

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

681.5

K76

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"

ПЕРЕОБЛІК 200 *р.*

М.Д. Кошовий, А.Г. Михайлов

ПЕРЕОБЛІК 2016 *р.*

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ
ПРОМИСЛОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів
вищих навчальних закладів

Научно-техническая
библиотека
"ХАИ"



mt0049770

49770.11

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА
БІБЛІОТЕКА
Національного аерокосмічного
університету ім. М.Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"

Харків "ХАІ" 2001

УДК 681.518; 621.391 (075)

Інформаційно-вимірювальні системи промислового призначення /
М.Д. Кошовий, А.Г. Михайлов. - Навч. посібник. - Харків: Нац. аеро-
космічний ун-т "Харк. авіац. ін-т", 2001. - 122 с.

ISBN 966-966-662-014-6

Розглянуто призначення, структура і особливості побудови інформаційно-вимірювальних систем промислового призначення, що використовують сучасні комп'ютерні системи, а також вбудовані мікропроцесорні контролери. Наведено основні схеми алгоритмічного та технічного забезпечення інформаційних систем вимірювання фізичних параметрів. Описано задачі вимірювання, моделювання параметрів і ідентифікації досліджуваних об'єктів з використанням інформаційно-обчислювальних комплексів.

Для студентів вищих навчальних закладів технічних спеціальностей, що вивчають принципи розробки інформаційно-вимірювальних комплексів.

Рис. 25. Табл. 6. Бібліогр.: 49 назв

Рецензенти: д-р. техн. наук, проф. І.О. Фурман,
д-р. техн. наук, проф. Е.Г. Петров

Гриф надано 20.04.01 Міністерством освіти і науки України

ISBN 966-966-662-014-6

© Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут", 2001 р.

ВСТУП

Сучасні кібернетичні системи широко застосовують мікропроцесори (МП) і комп'ютерні системи (КС), що дозволяє реалізувати різні цифрові алгоритми, які дають вигравш у точності порівняно з іншими існуючими системами.

Інформаційно-вимірювальні системи (ІВС) як один з розділів кібернетики також використовують переваги широкого впровадження обчислювальної техніки, МП і КС. Орієнтація алгоритмічного забезпечення на цифрові методи дозволяє реалізувати такі сучасні актуальні напрями [1]:

- синтез і аналіз ефективних цифрових методів подання інформації в реальному масштабі часу;
- розробка нелінійних методів подання і обробки негауссових сигналів і перешкод;
- розвиток адаптивних і робастних методів обробки інформації при нестаціонарних розподілах сигналів і перешкод або невідомих функціях розподілу статистичних характеристик;
- впровадження нових адаптивних алгоритмів передачі інформації, що дозволяють одержати вигравш у пропускній здатності й обсязі інформації, що передається;
- використання ідентифікації нелінійних параметрів об'єкта з багатоекстремальною поверхнею відклику;
- застосування інтелектуальних і таких, що базуються на знаннях, засобів вимірювань в багаторівневій КС.

Використання в ІВС результатів сучасних цифрових методів і комп'ютерних технологій в проектуванні забезпечує високу ефективність порівняно з існуючими системами, що особливо важливо при імітації нових інформаційних об'єктів в маловивченому середовищі.

У плані технічної реалізації КС є обов'язковим елементом сучасних ІВС і звичайно виконуються у вбудованому вигляді. Можливість нескладного узгодження окремих комп'ютерних підсистем дозволяє будувати на їх основі складні швидкодіючі багатоканальні вимірювальні комплекси для автоматизації технологічних процесів і наукових досліджень.

Метою даного курсу є вивчення загальних питань побудови інформаційно-вимірювальних систем (ІВС), що використовуються в промисловому виробництві, основних понять і визначень теорії інформації та вимірювань, а також набуття навичок організації інформаційно-вимірювального процесу і роботи на інформаційно-вимірювальних лабораторних пристроях із застосуванням комп'ютерної техніки.

Основними задачами курсу є вивчення:

- структури ІВС, основ їх побудови і обробки інформації;
- роботи ІВС під керуванням комп'ютерних систем;
- основ цифрового подання і алгоритмів обробки інформації

комп'ютерних ІВС;

- методів організації й оптимізації експериментальних досліджень.

У процесі вивчення курсу студент мусить здобути такі знання:

- основні конфігурації ІВС;
- принципи кодування і обробки інформації в ІВС;
- принципи передачі даних в ІВС;
- робота систем ідентифікації ІВС;
- основи оптимізації цифрової вимірювальної інформації.

У результаті навчання студент повинен уміти:

- розраховувати основні параметри ІВС;
- складати структурні схеми алгоритмів цифрового подання вимірювальної інформації;

- працювати з прикладними програмами ІВС персонального комп'ютера (ПК).

Особливістю даного курсу є переважне вивчення комп'ютерних ІВС, цифрових методів обробки і подання інформації, а також основ застосування інтелектуальних ІВС. Зміст курсу обмежується матеріалом, що стосується ІВС ближньої дії, без розгляду системи телевимірювання і телеконтролю.

Даний курс має таку структуру:

- основні теоретичні питання побудови ІВС;
- алгоритмічне та програмне забезпечення ІВС;
- метрологічне забезпечення ІВС;
- апаратне забезпечення ІВС.

1. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Інформаційні вимірювальні системи - це сукупність функціонально зв'язаних пристроїв автоматизованого збирання інформації, подання, передачі, запам'ятовування, реєстрації і обробок вимірюваної інформації.

Сучасна інформаційна техніка є найбільшим розділом технічної кібернетики - дисципліни, що вивчає загальні закономірності процесів доцільного керування, одержання і перетворення інформації в технічних пристроях [2].

Інформаційна техніка має важливе значення в сучасних дослідженнях. Основними гілками інформаційної техніки є вимірювальна, обчислювальна і канали зв'язків. Кожна з цих гілок має принципові особливості своєї побудови.

Основними задачами інформаційної техніки є:

- збирання інформації;
- переробка інформації;
- передача інформації;
- зберігання інформації;
- пошук інформації;
- реєстрація інформації;
- видача інформації в необхідному поданні.

Основними процесами є процеси вимірювання, діагностики, контролю, ідентифікації об'єктів і розпізнавання образів.

Вимірювання - знаходження значення фізичної величини дослідним шляхом з одержанням чисельних відношень між вимірюваною величиною і одиницею порівняння.

Контроль - стала відповідність між станом об'єкта і заданою нормою.

Розпізнавання зразків - установлення відповідності між об'єктом і заданим образом (шаблоном).

Ідентифікація - побудова математичної моделі об'єкта, адекватної з точністю до заданого критерію.

Діагностика - виявлення елементів відмови або неправильного функціонування.

ІВС використовується як автономно, так і в складі різних інформаційних комплексів, створених на основі інтеграції вимірювальної й обчислювальної техніки. При цьому виникають такі проблеми:

а) вибір методів дискретизації за часом, квантування за рівнем, кодування, виділення інформаційного повідомлення;

б) для випадків телеметричної передачі інформації на великі відстані або в умовах сильних перешкод виникнення задачі перешкодостійкого методу кодування, декодування, модуляції, демодуляції;

в) обробка інформації, що потребує екстраполяції, інтерполяції, апроксимації, цифрової фільтрації, якщо сигнал передається у вигляді негауссівського розподілу сигналів і перешкод.

