень і реалізація розроблювальної системи автоматизації визначається

інженерним аналізом. Він проводиться з метою визначення принципів побудови системи, вишукування нових принципів, структур і технічних засобів, що задовольняють технічне завдання. Починається інженерний аналіз з характеристики виробничого процесу як об'єкта автоматизації. При цьому виробничі процеси як послідовна зміна станів технологічних операцій визначаються вхідними і вихідними змінними, що являють собою фізико-хімічні параметри енергетичних потоків та потоків сировини і матеріалів. Серед питань, що звичайно встають перед дослідниками таких об'єктів, можуть бути:

- 1) якими властивостями володіють елементи, що складають об'єкт;
- 2) які математичні співвідношення між відповідними властивостями кожного елемента;
- 3) які математичні співвідношення між властивостями різних елементів, що входять в об'єкт.

Таким чином, сутністю аналізу об'єкта керування є відшукування зв'язків між його елементами.

### **1.2.2. Класифікація об'єктів керування**

Підвищення ефективності розробки і впровадження САК досягається уніфікацією технічних рішень і засобів їхньої реалізації, зокрема застосуванням типових проектів, рішень і рекомендацій. Розв'язання цієї неформалізованої задачі вимагає класифікації технологічних об'єктів керування.

Класифікаційні ознаки, які враховуються при розробці САК, виділяються в наступні групи:

- 1) виробничу;
- 2) технологічну;
- 3) матеріальну;
- 4) конструкційну;
- 5) енергетичну.

У рамках кожної групи ознак у свою чергу виділяють ряд додаткових ознак, які є за своєю суттю обмежувальними чи відмітними характеристиками конкретного виробництва. Так, у групі виробничих ознак виділяють безперервні, дискретні і змішані процеси; у групі технологічних ознак – основні технологічні операції, характерні для автоматизованого об'єкта; у групі матеріальних ознак – характеристики сировини, а в групі конструктивних ознак – особливості конструктивного виконання елементів технологічних агрегатів.

Безперервний технологічний процес – це безперервне перетворення вихідної сировини в безперервний продукт. Безперервне виробництво – сукупність безперервних технологічних процесів, організованих у вигляді окремого виробничого комплексу. Галуззю, що характеризується найбільш вираженими безперервними процесами, є електроенергетика, що включає в себе процеси отримання і процеси передачі, споживання та перетворення електричної енергії в інші види. Другим прикладом є технології збагачення корисних копалин.

Автоматичні системи керування безперервними процесами працюють або як системи стабілізації, що підтримують постійну задану заздалегідь величину визначеного показника, або як системи оптимізації, які безперервно визначають



і підтримують оптимальні в даних умовах значення деякої функції. Найбільш складними і відповідальними операціями в безперервному виробництві залишаються запуск і зупинка процесу (системи). Запуск і зупинка системи – період найбільш різкої зміни її стану. Уся система переходить з одного стану рівноваги в інший, при цьому різко змінюються її параметри. Чим більше система тим важче нею керувати під час пуску і зупинки. Тому при розробці САК саме операціям запуску і зупинки надається найбільше значення.

Основна технічна трудність автоматизації дискретного виробництва – необхідність скорочення проміжків між операціями пуску і зупинки при збільшенні одиничної потужності агрегату. Невиконання цієї умови призводить до зниження ефективності заходу: виграючи на потужності – програємо в часі. Прикладом виробництв зі змішаними і циклічними процесами є гірниче виробництво і металургія. Змішаний характер виробництва ставить перед автоматизацією проблеми, властиві як безперервному, так і дискретному виробництву.

Класифікація технологічних процесів за характером перебігу в часі дає тільки загальне уявлення про особливості їхньої автоматизації і не містить ознак достатніх для повного рішення задачі, тому була запропонована класифікація, заснована на базі двох ознак: агрегатного стану речовини, що піддається технологічній обробці, і типу фізико-хімічного процесу. Відповідно до цього виділялися наступні класифікаційні групи:

- 1) матеріали – тверді, рідкі, газоподібні, волокнисті, сипучі, тістоподібні;
- 2) процеси – механічні, гідродинамічні, теплові, термічні, хімічні, дифузійні.

Слабкою стороною цієї класифікації є неповна відповідність класифікаційних ознак особливостям автоматизації. Дійсно, процеси електролізу водяних розчинів, здрібнювання, термообробки відносяться до різних класифікаційних груп, але системи автоматизації цих процесів належать до однієї групи – системи автоматичної стабілізації технологічних режимів.

Математичне моделювання є незамінним засобом наукового дослідження внаслідок аналогічності диференціальних рівнянь, що описують явища різної фізичної природи. У зв'язку з цим з погляду розв'язання задач автоматизації найбільш раціональною є класифікація процесів за видом їх математичних моделей. Ця ознака дає можливість типізувати процеси.

Типізація за видом математичної моделі полягає у встановленні спільності математичного опису ходу технологічних процесів і параметрів їхнього апаратурно-технологічного оформлення. Під типовим варто розуміти такий процес, математична модель якого досить повно може характеризувати ряд інших процесів подібних за своєю фізичною сутністю.

З усієї сукупності технологічних процесів ряду виробництв можна виділити такі основні класи, що відрізняються за характером енергетичних і матеріальних внутрішніх зв'язків:

- механічні процеси;
- гідромеханічні (аеромеханічні);
- теплові;
- масообміні (дифузійні);

- реакційні (хімічні).

У кожному з цих класів об'єднані процеси, що характеризуються спільністю основного принципу дії, основних законів природи, та досить повно описують явища і процеси.

Механічні процеси підпорядковуються законам твердих тіл. Вони застосовуються головним чином для підготовки вихідних твердих матеріалів, обробки твердих продуктів, а також для транспортування кускових і сипучих матеріалів. До механічних процесів відносяться подрібнення, класифікація (сортування, сепарація), змішання і транспортування твердих речовин.

Параметри гідромеханічних процесів описуються за допомогою рівнянь, що впливають із законів гідродинаміки потоків у різних апаратах. Гідромеханічні процеси є основою мокрого збагачення. До них відносяться: гідротранспорт; мокра класифікація.

Теплові процеси характеризуються переносом енергії у вигляді тепла, тобто теплообміном. Рушійною силою будь-якого процесу теплообміну є різниця температур двох тіл, при наявності якої тепло відповідно до другого закону термодинаміки передається від більш нагрітого до менш нагрітого тіла.

Теплопровідність – спосіб передачі тепла, при якому теплообмін відбувається тільки між суміжними частками нагрітого тіла (у процесі безладного руху мікрочастинок). Конвенція – перенос тепла в результаті руху і переміщення макроскопічних об'ємів чи газу рідини.

Теплове випромінювання – процес поширення електромагнітних коливань з різною довжиною хвилі, обумовленої тепловим рухом атомів чи молекул речовини, яка випромінює.

У реальних умовах тепло передається комбінованим шляхом. Так, при теплообміні між твердою стінкою і газом тепло передається одночасно конвекцією, теплопровідністю і випромінюванням. Перенос тепла від стінки до газоподібного чи рідкого середовища або в зворотному напрямку називається теплообміном. До теплових процесів відносяться нагрівання, охолодження, конденсація пари, сушіння тощо.

Масообмінні (дифузійні) процеси характеризуються переносом одного чи декількох компонентів вихідної суміші з однієї суміші в іншу. До цієї групи, поширеної в хімічній технології процесів, що описані законами масопередачі, відносяться:

- абсорбція;
- ректифікація;
- екстракція з розчинів;
- розчинення й екстракція з твердих і пористих матеріалів;
- адсорбція;
- сушіння;
- кристалізація.

Дамо коротку характеристику деяким з цих процесів.

Абсорбція – поглинання газу рідиною, тобто процес поділу, що являє собою перехід речовини з газової фази в рідку.

Адсорбція – поглинання газу, пари або розчинених речовин поверхнею твердих речовин (поглиначів – адсорбентів) чи згущення цих речовин на поверхні адсорбентів.

Ректифікація – процес поділу сумішей рідин, частково чи цілком розчинних одна в одній, які мають різні температури кипіння, а також парціальний тиск пари.

Екстракція в системах «рідина – рідина» являє собою дифузійний процес, що відбувається за участю двох нерозчинних чи обмежено розчинних рідин, між якими розподіляється речовина, яка екстрагується.

Сушіння – процес видалення вологи з твердих речовин.

Хімічні (реакційні) це такі процеси, в ході яких утворюються різні хімічні речовини.

Сукупність зазначених процесів, що використовуються у різних сполученнях, складають основу багатьох виробництв і визначають тип об'єктів керування.

### 1.2.3. Основні властивості об'єктів керування

Властивості об'єктів керування визначаються їхніми характеристиками. Під характеристикою об'єкта розуміють сукупність функцій, величин, математичних операцій, правил, алгоритмів, за допомогою яких заданому сигналу  $X$  на вході об'єкта при визначеному значенні параметра стану  $A$  ставиться відповідно сигнал на виході  $Y$ . Основними для об'єктів керування є статичні, динамічні, ймовірні характеристики.

Статичною характеристикою об'єкта називають функцію  $\Phi$ , що встановлює залежність між вихідними  $Y$  і вхідними  $X$  величинами об'єкта в усталеному стані.

$$Y = \Phi(X),$$

чи, що те саме, сукупність функцій  $y_j = \phi_j \cdot (x_1, \dots, x_m)$ ,  $j = 1, n$ , які задаються в такий спосіб. На вхід об'єкта подають припустиме значення  $x_1 = const$ , яке підтримують постійним до закінчення всіх перехідних процесів, викликаних  $x$ , і всіма попередніми збурюваннями, а вихідна змінна  $y$  приймає стале значення  $y_1 = \Phi(x_1)$ . Зафіксувавши значення  $y_1$ , вхідній величині дають збільшення  $\Delta x$ . Нове припустиме її значення  $x_2 = x_1 + \Delta x$  і також, як у першому випадку, фіксують нове стале значення  $y_2$ . Подібні експерименти проводять до повної сукупності залежностей вхід – вихід у припустимому значенні їхньої зміни.

Знання статичних характеристик дає можливість:

- вибору робочого режиму об'єкта, який автоматизується, і діапазону зміни вхідних і вихідних перемінних;
- більш глибокого розуміння технологічного процесу при проектуванні нових і подальшому удосконаленні нині діючих промислових об'єктів, установок тощо.

Важливе значення мають статичні характеристики в задачах оптимального керування в статиці.

Динамічною характеристикою об'єкта називається оператор  $A(t)$ , що встановлює зв'язок вихідних величин  $Y(y_1, y_2, \dots, y_n)$  з вхідними  $X(x_1, x_2, \dots, x_m)$  у будь-який момент часу:  $Y(t) = A(t)[X]$ .

Модель оператора  $A(t)$  може бути задана в явному вигляді за допомогою залежності  $Y(t) = \Phi(X, T)$ , де  $\Phi$  – заданий оператор.

Динамічні характеристики можуть бути використані для кількісної оцінки таких динамічних властивостей як ємність, швидкість розгону, ступінь самовирівнювання і запізнювання. Ємність об'єкта характеризує його здатність акумулювати енергію чи речовину, а мірою нагромадження речовини чи енергії в об'єкті є величина вимірюваного (керованого) параметра.

Кількість речовини чи енергії, яку необхідно ввести в об'єкт, щоб змінити контрольовану чи регульовану величину на одиницю виміру, називають коефіцієнтом ємності. Великою коефіцієнта ємності визначається швидкість зміни регульованої величини. Великою, що є зворотною коефіцієнту ємності, називають чутливістю об'єкта до збурювання. У всіх об'єктів має ємність з боку споживання і з боку подачі. Причому перша визначається характеристиками регульованого середовища, а друга – регулюючими характеристиками речовини чи енергії, зміною подачі яких впливають на регульовану величину. При малій ємності на стороні споживання (малої швидкості зміни регульованої величини) і великій на стороні подачі одержати необхідну точність заданого значення регульованої величини складніше і навпаки.

Всі об'єкти керування поділяються на одно-, дво- і багатоемнісні. Одноємнісні об'єкти характеризуються одночасною й однаковою зміною регульованої величини у всіх точках при додаванні до об'єкта збурювання будь-якої форми. Для дво- і багатоемнісних об'єктів характерна наявність перехідного запізнювання і залежності між ємностями з боку споживання і подачі, співвідношення між якими істотно впливає на процес керування.

Швидкістю розгону об'єкта автоматичного керування називають швидкість зміни керованої величини в початковий момент часу при введенні в об'єкт збурювання:

$$E = \left. \frac{dy}{dt} \right|_{t=0} = tga,$$

де  $E$  – швидкість розгону;  $y(t)$  – значення регульованої величини.

Самовирівнюванням називають властивість об'єкта автоматичного керування відновлювати положення динамічної рівноваги між припливом і стоком, порушене в результаті дії збурювання без стороннього втручання. Відмінною властивістю об'єктів без самовирівнювання є те, що при порушенні рівноваги між припливом і стоком речовини чи енергії останнє не відновлюється внаслідок зміни регульованої величини (так звані нейтральні чи астатичні

об'єкти). Об'єкти, що мають властивість самовирівнювання, називають статичними. Здатність об'єкта до самовирівнювання характеризується ступенем чи коефіцієнтом самовирівнювання. Коефіцієнт самовирівнювання чисельно дорівнює відношенню величини впливу, що обурює,  $v(t)$  до відхилення керованої величини  $y(t)$ , викликаного цим збурюванням:

$$K_c = \frac{v}{y},$$

де  $v$  – величина збурювання впливу, %;  $y$  – відхилення керованої величини, %.

Величину, зворотну коефіцієнту самовирівнювання, називають коефіцієнтом підсилення

$$K_{y.o} = \frac{1}{K_c} = \frac{y}{v}.$$

Для об'єктів, описуваних лінійними диференціальними рівняннями з постійними коефіцієнтами,  $K_{y.o} = const$ .

На практиці часто застосовують термін «коефіцієнт передачі», що для стійкого статичного об'єкта являє собою відношення змінної вихідної величини при переході з одного в інше стале становище до одиничного збурювання на вході. Причому одиничним збурюванням називають нормований хід регулювального органа, за допомогою якого вноситься збурювання чи одиниця зміни витрати регулюючого потоку енергії або речовини. Відрізок часу від моменту внесення збурювання до початку зміни керованої величини називають запізнюванням процесу в об'єкті. Розрізняють два види запізнювання: передавальне (транспортне, чисте) і перехідне (ємнісне чи інерційне). Іншими можливими випадками практичного застосування динамічних характеристик є:

- задачі синтезу системи автоматичного керування, а також для проектування нових і подальшого удосконалення діючих промислових об'єктів;
- задачі оптимального керування в динаміці;
- одержання статичних характеристик;
- визначення спектральних властивостей вихідного сигналу за відомими спектральними властивостями вхідного сигналу і навпаки;
- виявлення характеру перебігу перехідних процесів і оцінок часу запізнювання, а також часу закінчення перехідних процесів по різних каналах.

У реальних умовах роботи систем автоматичного керування на їхні входи поряд з конкретними заздалегідь визначеними сигналами діють перешкоди, що мають випадковий характер. Випадковими називають явища, точне прогнозування яких у кожному окремому випадку неможливе. Під випадковим процесом  $F(t)$  розуміють таку функцію часу, що при деякому числі подібних експериментів може приймати в залежності від умов кожного  $k$ -го експерименту конкретний, але заздалегідь невідомий випадковий вигляд  $Fk(t)$ . Випадковий

процес є функцією двох змінних – незалежного аргументу  $t$  і параметра  $k$ , що залежить від умов експерименту, котрий позначається його номером. Математичним відображенням випадкового процесу є випадкова функція. Як незалежна змінна випадкової функції  $t$  найчастіше виступає час. У цьому випадку випадкову функцію називають стохастичною. Однак випадкові функції можуть мати й інші аргументи, наприклад, координати точок простору. Кожна окремо узята функція  $Fk(t)$  називається реалізацією випадкового процесу, а їхня сукупність при зроблених  $k$  експериментах зветься ансамблем чи множиною реалізацій. Випадковість процесу в такий спосіб виявляється в тому, що вид окремих реалізацій залежить випадковим чином від номера реалізації « $k$ » ( $k = 1, 2, 3, \dots, n$ ). Ясно, що кожна реалізація, отримана в результаті досвіду, є звичайною уже не випадковою функцією. Якщо обрано розраховане значення  $k$ , функція  $Fk(t)$  є функцією аргументу  $t$ . Якщо ж зафіксувати обчислене значення аргументу  $t$  і зробити «перетин» випадкової функції для всіх наявних  $k$ , отримаємо випадкову величину, розподілену за одномірним законом  $W(f, t_i)$ . Очевидно, що для характеристики випадкової функції необхідно мати закони розподілів щільності ймовірностей зазначених розподілів для будь-якого значення аргументу  $t$  в ділянці часу існування випадкового процесу  $T_H$ . Під  $t$  розуміється поточний час, а  $T_H$  – час, протягом якого вони зафіксовані на графіку чи спостерігаються яким-небудь іншим чином ( $t < T_H$ ).