Сигнал - це фізична величина, що змінюється у часі й описується функцією часу. Один з параметрів цієї функції містить інформацію про іншу фізичну величину, що, наприклад, вимірюється. Такий параметр сигналу (функції) називають інформативним, а фізичну величину, до якої подано сигнал, - носієм сигналу.

Інформативний параметр сигналу може змінюватися у часі безперервно або дискретно.

Під інформаційною моделлю системи розуміють структурну схему, що включає тільки елементи інформаційного каналу. Допоміжні елементи технічної підтримки - підсилювачі, пристрої керування, узгодження - до уваги не беруться.

1.1. Структура комп'ютерних інформаційно-вимірювальних систем

Структурну схему комп'ютерної ІВС подано на рис. 1.1. Вона містить такі блоки:

ДПІ - датчики первинної інформації - пристрої, які сприймають фізичні величини, що характеризують стан об'єкта;

Д(t) - пристрій дискретизації;

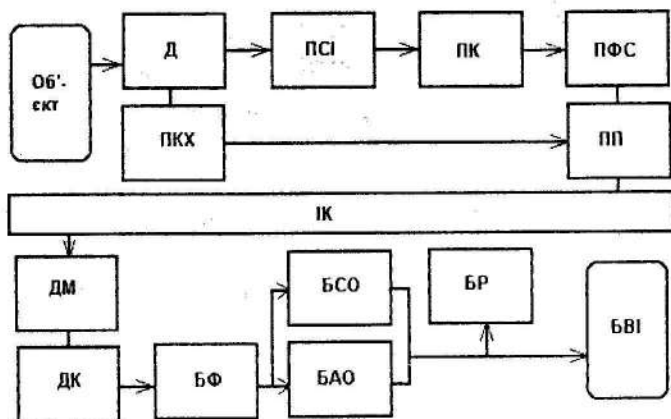


Рис. 1.1. Структура комп'ютерної ІВС

- ПКХ - пристрій кодування характеристик об'єкта;
- ПСІ - пристрій стиснення інформації;
- ПЗК - пристрій перешкодостійкого кодування;
- ПФС - пристрій формування сигналів;
- ПП - передавальний пристрій (модулятор);
- ІК - інформаційний канал;
- ДМ - демодулятор (приймач повідомлення);
- ДК - пристрій декодування; БФ - блок фільтрації;
- БАО - блок алгоритмічної обробки, що здійснює обробку інформації за заданим алгоритмом;
- БСО - блок статистичної обробки – напрацювання інформаційної бази для одержання ймовірнісних статистичних характеристик об'єкта;
- БР - блок реєстрації;
- БВІ - блок відображення інформації, що видається користувачеві.

На схемі показано такі сигнали:

$J(t)$ - початкова інформація об'єкта,

$$J(t) = J_1(t), J_2(t), \dots, J_n(t);$$

$L(T_e)$ - код, що передається, T_0 - період дискретизації;

V - перешкоди;

L' - прийнятий код;

J' - відновлене значення інформації стану об'єкта.

При проектуванні даної структури виділяють один з критеріїв оптимізації, наприклад, критерій максимуму перешкодостійкості системи при заданій точності, а інші показники можуть бути враховані у вигляді обмежень.

Перешкодостійкість характеризується мінімальним пороговим відношенням A_0 потужності сигналу P_s до потужності перешкод (шуму) P_v на вході для певної смуги пропускання $2 \cdot F_0$ повідомлення:

$$A_0^2 = P_s/P_v. \quad (1.1)$$

Якщо враховувати похибку вимірювання як випадкову величину, то для одержання повної характеристики об'єкта необхідно мати повний опис закону розподілу перешкод.

1.2. Класифікація вимірювань

Існує декілька визначень вимірювання, причому кожне з них виділяє яку-небудь окрему властивість. Оскільки метою вимірювання є створення образу фрагмента дійсності, що досліджується, то, чим складніше дійсність, тим складніше й створення образу [3].

Вимірюванням можна назвати одержання числового еквівалента величини, що характеризує властивості фізичного об'єкта (предмета, процесу, явища), за допомогою експерименту, основу якого складає операція порівняння аналогової величини із зразковою, що задовольняє вимоги системи забезпечення єдності вимірювань.

Як основний принцип класифікації вимірювань прийнято умовний їх поділ на три типи:

- прямі;
- непрямі;
- сукупні.

Прямі вимірювання визначаються як вимірювання, що виконуються при впливі на вхід вимірювального пристрою величини, що

сама вимірюється.

Непрямі вимірювання визначаються як вимірювання, що виконуються при впливі на вхід вимірювального пристрою величини γ , функціонально зв'язаної з вимірюваною величиною X :

$$X = F(\gamma).$$

Використання цього відомого функціонального зв'язку і лежить в основі непрямих вимірювань.

Сукупні вимірювання полягають у використанні результатів прямих вимірювань деякої сукупності величин $\{\gamma\}$ і відомої залежності, яка зв'яже значення цих величин з певними величинами $\{X_i\}$. Встановлення значень $\{X_i\}$ пов'язано з розв'язанням системи рівнянь:

$$\begin{aligned} F_1(x_1, \dots, x_n, \dots, \gamma_1^*, \dots, \gamma_i^*, \dots) &= 0, \\ F_m(x_1, \dots, x_n, \dots, \gamma_1^*, \dots, \gamma_i^*, \dots) &= 0. \end{aligned}$$

Якщо при вимірюваннях є умови i , відповідно, значення x_1, \dots, x_n , то такі вимірювання називаються сумісними.

Для найповнішого визначення суті вимірювального процесу введемо поняття моделі вимірювання. У вимірюванні беруть участь дві множини величин: множина X вимірюваної величини X і множина W відомої величини w , елементи якої впорядковані за значеннями i та позначені індексом i . Вимірювана величина створює нескінченну або скінченну множину, обмежену зверху і знизу. Відносно множини W приймається, що вона є скінченною множиною, тобто послідовні елементи w_i, w_{i+1} множини W відрізняються один від одного на значення $w_{i+1} - w_i = 2\varepsilon_i > 0$ для будь-якого i від $i = 1$ до $i = N$.

Множина W створена за допомогою еталонної величини, відтвореної в процесі вимірювань за допомогою вимірювального приладу.

Модель вимірювання дозволяє формалізувати дії, з яких складається вимірювання, і залежно від цих дій визначати різні методи вимірювання. Тільки за моделлю вимірювання можна бачити, що конкретному методу вимірювань відповідають певні дії, структура побудови вимірювальної системи, а також алгоритм визначення

результату вимірювання.

1.2.1. Методи вимірювання

Існує два основних методи вимірювання: метод безпосередньої оцінки і метод порівняння. При методі безпосередньої оцінки вимірювану величину оцінюють безпосередньо за шкалою вимірювального приладу, заздалегідь відградуйованого у відповідних одиницях. Даний метод простий, він значно поширений для елементарних вимірювань.

Суть методу порівняння полягає в тому, що вимірювану величину порівнюють безпосередньо з мірою. Метод більш точний порівняно з методом безпосередньої оцінки, але ускладнений.

Розрізняють такі види методу порівняння:

- диференціальний;
- нульовий;
- заміщення;
- компараторний;
- компенсаційний.

Структура вимірювальної системи для окремих методів вимірювання може бути подана за допомогою функціональних схем. Характерними особливостями такого виду відображення є мінімальна функціональна структура, якій відповідатиме математична модель вимірювальної системи, визначення ролі та місця еталона у вимірювальній системі за допомогою функціональної схеми, а також уніфікація операцій вимірювань.

Диференціальний метод. Цей метод полягає в тому, що вимірювальним приладом оцінюється різниця між вимірюваною величиною і зразковою мірою та відкладається елемент $x-x_p$. Точність диференціального методу зростає із зменшенням різниці між величинами, що порівнюються. Застосовують цей метод при вимірюванні параметрів ланцюга: опору, індуктивності та ін. Функціональну схему методу подано на рис.1.2.

Нульовий метод. У нульових методах вимірювана величина порівнюється з елементами множини W , досліджується різниця елементів x і w , шляхом варіювання вибираються такі елементи w , при

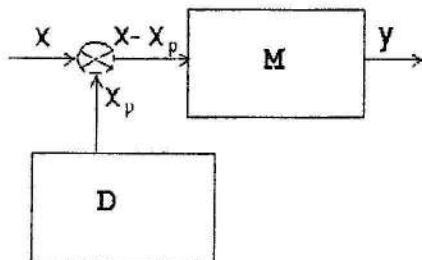


Рис. 1.2. Диференціальний метод вимірювання:
 М - вимірювальний прилад; D - джерело
 еталонної величини

яких виконується умова $w_l < x < w_l + 1$. Існує нульовий метод з адаптивним балансом і нульовий метод з програмним балансом. Нульовий метод є окремим випадком диференціального методу і полягає в тому, що результуючий ефект впливу вимірюваної величини і зразкової міри на прилад порівняння зводиться до нуля. Прикладом нульового методу служить мостовий метод вимірювання активного опору, індуктивності та ін. Відмітною рисою нульових методів є застосування принципу балансу вимірювальної системи, тобто адаптивна або програмна зміна елементів множини W до такого стану, при якому можливе одержання результату вимірювання. Функціональну схему подано на рис. 1.3.

Метод заміщення. Даний метод полягає в тому, що вимірювана величина заміняється у вимірювальній схемі регульованою зразковою мірою так, що ніяких змін у стані вимірювальної схеми не відбувається, показання приладу будуть ті ж, що і при поданні вимірюваної величини. У методі заміщення порівняння елемента x з елементами W не здійснюється безпосередньо і одночасно. Використовують метод при вимірюванні індуктивності, ємності та ін. Функціональну схему методу подано на рис. 1.4.

Компараторний метод. У методі порівнянь використовується додаткова числова множина K , реалізована за допомогою відношення двох величин, вимірювальна система зводиться до нуля зміною K або W . Метод застосовують для вимірювання частоти. Функціональну схему

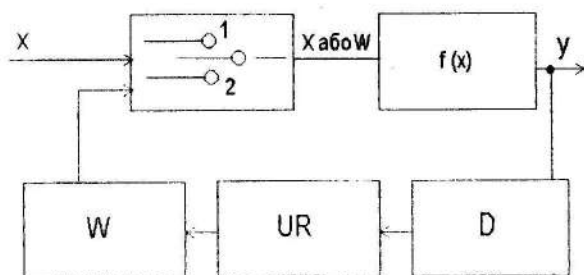


Рис. 1.3. Нульовий метод з адаптивним балансом:
D - детектор балансу; UR - балансувальний пристрій

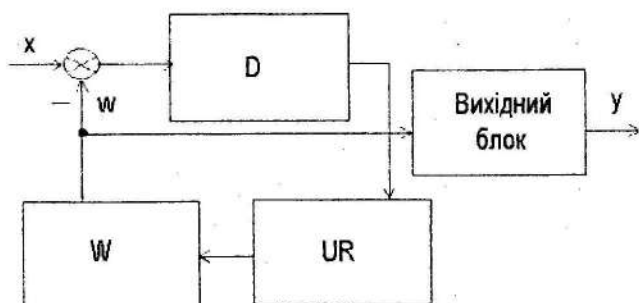


Рис. 1.4. Метод заміщення:
W - джерело еталонної величини;
UR - балансувальний пристрій ; D- детектор балансу

методу подано на рис. 1.5.

Компенсаційний метод. Цей метод полягає в тому, що вимірювана величина і зразкова міра, що протиставляється їй, одночасно впливають на прилад порівняння. За показаннями приладу встановлюють співвідношення між вимірюваною величиною і мірою. У схемі вимірювання є два джерела енергії. Прикладом методу служить часткове або повне зрівноваження двох напруг.

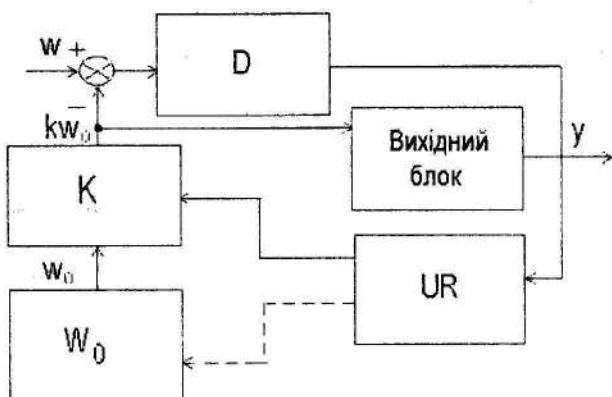


Рис. 1.5. Компараторний метод:
 K - числова множина k ; UR - балансувальний пристрій

Основою окремого методу вимірювання служить спосіб порівняння вимірюваної величини з еталонною. Спосіб - це сукупність дій, які треба виконати в процесі вимірювання. Формалізований опис цих дій називається процедурою вимірювання. Якщо вимірювання складається з декількох етапів або можливих варіантів, то процедур буде більше.

Ще остаточно не сформульовані принципи створення і уніфікації процедур вимірювання, а також правила їх запису. В міру проходження через вимірювальну систему інформація спотворюється і стає зашумленою, в реальних вимірюваннях енергія відбирається від об'єкта, до якого приєднана вимірювальна система, і тому змінюються його властивості.

Необхідно зазначити, що досягнути точного результату на виході вимірювального приладу досить складно, навіть якщо оперувати однією промисловою партією приладів. Нікчемні зміни хімічного складу, ледве помітні при спектральному аналізі, можуть призвести до радикальної зміни термоелектричних властивостей, що дає неправдоподібні дані. Так стоїть справа зі всіма властивостями матеріалів і всіма

коефіцієнтами впливу середовища.

Однак вчені й інженери наполегливо працюють над вирішенням проблем, що виникають при вимірюваннях. Особливої уваги заслуговує такий підхід, як звернення до індивідуальних властивостей обладнання.

1.3. Обчислення основних характеристик передачі інформації

Основи теорії інформації, розроблені Шенноном, застосовують в будь-якій галузі знань і діяльності людини, пов'язаної з обробкою інформації.

Носієм інформації може бути такий сигнал, зміну якого у часі передбачити неможливо. Априорно відомий сигнал не містить нового повідомлення, і тому прийнята інформація дорівнює нулю. Очевидно, що кількість інформації, що міститься в сигналі, залежить від невизначеності, за якою можна робити висновок про цей сигнал до його приймання. З прийманням сигналу вказану невизначеність виключають і прийнята інформація виявляється такою, що чисельно дорівнює невизначеності, що існувала. Отже, можна сказати, що інформація є усунена невизначеність. Якщо до одержання інформації ймовірність появи окремого повідомлення невідома, то для приймача всі повідомлення мають однакову ймовірність появи повідомлень.