Найбільш важливими характеристиками, що визначають властивості розподілу є:

- математичне чекання;
- дисперсія;
- асиметрія;
- кореляційна функція.

Математичне чекання і кореляційна функція є вичерпною характеристикою стаціонарних і нестаціонарних випадкових процесів з нормальними (Гаусовими) законами розподілу.

Дисперсія випадкової величини є характеристикою розкиданості значень випадкової величини біля її математичного чекання.

Основні переваги ймовірних характеристик складаються в їхній спільності, оскільки входи і виходи об'єкта керування практично завжди є випадковими функціями.

Можливими додатками ймовірних характеристик може бути:

- теорія оцінок статичних, динамічних і ймовірних характеристик об'єктів керування;
- задачі оптимального керування;
- визначення спектральних властивостей вихідного сигналу за відомими спектральними властивостями вхідного сигналу і навпаки;
- рішення задач синтезу систем автоматичного регулювання;
- визначення ймовірних характеристик вихідних випадкових функцій за відомими ймовірними характеристиками вхідних і навпаки.

### 1.3. Аналіз систем керування

#### 1.3.1. Класифікація систем керування

Велика різноманітність і складність автоматизованих технічних систем ускладнює систематизацію, узагальнення і використання накопиченого досвіду проектування систем автоматизації різних галузей промисловості. У цьому зв'язку загальні методологічні питання проектування СК припускають використання більш загальних класифікаційних ознак, серед яких найбільш характерні:

- принцип побудови;
- функціональна ознака;
- ступінь складності систем;
- структура системи;
- метод ідентифікації;
- вид використовуваної енергії і т.п.

За принципом побудови розрізняють:

– системи розімкнутого керування (алгоритм керування здійснюється тільки на основі заданого алгоритму функціонування, при цьому не контролюються відхилення вихідних координат процесу, а також зовнішні впливи);

- системи керування за збуренням;
- системи керування за відхиленням.

За функціональною ознакою розрізняють:

- системи стабілізації;
- системи програмного керування;
- слідкуючі системи;
- системи з пошуком екстремуму показника якості;
- системи оптимізації;
- адаптивні системи.

За ступенем складності розрізняють прості, складні і дуже складні системи. Існує кілька ознак показників складності – кількість елементів у системі, конструктивна складність і т.д. Ознака складності систем, в основу якої покладена кількісна оцінка елементів у системі, є досить умовною. У цьому випадку простими вважаються системи, що не мають розгалуженої структури, з невеликою (від 10 до  $10^3$ ) кількістю елементів. Ієрархічні рівні в простих системах відсутні.

До складних відносять системи з розвинутою ієрархічною структурою (багаторівневі) та великим числом елементів і внутрішніх зв'язків. У багатьох випадках до складних відносять або системи, які не можна описати коректно за допомогою аналізу чи можна описати не менш ніж на двох різних математичних мовах (наприклад, мовою диференціальних рівнянь і мовою алгебри логіки). Дуже складні системи часто називають великими системами.

Ознака конструктивної складності є більш розробленою, оскільки критерієм її оцінки тут виступають такі показники, як ступінь оригінальності конструкції, складність виконуваних функцій, форм, структура в цілому;

складність розрахунків, необхідна точність їхнього виконання і якості обробки; особливі вимоги, пропоновані до таких характеристик, як маса, технологічність конструкцій окремих елементів, витрати і т.ін.

Оцінка цих показників дає можливість вибору відповідних фахівців для рішення проблем, пов'язаних з визначеним рівнем складності системи. При плануванні конструкторської роботи ступінь конструкторської складності розроблювальної системи служить критерієм для установки визначених тимчасових рамок інженерної роботи.

Перші спроби врахувати складність при проектуванні систем автоматичного регулювання були зроблені на самому початку 50-х років минулого століття при розробці частотного методу синтезу коригувальних пристроїв. Міра складності при цьому характеризувалася порядками чисельника і знаменника передавальної функції коригувального пристрою.

На сучасному етапі розвитку проектування систем основним математичним апаратом, що використовується при проектуванні складних систем, є математичний апарат теорії множин, теорії графів і лінійної алгебри, котрий потребує відповідного рівня фахівців.

Класифікація систем керування за ступенем складності має велике значення для розробки, оскільки рівень складності:

а) знаходиться у визначеному співвідношенні зі ступенем складності рішення поставленої задачі;

б) припускає встановлення відомих границь для спеціалізації проектувальника;

в) допомагає конструктору орієнтуватися в процесі роботи, оскільки, якщо він вирішує задачу на якомусь певному рівні складності, йому важливо знати лише те, як його задача узгоджена з більш високим рівнем (у співвідношенні більш низького рівня складності конструктор-проектувальник приймає найчастіше тільки принципові рішення).

Структура систем керування, як сукупність підсистем і способів їхньої взаємодії, визначає властивості цієї системи. Структура системи (як абстракції), яка є її властивістю, містить інформацію про неї.

Властивості системи з досить високим ступенем надійності визначаються її зовнішньою і внутрішньою структурами.

Зовнішня структура розглядається як деяка властивість системи, що являє собою конструктивну її модель і дозволяє за визначеними (конструктивними) ознаками виділити цю систему з навколишнього світу.

Внутрішня структура також розглядається як якась властивість системи, але являє собою її фізичну чи хімічну модель. Внутрішня структура – це те, що дозволяє описати властивість матеріального комплексу, що знаходиться в ділянці, яка обмежена зовнішньою структурою.

Функціонування багатьох технічних засобів істотним чином залежить від зовнішньої структури.

Конструктор, розробляючи конструкцію, створює у своїй уяві зовнішній вигляд, тобто зовнішню структуру.



Проектувальнику доводиться мати справу основним чином із внутрішніми структурами.

За видом зовнішніх структур розрізняють однорівневі та багаторівневі системи (рис. 1.1). Однорівневі у свою чергу поділяються на централізовані, децентралізовані та змішані системи.

У централізованих системах (рис. 1.2) вся інформація про об'єкт керування поступає в єдину керуючу систему (КС), де здійснюються її обробка і формування керуючих впливів, що змінюють належним чином стан об'єкта керування. Під керуючою системою розуміють сукупність спеціальних технічних засобів, призначених для збору, збереження, обробки, передачі інформації і формування керуючих впливів.

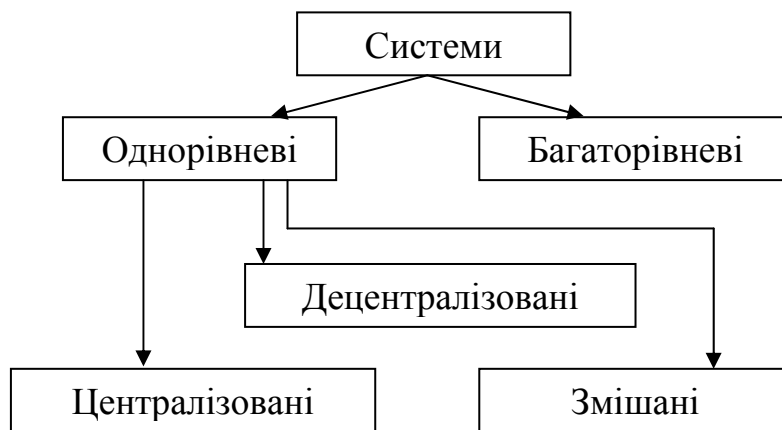


Рис. 1.1. Структура класифікацій ознак СК

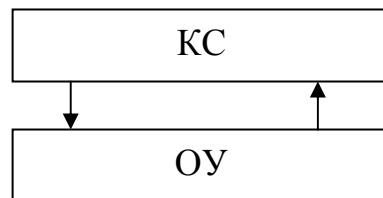


Рис. 1.2. Структура централізованих систем

До недоліків централізованих систем при використанні комп'ютера як центральної ланки системи керування можна віднести складність швидкої і ефективної обробки інформації, запізнювання в формуванні керуючих впливів, недостатню надійність при відсутності резервування.

У децентралізованій структурі (рис. 1.3) в об'єкті виділяються визначені частини, що керуються своїми підсистемами незалежно від інших систем.

Перевага децентралізованої системи – висока надійність, оскільки вихід з ладу однієї підсистеми не викликає повної втрати керуваності об'єктом.

Змішана структура (рис. 1.4) характеризується частковою централізацією. Така структура доцільна у випадку, коли об'єкт керування не може бути розділено на незалежні в керуванні частини, а система керування може бути розділена на окремі підсистеми.

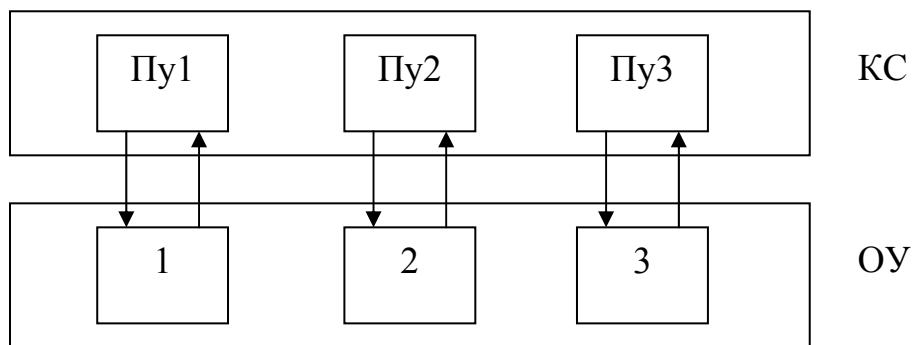


Рис. 1.3. Структура децентралізованих систем

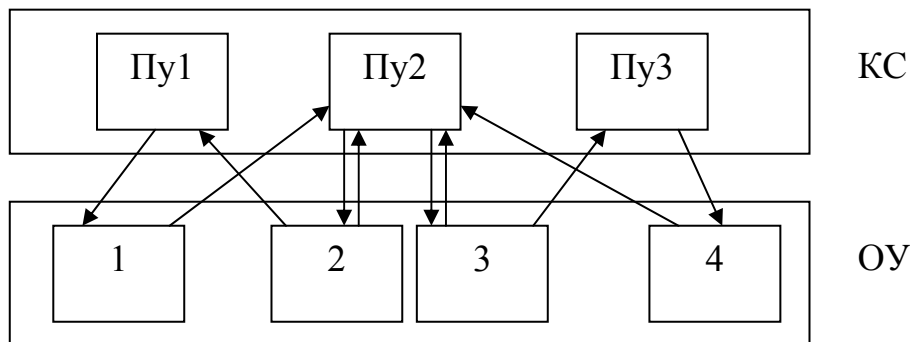


Рис. 1.4. Структура змішаної системи

Багаторівневі системи керування мають ієрархічну структуру і являють собою комплекс підсистем, між якими встановлюються відносини супідрядності (рис. 1.5). При цьому підсистеми керування найвищого рівня керують відповідними підсистемами рангу меншого на одиницю. Перехід до ієрархічного принципу побудови систем керування не виключає можливості централізованого керування деякими її частинами (рис. 1.5). Багаторівневі структури характерні для комп'ютерних АСКТП, де на нижчих рівнях використовуються різні мікропроцесорні контролери.

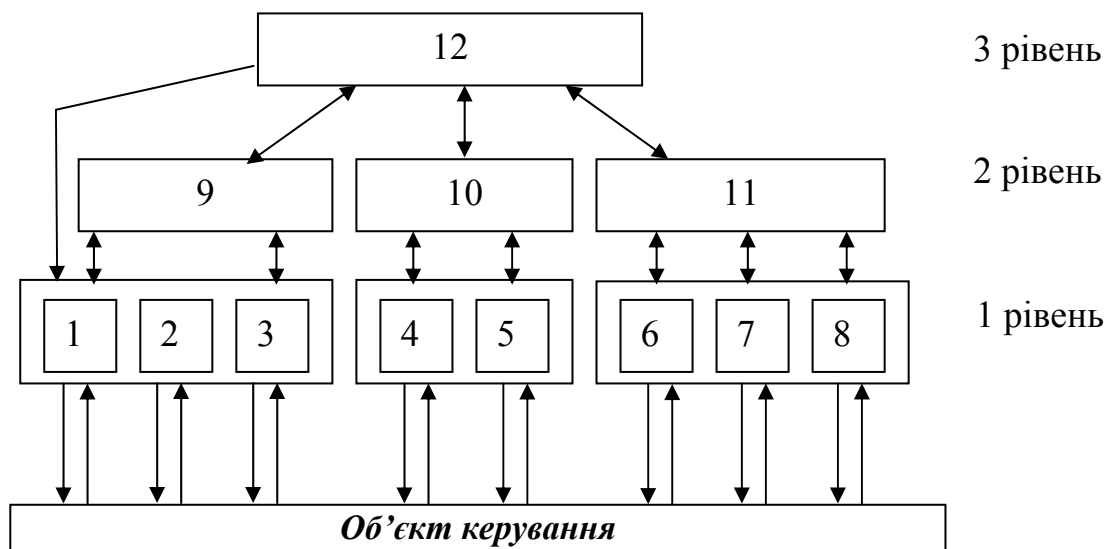


Рис. 1.5. Багаторівнева (ієрархічна) структура системи керування

Структурні схеми СК, відбиваючи зв'язок системи з зовнішнім світом, характеризують в основному внутрішні зв'язки.

Характер внутрішніх зв'язків системи керування (її стану) багато в чому визначається принципом дії керуючого пристрою і властивістю об'єкта. Структура керуючого пристрою у свою чергу залежить від характеристик об'єкта керування, що виражаються у вигляді диференціальних рівнянь, передаточних функцій, перехідної матриці тощо, кожна з яких вимагає прямої чи непрямой ідентифікації, без якої ці характеристики звичайно визначити не можна. Під ідентифікацією розуміють процес визначення математичної моделі об'єкта з метою оцінки його динамічних властивостей.

У залежності від властивостей розрізняють системи:

1. Лінійні і нелінійні.
2. Стаціонарні (з постійними параметрами) і нестаціонарні (зі змінними параметрами).
3. Безперервні, дискретні і дискретно-безперервні.
4. Системи з одним чи декількома вхідними впливами.
5. Детерміновані (причинно-наслідкові з детермінованими параметрами) і стохастичні (з випадковими параметрами) системи.
6. Системи з зосередженими і з розподіленими параметрами.
7. Системи з великою апріорною інформацією і з малою апріорною інформацією.

Лінійними називають системи, що складаються тільки з лінійних ланок, у яких залежність між змінними лінійна. У протилежному випадку системи є нелінійними. Найпростіші лінійні системи описуються лінійними диференціальними рівняннями з постійними коефіцієнтами. Лінійні системи легко ідентифікувати, оскільки вони підпорядковуються принципу суперпозиції (принципу накладення, що є частковим випадком виразу єдиного фізичного закону про незалежність дії сил).

До стаціонарних відносять системи зі стаціонарними процесами, що визначають змінні, які не залежать від часу. У протилежному випадку процес і система нестаціонарні. Реакція стаціонарної системи на будь-який тип збурення не залежить від інтервалу між розглянутим моментом часу і моментом початку дії збурення. Іншими словами стаціонарну систему можна визначити як систему, у якої при зрушенні в часі вхідного збурення без зміни його форми вихідна величина перетерплює також зрушення в часі без зміни своєї форми. У стаціонарних системах вхідні впливи перетворюються незалежно від часу. Нестационарні системи характеризуються тим, що при зрушенні вхідного впливу в часі без зміни його форми їхні вихідні змінні не тільки зрушуються в часі, але і змінюють форму. Нестационарні системи описуються диференціальними і кінцево-різницевиими звичайними рівняннями (у яких невідомі функції є функціями одного змінного зі зміщеним аргументом), зі змінними коефіцієнтами, а стаціонарні – рівняннями з постійними коефіцієнтами.

У безперервних системах усі сигнали є безперервними функціями часу. Їх можна описати диференціальними чи інтегральними рівняннями.