Згідно з теорією Клода Шеннона інформація може бути подана і оброблена як будь-яка фізична величина, і тому він запропонував іншу єдину характеристику – ентропію $H(x)$, що є деякою ваговою функцією всіх точок кривої закону розподілу $p(x)$ [4,5].

Ентропія виражає невизначеність різних станів деяких параметрів X , що залежать від кількості цих станів та ймовірності їх реалізації, і для дискретного випадку має вигляд

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \cdot \log(p(x_i)) = M [-\log(p(x_i))]. \quad (1.2)$$

Якщо розглядати випадкову величину L дискретного характеру (наприклад цифровий код), що має n рівноймовірних значень, то ймовірність кожного з них буде $p=1/n$, а ентропія цифрового значення

$$H(L) = - \sum_{i=1}^n p \cdot \log(p) = -n \cdot (1/n) \cdot \log(1/n) = \\ = \log(n). \quad (1.3)$$

Тоді кількість інформації, що передається,

$$I(L) = H(L) - H(V), \quad (1.4)$$

де $H(V)$ - ентропія шуму V (умовна ентропія).

Опрацьована теорія, що називається теорією інформації, дозволила одержати характеристику інформації, яка відповідає трьом вимогам:

- а) характеристика інформації має бути безперервною відносно $P(x)$;
- б) для рівноймовірних значень при збільшенні числа N функція повинна монотонно зростати;
- в) загальне значення має бути зваженою сумою індивідуальних значень.

Для величин (X, Z) , події яких мають імовірнісну залежність, має місце повна умовна ентропія:

$$H(Z, X) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \cdot H(Z/x_i) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \cdot \\ \cdot \sum_{j=1}^m P[(z_j/x_i) \cdot \log P(z_j/x_i)]. \quad (1.5)$$

Наприклад, є ентропія об'єктів, що досліджуються до і після вимірювального експерименту $H(X)$, $H(X/Z)$. В результаті проведеного експерименту кількість інформації така: $I(X,Z) = H(X) - H(X/Z)$.

Враховуючи, що $P(X,Z) = P(X) \cdot P(Z/X)$, дістанемо

$$I(X,Z) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [p(x_i, z_j) \cdot \log(p(x_i/z_j)/p(x_i))]. \quad (1.6)$$

Іншим прикладом може бути вимірювання величини з рівноймовірним розподілом за відсутності шумів. Тоді згідно із залежностями (1.3) і (1.4), що одержуються внаслідок вимірювання, інформація

$$I(L) = \log(DL/h), \quad (1.7)$$

де DL - діапазон вимірювань;
 h - інтервал квантування.

Приклад 1.1.

Нехай проводиться вимірювання температури повітря рівноймовірним розподілом за відсутності шумів у діапазоні $[-60...+50]^{\circ}\text{C}$ з точністю $0,5^{\circ}\text{C}$. Тоді згідно з рівнянням (1.7) апіорний об'єм інформації, що надходить від вимірника,

$$I = \log(50 - (-60))/0,5) = 7,78 \cong 8 \text{ [біт]}.$$

Приклад 1.2.

Для попередніх умов розглянемо варіант вимірювання з точністю 1°C . Апіорний об'єм інформації, що надходить від вимірника,

$$I = \log(50 - (-60))/1) = 6,78 \cong 7 \text{ [біт]}.$$

2. ЦИФРОВЕ ПОДАННЯ ІНФОРМАЦІЇ АНАЛОГОВИХ ПАРАМЕТРІВ

2.1. Подання аналогових параметрів вибірковими значеннями

497704
Мікропроцесорна техніка внесла свої корективи в подання аналогових сигналів. Цифрове подання сигналів характеризується більш високою точністю, меншими статичними похибками.

Класифікація ІВС завжди проводиться з урахуванням форм подання вхідних і вихідних сигналів: в аналогових системах існує взаємно-однозначна відповідність форми кожного вхідного і вихідного сигналів, в дискретних системах незалежно від форми вхідних сигналів вихідні сигнали завжди є дискретними. Залежно від напрямку перетворення форми сигналів розрізняють аналогово-дискретні та дискретно-аналогові системи.

Дискретним поданням аналогового повідомлення $J(t)$ на заданому тимчасовому інтервалі T називають перетворення цього повідомлення в послідовність координат G_i , $i = 0, 1, 2, \dots, n$, за значеннями яких можуть бути одержані оцінки $J'(t)$ початкового повідомлення.

Дискретне подання можна задати загальною формулою

$$\{G_0, G_1, \dots, G_n\} = A[J(t)], \quad (2.1)$$

де A - оператор кодування.

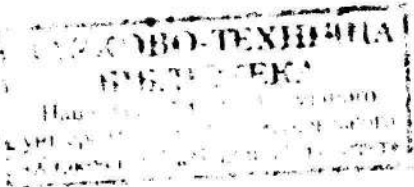
Обернене перетворення - відновлення початкового повідомлення - може бути таким:

$$J'(t) = B[G_0, G_2, \dots, G_n], \quad (2.2)$$

де B - оператор декодування.

Співвідношення між значеннями $J(t)$ і $J'(t)$ визначає похибку функцій кодування-декодування і залежить від їх вибору:

$$E = J(t) - J'(t).$$



Вибір функцій кодування A і декодування B здійснюють з умов:

- забезпечення необхідної надмірності;
- можливості стиснення інформації;
- мінімізації похибки.

Відновлення повідомлення в аналоговій формі для КС може і не виконуватися, але має бути передбаченим, наприклад, для обчислень проміжних значень в різні моменти часу, обробки повідомлень.

Залежно від вигляду операторів A і B існують різні методи подання і методи відновлення, що їм відповідають. Оператори A і B можуть бути як лінійними, так і нелінійними, причому з одним і тим же оператором подання можна використовувати різні методи відновлення, і навпаки [1,2].

На лінійних поданнях зупинимося детальніше в зв'язку з їх значною поширеністю. Вони поділяються на три класи:

- а) подання відліками;
- б) різницеві подання;
- в) інтегральні подання.

Подання відліками (вибірковими миттєвими значеннями), яке називається також точковим:

$$G_i = J(t_i), t_i \in T, \quad (2.4)$$

при цьому вагові функції кодування V лінійного оператора A є дельта-функціями Дірака:

$$V_i = D(t-t_i). \quad (2.5)$$

Відновлення здійснюється у вигляді зрізаного ряду полінома $J'(t)$ міри n , який відносно початкового повідомлення називається апроксимуючим. В окремому випадку, коли базисні (координатні) функції W , вибором яких повністю визначається лінійний оператор відновлення B , вибрані так, що значення апроксимуючого полінома збігаються зі значеннями відліків (за відсутності перешкод):

$$J'(t_i) = \sum_{i=1}^n [G_i * W_i] \approx J(t_i). \quad (2.6)$$

Поліном $J'(t_i)$ називають інтерполяційним.

Різницеві подання, тобто подання, при яких чергова координата, що формується, J виражає відхилення відповідного відліку від його фактичних минулих відліків $J(t_k) \setminus (k < i)$, розглядаються в наступному розділі.

При інтегральних поданнях, на відміну від попередніх, вагові функції не містять дельта-функцій. Координати G є коефіцієнтами відповідного ряду (наприклад, тригонометричного ряду Фур'є, ортогонального канонічного ряду), побудованого за вибраною системою базисних функцій, при цьому звичайно $W(t) = V(t)$.

Цифрове подання аналогового повідомлення відрізняється від дискретного тим, що значення кожної координати перетворюється в цифровий код шляхом квантування її шкали і наближеної заміни фактичного значення на номер рівня квантування, виражений в системі числення з основою a (звичайно $a = 2$). Це означає, що в значення кожної координати вноситься випадкова похибка квантування, яка утворює одну із складових похибки відновлення.

Найзручнішою формою відображення динамічних характеристик об'єкта дослідження є подання у вигляді деякого тимчасового ряду

$$D_n = \{y(t_i)\}, \quad (2.7)$$

де n - кількість інформаційних об'єктів (ІО);

y - деяка функція;

t_i - момент часу, $t_i \in T$.

Цифровий ряд D_n (рис. 2.1) дозволяє формувати положення вимірюваного значення $J(t)$, тобто формалізувати його.

Сучасні КС працюють з величезним числом ІО, що позначається на таких характеристиках, як апаратні витрати і час обробки інформації. Одним з можливих шляхів вирішення вказаної проблеми є зміна структури ІО, що кодуються в ІВС.

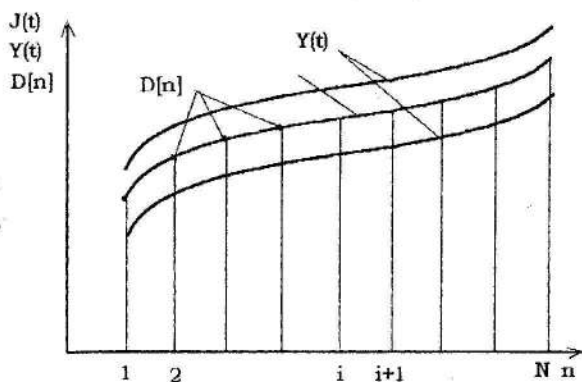


Рис. 2.1. Формування тимчасового ряду

Зокрема, пропонується використання динамічного структурування ІО, що складають тимчасовий ряд D_n .

2.2. Динамічне подання даних

Розглянемо перехід від статичного відображення даних до зберігання тенденції перебігу подій, що належать до тимчасового ряду на інтервалі $t_0 \dots t_k$, у вигляді спеціальної генеруючої функції (ГФ).

Генеруючою функцією називається об'єднання кусково-лінійних функцій подання f , що відображають динамічну залежність поточних значень від числового ряду

$$Y = f(D, t), \quad (2.8)$$

якому відповідає похибка відображення

$$E = \max_i |r_i^* [y(t_i) - f(D, t_i)]| < E_0, \quad (2.9)$$

де r_i - значення ефективності даних у точці i ;

E_0 - допустиме значення похибки відображення.

У цьому випадку динамічне відображення інформації дозволяє зберігати в запам'ятовуваних пристроях не самі ІО, а параметри ГФ - $b_0 \dots b_m$ (при $m < k_0$), що їм відповідають.

Це дозволяє здійснити стиснення даних з коефіцієнтом $K_c = k/m$. При цьому інформація про миттєве значення для будь-якого моменту t_i може бути одержана підстановкою t_i в ГФ [6].

При визначенні параметрів ГФ можуть використовуватися такі методи, як ітеративний, послідовних різниць, апроксимуючих функцій, а також сплайн-апроксимація. Останній метод є найефективнішим з точки зору витрат на аналіз апроксимуючих функцій.

Застосування принципів динамічного відображення ІО, на відміну від традиційних підходів [7], забезпечується розробкою інформаційної моделі об'єкта.

Іншим методом, що використовується для стиснення послідовності даних, може бути метод кодування зі втратами [8,9]. При цьому передбачається застосування деякої процедури F кодування числового ряду $D(t_i)$, для якої функція декодування F' повертає той числовий ряд $D2(t_i)$, що тільки частково повторює початковий, але умова (2.9) має бути додержаною.

Прикладом систем, що працюють на вказаному принципі, можуть служити апаратно-приладові комплекси фірми Super Mac Technology і прикладні пакети Joint Photography Experts Group (JPEG) [10].

2.3. Відновлення інформаційних повідомлень за відліками поліномом Лагранжа

Нехай задано n значень t_i , яким відповідає m коефіцієнтів функції $J'(t)$.

У процесі розв'язання задачі необхідно використати значення функції в точках, що лежать в інтервалі від t_0 до t_k .

У цьому випадку будується функція $f(t)$, досить проста для обчислення, яка в заданих точках $t_k \ (k=1\dots n)$ збігається з табличними значеннями функцій $J'(t)$:

$$f(t)=J(t_k). \quad (2.10)$$

Замість обчислення функції $J(t)$ у довільній точці інтервалу $[t_1 \dots t_n]$ визначають значення функції $f(t)$ і вважають його рівним значенню $J(t)$.

При цьому точки t є вузлами інтерполяції, а функція $f(t)$ називається інтерполюючою.

Геометрично задача інтерполяції зводиться до побудови кривої $J(t)=f(t)$, що проходить через задані точки з координатами $[t, J(t)]$. Очевидно, що через задані точки можна провести нескінченне число кривих. Задача стає однозначною, якщо інтерполюючу функцію шукати у вигляді множини мір (не вище за m). Якщо інтервал $t_1 \dots t_n$, що містить вузли інтерполяції, має малу довжину, а функція $J(t)$ - похідні досить високих порядків, то вона достатньо наближена до алгебричного багаточлена.

Для одержання багаточлена Лагранжа [1] побудовано допоміжний багаточлен $w(t)$, що дорівнює одиниці при $t=t_k$ і нулю в інших вузлах інтерполяції:

$$\begin{aligned} w(t) &= 1 \text{ при } t_i = t; \\ w(t) &= 0 \text{ при } t_i \neq t, \end{aligned} \quad (2.11)$$

де $i \neq k$.

Оскільки всі вузли інтерполяції, крім t_k , є коренем багаточлена $w(t)$, останній можна записати у вигляді

$$w_k(t) = C \cdot (t-t_1) \cdot (t-t_2) \dots (t-t_{k-1}) \cdot (t-t_{k+1}) \dots (t-t_m). \quad (2.12)$$

Сталу C визначимо з умови $w(t)=1$ підстановкою $t=t_k$:

$$P_k = \frac{(J-J_1)(J-J_2)\dots(J-J_{n-1})(J-J_n)}{(t-t_1)(t-t_2)\dots(t-t_{n-1})(t-t_n)}. \quad (2.13)$$

При цьому генеруюча функція, подана багаточленом Лагранжа, така:

$$Q = P_k J'(t_i). \quad (2.14)$$

2.4. Оптимальність обробки сигналів ІВС

При адитивному впливі перешкод вектор відклику

$$y(t) = C [X(J, t) + V(t)], \quad (2.15)$$

де C - функція співвідношення шумів і корисних сигналів;
 X - сигнал корисної інформації J ;
 V - вплив шумів.

При мультиплікаційному впливі перешкод одержимо

$$y(t) = C [X(J, t), V(t)]. \quad (2.16)$$

Надалі будемо передбачати гауссівське, або нормальне, розподілення перешкод. При довільному негауссівському розподілі математична теорія стикається з такими труднощами, як пошук багатовимірної щільності розподілу імовірностей (ЦПІ) перешкод.

У цей час статистична теорія оптимального приймання повідомлень може бути подана такими задачами:

- виділення перешкоди або сигналу, який є найпотрібнішим;
- оцінки;
- одночасне розрізнення сигналу;
- фільтрації сигналу.