У дискретних системах перетворення сигналів відбувається не безперервно, а дискретно за часом і рівнем. У залежності від цього всі системи можна розділити на імпульсні, релейні і цифрові. Дискретні системи описуються різницевиими рівняннями. У дискретно-безперервних системах маються сигнали як дискретні, так і безперервні.

З огляду на класифікацію систем за кількістю вхідних впливів доцільно вводити в силу розходження методів ідентифікації систем з одним чи декількома входами. Методи ідентифікації систем з одним вхідним впливом значно простіші в порівнянні з випадком, коли на систему одночасно діє комбінація декількох збурень і вхідних впливів. Одновимірні системи (системи з одним входом і одним виходом) можуть бути описані одним рівнянням, а багатомірні – тільки системою рівнянь.

Вагомою ознакою систем є наявність апріорної інформації про них. При досить великій інформації передбачаються відомими:

- змінні (як вхідні, так і вихідні), між якими існує зв'язок;
- форма цього зв'язку, тобто модель задана фактично рівнянням, яким описується об'єкт;
- міра на множину реалізації входів і виходів об'єкта, тобто вхідні і вихідні змінні можуть бути обмірювані тощо. У цьому випадку задача ідентифікації зводиться до оцінки коефіцієнтів у рівняннях, що описують об'єкт з огляду на реалізацію вхідних і вихідних змінних, отриманих в умовах нормального функціонування об'єкта.

У випадку малої апріорної інформації про систему клас задач, які необхідно вирішувати при ідентифікації, значно розширюється, включаючи дослідження об'єкта керування.

У залежності від закономірності і ступеня причинної обумовленості параметрів функціонування системи розрізняють детерміновані (причинно-наслідкові) і стохастичні (ймовірності їхнього різновиду) системи.

Система називається детермінованою, якщо між її вхідними і вихідними величинами мається (функціональний) зв'язок. Іншими словами, якщо при дотриманні одних і тих самих контрольованих умов на вхід детермінованої системи кілька разів подати один і той самий вплив, на її виході всякий раз буде спостерігатися однакова зміна вихідної величини.

У стохастичних системах подача на вихід тих самих впливів при тих самих умовах може викликати різні зміни (різні реалізації) вихідної величини. У таких системах поява кожної можливої реалізації вихідної величини підпорядковується ймовірним законам. Причиною подібної невизначеності в поведінці стохастичних систем звичайно є те, що в реальних умовах на систему вхідних величин, крім контрольованих, діють також неконтрольовані перешкоди і збурення, що спотворюють реакцію системи на контрольовані вхідні впливи. Детерміновані системи описуються диференціальними, кінцево-різницевиими рівняннями, коефіцієнтами яких є детерміновані функції часу, стохастичні системи описуються рівняннями, коефіцієнти й інші параметри яких є випадковими величинами чи випадковими функціями часу. Класифікація систем за характером розподілу параметрів у просторі і часі на

системи з зосередженими і розподіленими параметрами дозволяє заздалегідь визначити вид математичної моделі ідентифікуємого об'єкта. Системи з зосередженими параметрами описуються диференціальними і кінцево-різницевиими рівняннями – звичайними чи зі зміщеним аргументом, а системи з розподіленими параметрами – рівняннями в частинних похідних.

Слід зазначити, що кожна з розглянутих класифікаційних ознак систем автоматичного керування окремо не може вичерпно характеризувати будь-яку конкретну систему, оскільки реальні системи в силу своєї складності вимагають більш узагальненої характеристики.

Так, наприклад, мало сказати, що дана система лінійна, вона може бути стаціонарною чи нестаціонарною або дискретною тощо. Тому, щоб конкретну систему віднести до того чи іншого класу, потрібно вказати на загальну ділянку декількох класів систем, до якої може бути віднесена розглянута система.

З огляду на той факт, що класифікаційна ознака (тип) системи тією чи іншою мірою пов'язана з типом її структури (впливає на тип структури), проблема віднесення новопроектваної системи до того чи іншого класу стає особливо гострою і тому класифікація систем на стадії розробки повинна включати інші ознаки.

При класифікації систем керування, крім розглянутих, доцільно використовувати такі класифікаційні ознаки, як тип використовуваних технічних засобів, вид енергії і т.п.

За типом використовуваних для керування технічних засобів варто розрізняти системи, побудовані на базі аналогових регуляторів, і системи, що використовують у своєму складі ЕОМ. Останні у свою чергу можуть бути розділені на системи, що використовують центральні керуючі ЕОМ і системи з автономними керуючими мікро-ЕОМ або контролерами, діючими незалежно в загальній мережі.

У обох випадках система може бути зв'язаною багатомірною, якщо здійснюється керування складним багатомірним об'єктом, і незв'язаною багатомірною, якщо здійснюється керування групою незв'язаних одномірних об'єктів.

### **1.3.2. Основні властивості систем керування**

Властивість технічної системи визначається, як ознака, що виділяє її із сукупності інших, подібних їй систем. Ознакою можуть служити, наприклад, здатність системи поводитися певним чином чи задовольняти якій-небудь вимозі. Через ті чи інші властивості дається характеристика систем. При цьому для більшої об'єктивності результатів аналізу важливо, щоб оцінювані властивості і критерії їхньої оцінки, використовувані для характеристики, могли бути визначені кількісно. Системи керування – це особливий вид технічних систем, які характеризуються динамічними причинно-наслідковими зв'язками, обумовленими взаємодією технічних засобів між собою, а також технічних засобів і людини-оператора. Тому розгляд систем керування приводить до понять структурних елементів і груп, що знаходяться між собою у

визначених електричних, енергетичних, геометричних, механічних і інших відносинах.

Результатом виділення системи керування з зовнішнього середовища (визначення її границь), як правило, є її структура, що відбиває взаємодію об'єкта керування (ОК) з керуючою системою і зовнішнім світом.

Структура системи керування, взаємозв'язок і взаємодія її функціональних елементів (підсистем, блоків, вузлів, елементів), їхня кількість і якість виготовлення в основному визначають властивості спроектованої системи. Проведення на початкових стадіях проектування порівняльного чи оцінного аналізів значно полегшується при наявності можливості поділу всієї можливої сукупності властивостей системи керування на класи.

До основних класифікаційних ознак властивостей технічних систем відносять: спосіб встановлення ознак, причинність зв'язків, тіснота зв'язків (функціональна залежність), фізична сутність властивостей і т.п. Спосіб встановлення ознак дає можливість розрізняти зовнішні властивості, встановлювані або за допомогою органів почуттів або вимірювані за допомогою спеціальних пристроїв, наприклад, форму, габарити, вагу, шум, а також внутрішні властивості, що зовні ніяк не виявляються і для встановлення яких потрібно удаватись до спеціальних мір і вимірювальних приладів.

Більш точне визначення поняття зовнішніх і внутрішніх властивостей забезпечується на основі системного принципу. У цьому випадку зовнішні властивості подають, як відносини системи до її оточення, а внутрішні – як відносини між елементами системи і властивостями елементів.

Користувача технічної системи цікавлять головним чином зовнішні властивості. Внутрішні властивості кладуться в основу проектування і конструювання системи, тому становлять інтерес для проектувальників і конструкторів.

Кожна система має визначене оточення. Оточення (навколишнє середовище) включає усе, що не входить у дану систему. У самому загальному випадку оточення системи включає такі складові частини як: геосфера, атмосфера, біосфера (включаючи людей), техносфера і стратосфера. На практиці під час аналізу реальних систем обмежуються оточенням, що складається з елементів, вихід яких є одночасно входом деякого елемента системи.

Поняття «вхід» репрезентує зовнішнє відношення: «навколишнє середовище – система». Вхідна величина в залежності від виду системи може бути дією (переміщення регульовального органа, зв'язком (відношенням) чи параметром стану дії (операнда).

Вихід (вихідна величина) репрезентує зовнішнє відношення: «система – навколишнє середовище». Вихідна величина в залежності від виду системи може бути дією чи зв'язком параметра стану об'єкта перетворення. Входи і виходи системи включають усі види зв'язків з навколишнім середовищем: бажані і небажані (перешкоди) зв'язки матеріального, енергетичного і інформаційного характеру.