Для одержання оцінок передавальних параметрів необхідно реалізувати оператор оцінювання $A[\cdot]$, тобто якщо характеристики повідомлень і перешкод випадкові, то задача найкращого визначення A носить статистичний характер. Як статистичний критерій використовується характеристика середнього ризику

$$R = \int w(y) \cdot R_y \cdot dy. \quad (2.17)$$

Тут $w(y)$ - щільність розподілу ймовірності вектора оцінок y ;
 R - умовний ризик, який може бути заданий таким чином:

$$R_y = \int w_y(x) \cdot S(x) \cdot dx, \quad (2.18)$$

де $w_y(x)$ - апостеріорна щільність розподілу ймовірності (АЩРІ);
 $S(x)$ - функція втрат;
 x - прийнятий сигнал.

На основі теореми множення законів розподілу дістанемо

$$w(y, x) = w(x) \cdot w_x(y) = w(y) w_y(x), \quad (2.19)$$

де $w(x)$, $w(y)$ - апіорний розподіл імовірності;
 $w_x(y) = w(y/x)$ - функція правдоподібності (ФП);
 $w_y(x) = w(x/y)$ - апостеріорна щільність розподілу ймовірностей.

Звідси

$$w_y(x) = k \cdot w(x) \cdot w(y). \quad (2.20)$$

Для випадку, коли повідомлення мають рівномірний закон розподілу $w(x) = \text{const}$, одержимо:

$$w_y(x) = k_1 \cdot w(x). \quad (2.21)$$

Тоді визначення АЩРІ зводиться до обчислення функції правдоподібності.

Проведені дослідження [1] показують, що часто мінімізація функції втрат досягається при виборі у ФП максимального значення АЩРІ.

2.5. Алгоритм максимізації апостеріорної ймовірності

В основу алгоритму покладено рівняння

$$L = \max | w_x(y) | . \quad (2.22)$$

Для дискретного спостереження повідомлень вираз для ФП можна записати як

$$w_x(y) = W \{(y_1 - S(x_1)), (y_2 - S(x_2)) \dots (y_n - S(x_n))\},$$

де $S(x)$ - статистичний оператор, що визначає вихід поза впливом X .

На практиці теоретичні обчислення виконують не з функціями $S(x)$, а з їх логарифмами. Тоді функція може бути подана у вигляді взаємної кореляції:

$$Q(x) = \sum_{i=1}^n \ln W\{Y_i - S(x_i)\}, \quad (2.23)$$

де $i = 1 \dots n$.

Нехай вихідний ефект системи відповідно до алгоритму максимальної правдоподібності такий:

$$q(s) = \sum_{i=1}^n \ln w_x [Y_i - S(X)]. \quad (2.24)$$

Останній розрахунок для всіх можливих значень неперервної випадкової величини технічно погано реалізовується. Однак якщо вектор повідомлень закодований одним з відомих алгоритмів у тимчасовому інтервалі й являє собою вектор певного числа значень n , то приймальний пристрій може бути побудований за багатоканальною схемою. При цьому число каналів має бути більшим від цього числа або дорівнює йому: $k \geq n$.

На рис. 2.2 наведено структурну схему оптимального приймача для такого сигналу.

Для негауссівського розподілу перешкоди необхідно на вході використати БНП, а як РП - детектор максимального сигналу (ДМС).

Якщо розподіл перешкоди відповідає білому гауссівському шуму, то залежність (2.24) можна спростити:

$$q(J) = \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n [y_i - S(J_i)]^2. \quad (2.25)$$

При прийманні сигналів, енергія яких не залежить від повідомлення, що передається, формула (2.25) набуває вигляду

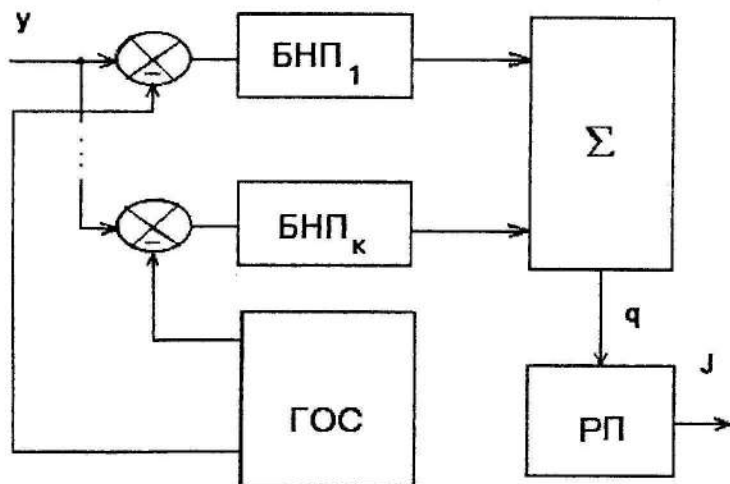


Рис. 2.2. Структурна схема приймача:
 ГОС - генератор опорних сигналів;
 БНП - блок нелінійних перетворень;
 РП - розв'язувальний пристрій

$$q(J) = \frac{1}{2\sigma} \sum_{i=1}^n [y_i * S(J_i)]. \quad (2.26)$$

Структурну схему оптимального приймача для даного сигналу наведено на рис. 2.3.

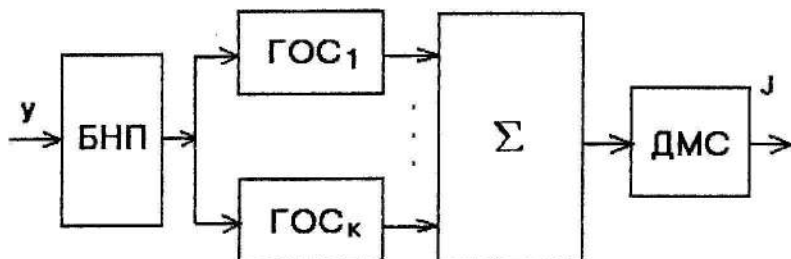


Рис. 2.3. Структурна схема приймача для сигналів з однаковою потужністю

2.6. Рекурентні алгоритми квазіоптимальної лінійної та нелінійної фільтрації

Сучасні ІВС, що включають до свого складу ЦОМ, активно застосовують цифрові (рекурентні, рекурсивні) методи обробки сигналів в реальному масштабі часу. Серед таких методів найбільшого поширення набули рекурентні методи фільтрації та демодуляції. Використовуються фільтри Калмана, нелінійні марківські фільтри і демодулятори для фільтрації адитивної та мультиплікативної перешкод довільної щільності розподілу ймовірності. Надалі основна увага приділятиметься адитивним перешкодам. Рівняння спостереження при дії адитивної перешкоди:

$$y(t) = S(J, t) + V(t), \quad (2.27)$$

де $V(t)$ - перешкода; $S(y, t)$ - сигнал.

Повідомлення J і перешкода V є взаємно незалежними статистичними величинами з відомою багатовимірною щільністю розподілу:

$$w(J) = w(j_1, j_2, j_3, \dots, j_n); \quad (2.28)$$

$$w(V) = w(v_1, v_2, v_3, \dots, v_m).$$

Оскільки на цей час багатовимірна щільність розподілу ймовірності відома лише для гауссівських процесів, а двовимірний розподіл - тільки для декількох типів, то для подальших розрахунків використовуватимемо допущення, що повідомлення і перешкода являють собою неперервнозначні марківські послідовності. У цьому випадку як оцінку повідомлень J^* можна прийняти максимальну фінальну апостеріорну щільність розподілу ймовірності:

$$J_n^* = \max \text{Ln}[w_{y_{\text{сер}}}], \quad (2.30)$$

$$\text{де } w_{y_{\text{сер}}} = \int \dots \int w_y(j_1, j_2, \dots, j_{n-1}) dj_1 \cdot dj_2 \dots dj_{n-1}.$$

У рекурентній формі АЩРІ можна записати так:

$$w_y = k_S w_{\Pi} [y - S(J)] \cdot w_E(J), \quad (2.31)$$

де k_S - нормуючий коефіцієнт;

w_{Π} - функція правдоподібності;

w_E - ЩРІ екстрапольованого сигналу.

Для двовимірної умовної щільності розподілу ймовірності екстрапольоване значення

$$w_E(J_n) = \int w_y(j_{n-1}) \cdot w(J_n / J_{n-1}) \cdot dJ_{n-1}, \quad (2.32)$$

де $w(J_n / J_{n-1})$ - умовна щільність розподілу ймовірності повідомлення J_n при переданому значенні J_{n-1} .

При такому підході не треба набувати всіх значень $J'_1 \dots J'_n$ реалізації, оскільки на кожному кроці визначення АЩРІ використовуються два попередніх значення.

Одержані рекурентні співвідношення для АЩРІ фільтрації та демодуляції повідомлень при відомому початковому розподілі $w(J_1)$ разом з оптимальним критерієм фільтрації (2.30) дають оптимальний алгоритм лінійної та нелінійної фільтрації та демодуляції повідомлень і дозволяють розв'язати задачу для дискретних спостережень.

3. РІЗНИЦЕВІ МЕТОДИ ПОДАННЯ ДАНИХ У ЦИФРОВИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

3.1. Основні показники різницевого подання

Диференціальний (узагальнено-різницевий) спосіб подання інформації $J(t)$ характеризується послідовностями різниць:

$$\begin{aligned} G_k &= J_k - J_{k-1}, \\ G_0 &= J_0, \quad k=0, 1, 2, \dots, \end{aligned} \quad (3.1)$$

де J - екстрапольовані значення.

За умови, що екстрапольоване значення J_k обчислюється за значеннями різниць, що передаються G'_{k-1} , які відрізняються від фактичних на деяке задане значення E ,

$$|G_k - G'_k| < E. \quad (3.2)$$

У цьому випадку екстраполяція включає взаємозв'язані рекурсивні процедури:

а) обчислення оцінок попередніх відліків J'_{k-i} , $i=1\dots n$ за переданими різницями;

б) визначення безпосереднього значення екстрапольованого J'_k за попередніми значеннями J'_{k-i} :

$$\begin{aligned} J'_k &= J'_k + G'_k; \\ J'_k &= f_3(J'_{k-i}). \end{aligned} \quad (3.3)$$

Різницеве подання визначається як послідовність скінченних різниць, що є окремим випадком диференціального:

$$\begin{aligned} G_k &= D_n(J_k); \quad 0 < k < n; \\ G_k &= D_n(J_k); \quad k > n, \end{aligned} \quad (3.4)$$

де k - число ітерацій, D_n - різниці порядку n .

Розглянемо рекурентне формування різницевої послідовності k -го порядку на передавальній стороні:

$$\begin{aligned}G_0 &= J_0; \\G_1 &= J_1 - J_0 = D(J_1); \\G_2 &= D(J_2) - D(J_1) = D(J_2); \\&\dots\dots\dots \\G_k &= D(J_k) - D(J_{k-1}) = D(J_k).\end{aligned}\tag{3.5}$$

Відновлення початкової інформації у вигляді оцінок J_i' на приймальній стороні здійснюється аналогічно співвідношенню (3.3) на основі одержаних повідомлень G^i :

$$\begin{aligned}J_0' &= G_0'; \\J_1' &= J_0' + G_1'; \\J_2' &= J_1' + G_2'; \\&\dots\dots\dots \\J_k' &= J_{k-1}' + G_k'.\end{aligned}\tag{3.6}$$

Повідомлення порядку вище за k згідно з виразом (3.5) кодуються і відновлюються аналогічно повідомленню порядку k .

На основі описаної теорії будуються різні алгоритми, що широко використовуються в сучасних КС [11,12].

3.2. Практичні алгоритми різницевих подань першого і другого порядків

Розглянемо деякі практичні алгоритми різницевого подання.

Структурну схему пристрою різницевого подання першого порядку наведено на рис. 3.1.

Для реалізації даного пристрою на алгоритмічній мові пропонується такий алгоритм.

На основі формули (3.5) повідомлення X формується таким чином:

$$X[i] = J[i], \quad i=1; \quad (3.7)$$

$$X[i] = J[i] - J[i-1], \quad i > 1.$$

Модель каналу, обмеженого по ширині діапазону S повідомлень, що передаються, описується як

$$X[i]' = X[i] \text{ при } ABS(X[i]) < S; \quad (3.8)$$

$$X[i]' = Z * S \text{ при } ABS(X[i]) > S,$$

де $Z = ABS(X[i])/X[i]$.

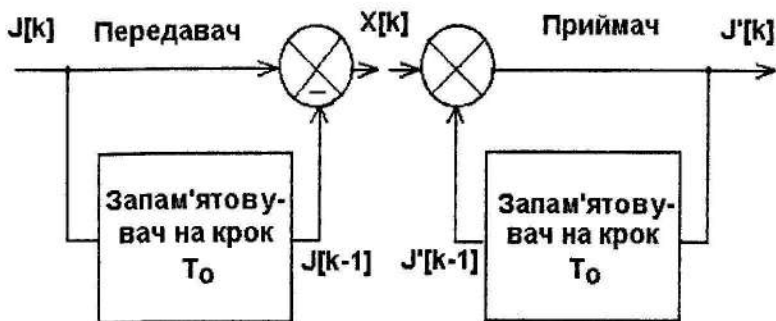


Рис. 3.1. Структурна схема пристрою різницевого подання першого порядку

Реальний пристрій повинен при цьому забезпечити на першому кроці повну передачу повідомлення.

Екстраполяція повідомлення використовує рекурсивну процедуру обчислення $J'[i]$ за знайденими оцінками $J'[i-1]$ і переданими різницями:

$$J'[i] = X[i], \quad i=1; \quad (3.9)$$

$$J'[i] = J'[i-1] + X'[i], \quad i > 1.$$

Приклад 3.1.

Розрахувати похибку повідомлень початкових даних, наведених в табл. 3.1, для описаного пристрою, що має ширину каналу, яка дорівнює $S = 3$.