Причинність зв'язків, як класифікаційна ознака властивостей системи, дозволяє виділити в системі вхідні впливи (причина) і функції (наслідок) –

вихідні параметри. Здатність проєктувальника чітко розрізняти причину і наслідок відносять до числа його головних творчих здібностей. Йому доводиться «проєктувати» причини (вхідні впливи) і закони їхньої зміни для того, щоб одержувати необхідний стан системи. Прикладом причинно-наслідкових відносин у системах керування технологічними об'єктами можуть служити: підвищення витрати палива, що спалюється в топках, є причиною збільшення температури продуктів горіння; збільшення температури пари перед турбіною є причиною збільшення частоти її обертання.

Функціональна залежність, як класифікаційна ознака, дозволяє розділити властивості на залежні (функціональні), що змінюються, і незалежні (стохастичні), що також змінюються. В галузі технічних систем можна привести багато прикладів функціональних залежностей, що можуть бути подані аналітично: залежність між швидкістю руху об'єкта і його кінетичною енергією; між швидкістю потоку і діаметром труби тощо. Ті властивості, на які здійснюється вплив, називаються залежними змінними (кінетична енергія, швидкість потоку в наведених прикладах). Ті властивості, що впливають на інші, називаються незалежними змінними (у наведених прикладах – діаметр труби, швидкість об'єкта). Ті самі властивості в різних технічних системах можуть виступати як залежні чи як незалежні.

Фізична сутність властивостей, як їхня класифікаційна ознака, дозволяє виділити:

- геометричні властивості (ширина, висота, міжосьові відстані, кут тощо);
- теплові властивості (теплопровідність, теплові втрати, теплоізоляція);
- електричні і магнітні властивості (ємність, напруга, опір, електропровідність);
- оптичні властивості (фокусна відстань, переломлення, відображення, поляризація);
- механічні властивості (міцність, герметичність, гнучкість);
- акустичні властивості (луна, шум, звукова частота);
- кінематичні властивості (швидкість, прискорення).

Існують також цілий ряд інших класифікаційних ознак властивостей технічних систем, наприклад, можливість їхнього кількісного визначення, значимість властивостей, потреба в конструкторській розробці тощо.

Розробка технічних вимог, умов їхнього завдання передбачає наявність повного переліку точно сформульованих необхідних властивостей технічної системи.

Зміст і форма переліку необхідних властивостей різні в кожному конкретному випадку й обумовлені наступними факторами:

- 1) складністю покладених на систему функцій;
- 2) конструктивною складністю системи чи її новизною;
- 3) потребою в додаткових властивостях, таких, як надійність, термін служби, естетикою виконання конструктивних елементів;
- 4) вимогами замовника.

Ступінь складності виконуваних системою функцій залежить від рівня складності об'єкта, який автоматизується, а також від рівня складності використаних технічних засобів автоматизації.

Однак варто мати на увазі, що складність є обмежуючим чинником для якості. Вимоги до якості керування і до складності є антагоністичними в тому змісті, який потрібен, щоб якість керування була якомога більш високою, а складність системи якомога більш низкою. Тому для обліку складності вже на етапі розробки завдання на проектування необхідно вводити в розгляд вимоги, пропоновані не тільки до динамічних і точнісних характеристик системи, але і до таких найважливіших технічних характеристик системи керування, що визначають:

- спеціальні конструктивні властивості, пов'язані зі здійснюваними перетвореннями;
- структуру системи;
- зв'язки між елементами системи;
- надійність системи;
- вартість, вагу, габарити, енергоспоживання.

Характер вимог замовника визначається існуючими можливостями задоволення виробничої потреби чи закупівлею готової системи у випадку відсутності в продажі систем із заданими властивостями, замовленням спеціальної системи. У першому випадку вимоги формуються на основі порівняння властивостей існуючих систем, по-друге – з урахуванням індивідуальних вимог замовника, які формуються виходячи з його (замовника) професійного досвіду. Усе сказане відноситься до системи в цілому. Вимоги до підсистем і елементів звичайно визначає сам проектувальник. Особливу групу бажаних властивостей проекрованої системи утворюють постійні вимоги, що не встановлюються в явній формі, але передбачаються практично завжди:

1) максимально досяжний рівень експлуатаційних властивостей (доступність і заміність елементів системи, мінімальне споживання енергії, габарити, маса і тощо);

2) оптимальні ергономічні показники (просте і зручне обслуговування, захист від перешкод і шкідливих впливів навколишнього середовища).

Для порівняння властивостей систем керування з вимогами, пропонованими до них, чи для порівняння між собою різних систем необхідно уміти визначати ці властивості.

Методи визначення властивостей системи керування змінюються в залежності від стадії її існування, будь це вироблення концепції, розробка виготовлення чи експлуатація, оскільки в залежності від етапу розвитку проекрованої системи змінюється об'єкт і схема оцінювання.

На етапі загальної постановки задачі на розробку об'єктом оцінювання є різні можливі рішення, що за технічними властивостями відповідають поставленій задачі, і визначається кращий варіант. Наприклад, здійснюється вибір системи з огляду на тип використовуваної енергії, за принципом побудови, визначається загальний можливий обсяг автоматизації.



На етапі розробки вимог до проектованої системи об'єктом оцінювання є прийнятий варіант системи, а оцінювання проводиться на предмет її відповідності поставленим вимогам. На етапі практичної реалізації системи об'єктом оцінювання є вже сама система (її властивості). Через велику кількість і розмаїтість можливих властивостей оцінка технічної адекватності системи припускає наявність узагальненої оцінки її сукупної цінності, що обумовлена сумою оцінок приватних цінностей (властивостей). На всіх етапах оцінювання необхідно робити:

- 1) вибір узагальненого показника (ефективності) технічної адекватності (придатності) системи;
- 2) визначення критеріальних оцінок;
- 3) перетворення оцінок окремих критеріїв в узагальнену оцінку.

Як узагальнений показник цінності системи можуть виступати: технічна, економічна, споживча і сукупна цінності.

Технічна цінність визначається як сукупність (вектор) якостей технічних властивостей даної системи. Тут маються на увазі головним чином властивості функціонування, обслуговування і виробництва.

Сюди можна віднести також технологічність і конструктивні властивості:

Економічною цінністю є сума (вектор) якостей економічних властивостей. Аналогічним образом можна визначити ергономічну, естетичну й інші види цінностей.

Споживча цінність охоплює зовнішні властивості виробу, що задовольняють потреби людей.

Сукупна цінність – показник, що враховує цінність усіх класів властивостей системи керування.

До узагальненого показника цінності систем автоматичного керування відноситься також їхня ефективність. Під ефективністю системи керування звичайно розуміється її здатність успішно виконувати поставлену задачу в заданих умовах експлуатації. Поняття ефективності містить у собі багато приватних характеристик систем керування: точність, надійність, маса, вартість тощо. Ефективність оцінюється кількісно за допомогою спеціальних критеріїв.

Узагальнена форма запису аналітичної залежності ефективності від приватних характеристик системи має вигляд:

$$\mathcal{E} = a_1 k_1 + a_2 k_2 + \dots + a_n k_n,$$

де  $a_1, a_2, \dots, a_n$  – вагові коефіцієнти, що встановлюють ступінь впливу визначальних факторів  $k_1, \dots, k_n$  – приватних характеристик.

Слабким місцем оцінок ефективності систем є визначення і вибір коефіцієнтів. У ряді випадків ці коефіцієнти призначаються на підставі наявного досвіду або експертних оцінок.

Усі види приватних характеристик систем керування при оцінці її ефективності звичайно зводяться в чотири групи: точність, продуктивність, надійність, маса і габарити, вартість.

Точність СК оцінюється за ступенем наближення дійсного вихідного сигналу до необхідного його значення.

Вимога до точності насамперед впливає на вибір і розробку пристроїв – первинних вимірювальних перетворювачів або датчиків.

Продуктивність систем може оцінюватися числом функціональних операцій, реалізованих у системі в одиницю часу.

Вимоги до продуктивності системи визначають необхідну швидкодію використовуваних технічних засобів.

Варто розрізняти поняття «швидкодія» і «продуктивність». Швидкодія – більш загальна характеристика, що визначає число типових операцій перетворення (наприклад, додавання) в одиницю часу, або частотні властивості елементів пристрою, системи. Продуктивність – більш специфічна характеристика виробу, що регламентує час виконання конкретної задачі.

Надійність являє собою комплексну властивість системи чи пристрою, що характеризує здатність виконувати задані функції, зберігаючи експлуатаційні показники в заданих межах і в заданих умовах експлуатації.

Вартість систем визначається величиною витрат на розробку, виготовлення і на експлуатацію одного екземпляра (зразка) системи в рік.

Характеристики маси і габаритів системи керування особливо важливі для рухливих об'єктів, насамперед, літальних апаратів і для стиснутих умов експлуатації, наприклад, шахт.

Для визначення властивостей систем і їхніх елементів в основному використовуються наступні методи і прийоми: 1) виміри; 2) експертні оцінки; 3) моделювання.

Виміри й експертні методи оцінки властивостей систем є професійними операціями, використовуваними при наявності діючих і систем, що знаходяться в експлуатації.

Найбільш розробленим засобом оцінки властивостей математичних чи фізичних абстракцій майбутньої системи є моделювання. При цьому розрізняють наступні види моделей: фізично виконані у вигляді креслень, макетів моделюючих алгоритмів на ЕОМ, або абстрактні у вигляді якого-небудь математичного опису.

### **1.3.3. Надійність в АСКТП**

Основні поняття надійності визначені ДСТ 21705-76 АСКТП.

Працездатністю називається стан системи, при якому вона здатна виконувати задані функції, зберігаючи значення параметрів у межах, установлених нормативно-технічною документацією.

Деякі із систем виконують одну функцію (наприклад, автоматичний регулятор), деякі – кілька функцій (наприклад, інформаційно-обчислювальний комплекс). З метою спрощення аналізу, поводження багатofункціональних систем звичайно розглядається для кожної з функцій окремо.

Відмовленням називається подія, що полягає в порушенні працездатності системи. Критерії відмовлення повинні встановлюватися в нормативно-технічній документації. Ці критерії, як правило, наводяться для окремих

приладів у технічних умовах, стандартах тощо. Для систем критерії відмовлення можуть або знаходитися за вимогами, що існують до системи конкретної АСКТП, чи обчислюватися за критеріями відмовлень пристроїв, які входять у систему. Прикладами відмовлення приладів є згорання термопари, обмотки реле, поломка редуктора вторинного приладу та ін. Ушкодження дверцят приладу чи порушення його антикорозійного покриття не є відмовленнями, а класифікуються як несправність, оскільки прилад не відповідає яким-небудь з вимог, що встановлені документацією, але може виконувати задані функції.

Прикладом відмовлення автоматичного регулятора є припинення регулювання чи підвищення його понад припустимої зони нечутливості; прикладом відмовлення вимірювальної системи є підвищення її похибки вище допустимої.

У залежності від характеру зміни параметрів до моменту виникнення відмовлення можна розділити на раптові і поступові. Перші настають у результаті різкої, стрибкоподібної зміни одного з параметрів. Другі – внаслідок тривалої, поступової зміни параметрів. Розмежування відмовлень на раптові і поступові є деякою мірою умовним і залежить від можливості контролю процесів зміни параметрів. Раптові відмовлення звичайно мають характер обривів, замикань і часто з'являються в порушенні кола проходження сигналу. Поступові відмовлення мають характер перерегулювання.

У залежності від того, чи підлягає відновленню працездатність системи після виникнення відмовлення в розглянутих умовах, систему можна розділити на відновлювану і невідновлювану. Переважна більшість систем керування відносяться до відновлюваних. До невідновлюваних можуть бути віднесені прилади, доступ до яких неможливий у період експлуатації, наприклад до капітального ремонту основного устаткування.

Наробітком системи називається тривалість її роботи, вимірювана одиницями часу (звичайно годинами).

Тривалість роботи системи від початку експлуатації до виникнення першого відмовлення називається наробітком до відмовлення. Тривалість роботи системи від моменту закінчення відновлення її працездатності до моменту виникнення наступного відмовлення зветься наробітком між відмовленнями.

Часом відновлення називають період, необхідний для приведення системи в працездатний стан після відмовлення.

Надійність – це здатність системи виконувати задані функції в повному обсязі протягом необхідного інтервалу часу за певних умов експлуатації і технічного обслуговування, а також зберігати працездатність за час транспортування і зберігання. Надійність є комплексною властивістю, що включає в себе чотири складові: безвідмовність, ремонтпридатність, довговічність, збереженість.

Під безвідмовністю розуміється властивість зберігати працездатність протягом необхідного інтервалу часу без змушених перерв. Безвідмовність є найбільш важливим компонентом надійності системи, оскільки відбиває її

здатність тривалий час функціонувати без відмовлень. Вона вирішально впливає на ефективність виконання системою заданих функцій і визначається кількістю і безвідмовністю приладів та елементів, які належать до них, навантаженням, наявністю резервування, параметрами навколишнього середовища (температурою, запиленістю та ін.).

Ремонтопридатність характеризує пристосованість систем до попередження, виявлення й усунення наслідків відмовлень шляхом проведення технічного ремонту й обслуговування. Ремонтопридатність залежить від того, чи виконані пристрої у вигляді окремих, легко замінних блоків, а також від застосування засобів інтегрованого контролю несправностей і уніфікованих схемно-конструктивних вузлів. Слід зазначити, що характеристики ремонтпридатності істотно залежать не тільки від властивостей самої системи, але і від кваліфікації обслуговуючого персоналу і від організації експлуатації.

Довговічність – властивість зберігати працездатність до граничного стану з необхідними перервами для технічного обслуговування і ремонтів. Тут під граничним розуміється такий стан системи, коли її експлуатація повинна бути припинена через непереборне відхилення заданих параметрів за встановлені межі або через непереборне зниження ефективності експлуатації нижче припустимої, чи необхідності проведення капітального ремонту. Довговічність грає менш істотну роль, ніж дві попередні властивості, тому що протягом 5–10 років експлуатації системи замінюється частина її пристроїв і елементів, до того ж найчастіше їхнє моральне старіння настає раніш, ніж фізичне. Внаслідок цього питання довговічності нижче не розглядаються.

Збереженість характеризує властивість зберігати обумовлені показники протягом і після терміну збереження і транспортування. Збереженість також є менш важливою складовою, оскільки прилади звичайно транспортуються один раз – від заводу-виготовлювача до місця установки, і тривалість їхнього збереження від моменту надходження до монтажу і налагодження відносно невелика.

Таким чином, далі розглянемо показники двох складових надійності – безвідмовність і ремонтпридатність. Наробіток між відмовами, число відмов за визначений проміжок часу, час відновлення розглядаються як випадкові величини. Так, наробіток між відмовами залежить від технологічного режиму при виготовленні, неоднорідності структури застосованих матеріалів і не буде однаковий у різних приладів навіть при ідентичних умовах експлуатації. До того ж самі умови експлуатації, режими технологічного обслуговування, частота включення, межі зміни вхідних сигналів тощо деякою мірою відмінні одне від одного. Часи відновлення різні в залежності від кваліфікації обслуговуючого персоналу, характеру відмовлення тощо.

У залежності від того, яку зі складових надійності відбивають показники, їх можна розділити на такі, що характеризують безвідмовність, ремонтпридатність, і комплексні, що описують дві ці властивості.

У залежності від способу визначення можливо ймовірно завдання показників (через функцію розподілу або щільність розподілу, числові характеристики випадкової величини, їхньої послідовності) чи статистичне

завдання. При статистичному визначенні, наприклад, показників безвідмовності розглядається ситуація, коли на випробуваннях знаходяться  $k$  однотипних приладів, причому всі вони передбачаються працездатними в момент часу  $t = 0$ .

Імовірність безвідмовної роботи приладу в інтервалі наробітку  $(0, t)$  – це коли в межах цього інтервалу відмовлення не наступить:

$$P(t) = P\{T > t\} = 1 - F(t),$$

де  $T$  – наробіток до відмовлення;  $F(t)$  – функція розподілу випадкової величини  $T$ .

Очевидно, що  $P(0) = 1$ ;  $P(\infty) = 0$ ;

Статистичне визначення ймовірності безвідмовної роботи

$$P(t) = b(t) / k,$$

де  $b(t)$  – число приладів, що безвідмовно працювали в інтервалі часу  $(0 < t < t_0)$ ,  $k$  – число приладів, працездатних до моменту  $t_0$ .

Інтенсивністю відмовлень називається умовна щільність імовірності відмовлення приладу в момент  $t$  за умови, що до цього моменту відмовлень не виникло:

$$\lambda(t) = f(t) / P(t) = dF(t) / dtP(t).$$

Статистичне визначення інтенсивності відмовлень:

$$\lambda(t) = m(t, t + t_1) / r(t + t_1),$$

де  $m(t, t + t_1)$  – число приладів, що відмовили за інтервал часу  $(t, t + t_1)$ ,  $r(t)$  – число приладів, працездатних у момент часу  $t$ .

Слід зазначити дві обставини: по-перше, усі вищевказані показники надійності застосовуються як для невідновлюваних, так і для відновлюваних приладів, якщо їхнє поводження розглядається тільки до першого відмовлення; по-друге, вони (як і всі показники, що далі наводяться) застосовуються не тільки для приладів, але і для систем.

З усіх функцій розподілу, що описують випадкову величину  $T$  – наробіток до відмовлення, найбільше поширення одержав експонентний розподіл, який описується виразом

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}.$$

Експонентний розподіл добре описує поводження приладів і систем при наступних припущеннях:

- 1) відмовлення є раптовими;
  - 2) умови експлуатації не змінюються;
  - 3) період наробітку після пуску (коли виявляються дефекти заводського виготовлення, монтажу, налагодження) уже закінчений;
  - 4) період старіння через знос елементів ще не настав.
- При експонентній залежності щільність розподілу

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

і ймовірність безвідмовної роботи

$$P(t) = e^{-\lambda t},$$

середній наробіток до відмовлення

$$T = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = 1 / \lambda,$$

а інтенсивність відмовлень  $\lambda t$  є постійною величиною, що не залежить від часу при експонентному розподілі.

До показників безвідмовності відновлюваних приладів (систем) відносяться наробіток на відмовлення і параметр потоку відмовлень.

Наробітком на відмовлення відновлюваного приладу називається відношення його наробітку  $T$  до математичного чекання числа відмовлень  $N(t)$  у часі цього наробітку:

$$Q = T / MN(t).$$

Параметр потоку відмовлень визначається відношенням

$$u(t) = LIM Q(t, t+t_1) / t, t > 0,$$

де  $Q(t, t+t_1)$  – ймовірність настання не менш одного відмовлення в інтервалі часу  $(t, t+t_1)$ .

З показників ремонтпридатності обмежимося середнім часом відновлення  $MT_B$  – математичним чеканням часу відновлення.

Крім зазначених показників, кожний з яких характеризує одну зі складових надійності, використовують також комплексні показники, що відбивають спільно безвідмовність і ремонтпридатність. До них відноситься коефіцієнт готовності  $K_2$  і коефіцієнт оперативної готовності  $K_{oe}(t)$ . Коефіцієнтом готовності  $K_2$  називається ймовірність того, що прилад

виявляється працездатним у деякий довільний момент часу (досить великий від моменту першого включення приладу).

$$K_2 = \frac{T_B}{T_B + MT_B} = \frac{T_B}{T_B + T_B},$$

де  $T_B$  – час відновлення.

Коефіцієнтом оперативної готовності  $K_{oz}(t)$  називається ймовірність того, що прилад виявиться працездатним у момент часу, коли необхідно було його застосування за призначенням, і з того моменту буде працювати безвідмовно протягом визначеного часу ( $t$ ).

$$K_{oz}(t) = K_2(t)P(\tau),$$

де  $P(\tau)$  – одна з інтегральних функцій розподілу для фіксованих значень  $t$ , тобто  $P(\tau)$  – імовірність безвідмовної роботи об'єкта протягом інтервалу часу  $(0, \tau)$ .

Вибір виду показника надійності систем здійснюється, виходячи з тимчасових особливостей їхнього функціонування і специфіки системи. Так, наприклад, наробіток на відмовлення, параметр потоку відмовлень застосовується для опису надійності безперервно працюючих систем (автоматичних регуляторів, вимірювальних систем), особливо в тих випадках, коли втрата ефективності пропорційна кількості відмовлень.

Якщо втрати ефективності пропорційні тривалості простою системи, то як показник надійності доцільно вибирати коефіцієнт готовності. Він не застосовується для опису надійності систем, що функціонують короткий час після запитів на спрацьовування (наприклад, систем сигналізації, АВР тощо).

Шляхи підвищення надійності приладів і систем керування різні при розробці приладів, проектуванні систем та їхньої експлуатації.

При розробці приладів підвищення надійності досягається за допомогою удосконалювання елементної бази, полегшення режиму роботи елементів, зниження критичності приладів до зміни параметрів елементів, широкого застосування стандартизації й уніфікації, використання автоматичного контролю справності із сигналізацією про місце виникнення відмовлень і їх видів (це дозволяє істотно підвищити ремонтопридатність, а з нею коефіцієнт готовності).

Найбільш діючим способом підвищення надійності при розробці систем керування є введення різних видів резервування. Найбільше застосування одержало структурне (апаратне) резервування, що передбачає введення додаткових приладів спеціально з метою підвищення надійності. Цьому виду резервування можуть піддаватися різні пристрої, від датчиків до процесорів обчислювальних комплексів. Резервні пристрої можуть бути навантаженими, знаходячись у тому самому режимі, що й основний елемент, і ненавантаженими, які не можуть здійснювати постійне резервування, беручи участь у функціонуванні в місці з основними пристроями, і резервувати

заміщенням, беручи участь у функціонуванні тільки після відключення основного пристрою. Може здійснюватися фіксоване резервування, коли місце підключення кожного резервного пристрою визначено заздалегідь, чи змінне резервування (вид резервування заміщенням, коли група основних елементів резервується одним чи декількома резервними пристроями, кожний з яких може замінити будь-яке відмовлене основне). Крім структурного, у системах можуть застосовуватися інші види резервування:

- тимчасове, що передбачає використання надлишкового часу, коли припустимі тимчасові перерви в роботі приладів;
- навантажувальне (використання здатності пристрою сприймати додаткові навантаження);
- функціональне резервування (одна функція може деякою мірою замінитися іншою).

Основними засобами забезпечення і підвищення надійності в процесі експлуатації є технічне обслуговування (профілактичні і капітальні ремонти, перевірки), забезпечення запасними частинами, поліпшення умов експлуатації, удосконалення підготовки персоналу та ін.

### **Контрольні питання**

1. Що розуміється під проектуванням?
2. Яких фахівців охоплює коло проектування?
3. Коли виникає потреба в створенні нової системи керування?
4. Які стадії включає життєвий шлях системи керування?
5. Які роботи виконує проєктант на кожній стадії життєвого циклу?
6. Чим закінчується проектування системи керування?
7. Які системи автоматизації використовуються на різних стадіях планування і проектування?
8. Які основні задачі розв'язуються на етапі формування стратегії розробки?
9. Розв'язання яких задач передбачається при впровадженні системи керування?
10. Що розуміють під об'єктом керування?
11. Які три основні задачі необхідно розв'язати при організації керування об'єктами?
12. Які питання стають перед дослідниками при обстеженні об'єктів автоматизації?
13. Що таке базовий об'єкт?
14. Що таке одиничний об'єкт?
15. Які групи основних класифікаційних ознак об'єктів враховуються при розробці САК?
16. Які додаткові ознаки виділяють серед основних класифікаційних ознаках об'єктів, наведіть їх характеристики?
17. Які є основні класи технологічних процесів у промисловості, наведіть їх характеристики?
18. Чим визначаються властивості об'єктів керування і які вони?



19. Що дає знання статичних характеристик?
20. Що дає знання динамічних характеристик?
21. Які є динамічні властивості, наведіть їх характеристики?
22. Для чого можуть використовуватися ймовірні характеристики об'єктів?
23. Які класифікаційні ознаки систем керування найчастіше використовують при проектуванні систем керування?
24. Наведіть класифікацію систем за ступенем складності, а також їх характеристики.
25. Наведіть основні структури систем керування.
26. Які системи керування розрізняють в процесі їх ідентифікації?
27. Які властивості систем керування в першу чергу кладуть в основу проектування?
28. Якими факторами обумовлюється зміст і форма переліку необхідних властивостей систем керування при проектуванні?
29. Які вимоги є бажаними практично завжди при проектуванні систем керування?
30. Які роботи необхідно проводити на всіх етапах оцінювання системи?
31. Які основні показники цінності системи існують, наведіть їх характеристику?
32. Що відносять до основних понять надійності?
33. Наведіть основні показники надійності.
34. Які припущення роблять при експонентному розподілі відмов?
35. Якими шляхами підвищують надійність систем при їх розробці?