Таблиця 3.1
Приклад розрахунку значень, що передаються

Крок	Дія алгоритму	Значення				
1	Початковий цифровий код $J[k]$	244	245	251	248	244
2	Різниця 1-го порядку $X[k]$		1	6	-3	-4
3	Повідомлення, що передається, $X'[k]$	244	1	3'	-3	-3'
4	Відновлене значення $J'[k]$	244	245	248	245	242
5	Похибка перевантаження	0	0	3'	3	2'

Далі наводиться типова програма моделювання різницевого подання першого порядку за описаним алгоритмом мовою ПАСКАЛЬ.

```
{----- Lab Power1 -----}
```

```
uses Crt;
var
  lam: array[1..256] of real;
  lam1: array[1..256] of real;
  x: array[1..256] of real;
  i, n, s: integer;
  del, x1: real;

begin
  clrscr;
  n:=7;
  write('enter canal:');readln(s);
```

```

for i:=1 to n do
  begin
    write(' enter array=');
    readln(lam[i]);
  end;
writeln('; Повідомлення | Передавач | Канал | Приймач | Помилка!');
{----- Передавач -----}
for i:=1 to n do
  begin
    if i=1 then x[i]:=lam[1];
    if i>1 then
      begin
        del:=lam[i]-lam[i-1];
        x[i]:=del;
      end;
{----- Канал -----}
    if i>1 then
      begin
        x1:=abs(x[i]);
        if x1>s then x[i]:=s*x1/x[i];
      end;
{----- Приймач -----}
    if i=1 then lam1[i]:=x[i];
    if i>1 then
      begin
        del:=x[i];
        lam1[i]:=lam1[i-1]+del;
      end;
    write(lam[i]:3:0,' ');
    write(x[i]:3:0,' ');
    write(lam1[i]:3:0,' ');
    writeln(lam[i]- lam1[i]:3:0,' ');
  end;
readln;
end.

```

Структурну схему пристрою різницевого подання другого порядку наведено на рис. 3.2.

Для реалізації даного пристрою алгоритмічною мовою пропонується такий алгоритм. На основі рівняння (3.5) повідомлення X формується так:

$$\begin{aligned} X[i] &= J[i], \quad i=1; \\ D[i] &= J[i] - J[i-1], \quad i>1; \\ X[i] &= D[i] - D[i-1], \quad i>1. \end{aligned} \quad (3.10)$$

Модель каналу, обмеженого по ширині діапазону S повідомлень, що передаються, має вигляд:

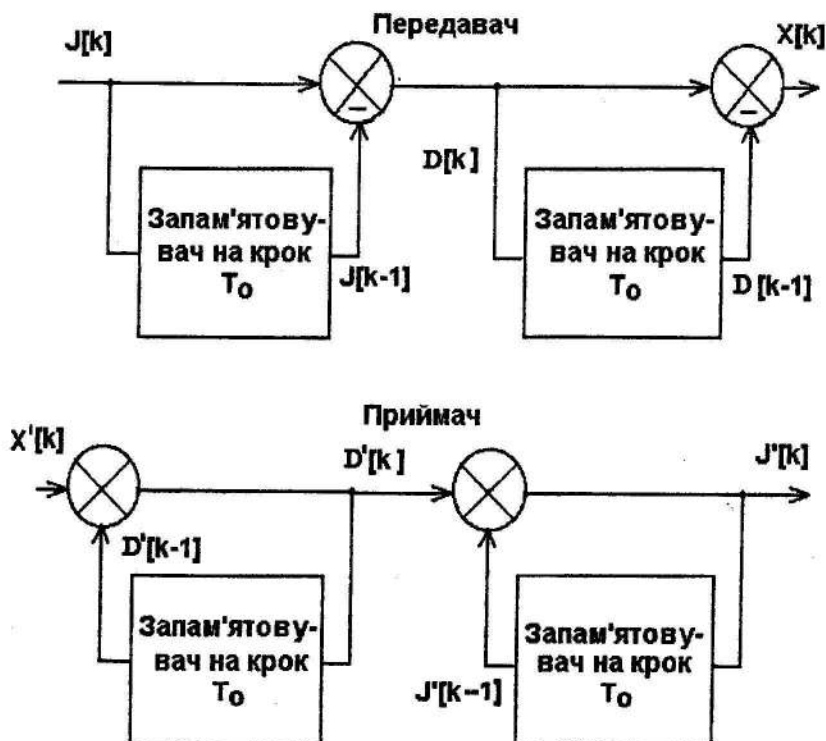


Рис. 3.2. Структурна схема пристрою різницевого подання другого порядку

$$X'[i] = X[i] \text{ при } ABS(X[i]) < S; \quad (3.11)$$

$$X'[i] = Z \cdot S \text{ при } ABS(X[i]) > S,$$

де $Z = ABS(X[i])/X[i]$.

Реальний пристрій повинен при цьому забезпечити на першому і другому кроках повну передачу повідомлення.

Екстраполяція повідомлення використовує рекурсивну процедуру обчислення $J'[i]$ за знайденими оцінками $J'[i-1]$, оцінками $D'[i-1]$ і переданими різницями другого порядку:

$$\begin{aligned} J'[i] &= X[i], & i=1; \\ J'[i] &= J'[i-1] + X'[i], & i=2; \\ J'[i] &= J'[i-1] + D'[i], & i>2; \\ D'[i] &= D'[i-1] + X'[i], & i>2. \end{aligned} \quad (3.12)$$

Приклад 3.2.

Розрахувати похибку повідомлень різних значень, що передаються для початкових значень пристрою, який має ширину каналу S , що дорівнює 2. У табл. 3.2 наведено результат розрахунку значень для описаного пристрою.

Таблиця 3.2

Приклад розрахунку значень, що передаються

Крок	Дія алгоритму	Значення				
		244	245	249	248	246
1	Початковий цифровий код $J[k]$	244	245	249	248	246
2	Різниця 1-го порядку $D[k]$	1	4	-1	-2	
3	Різниця 2-го порядку $X[k]$	1	3	-5	-1	
4	Повідомлення, що передається $X'[k]$	244	1	2	-2	-1
5	Відновлена різниця $D'[k]$		1	3	1	0
6	Відновлене значення $J'[k]$	244	245	248	249	249
7	Похибка перевантаження	0	0	1	-1	3

3.3. Адаптивне подання даних

Адаптивним поданням даних вимірювального повідомлення називається подання, при якому об'єм на послідовних інтервалах автоматично змінюється відповідно до поточних властивостей повідомлення.

Адаптація спрямована на мінімізацію об'єму повідомлення при допустимій похибці. Необхідність в адаптації виникає в нестационарних процесах, коли стан не може бути цілком описаний за апріорними даними.

В основу алгоритму адаптації можуть бути покладені алгоритми кодування стаціонарних процесів із заданими ймовірнісними характеристиками.

При проектуванні ІВС, що використовують адаптивні подання даних, залежно від вигляду подання і характеру нестационарності процесу розрізняють такі види адаптації: за числом координат (степеня полінома, порядку різниць); за об'ємом (відстані квантування, зрядності коду).

Адаптація за числом координат здійснюється такими методами: шляхом адаптивної дискретизації (координата формується з початкового повідомлення); шляхом стиснення (зменшення надмірності повідомлення).

Методи подання адаптації за об'ємом:

- а) адаптація шкали координат;
- б) адаптація нерівномірним (статистичним) кодуванням;
- в) адаптація нелінійним перетворенням шкали повідомлень (квантування при цьому рівномірне);
- г) усунення неінформативної частини повідомлення.

Методи адаптивного подання можуть також застосовуватися для стиснення об'єму повідомлень на основі використання взаємних статистичних зв'язків, що є. Надалі будемо розглядати методи стиснення за числом координат, побудовані на основі різницевих подань, які також іноді називаються адаптивною диференціальною кодімпульсною модуляцією (АДКІМ).

Алгоритми даного типу виконуються на основі подання звітами з подальшою інтерполяцією, а також на основі подання коефіцієнтів ряду з подальшою апроксимацією.

Різницеве подання оптимального порядку забезпечує істотне зменшення об'єму повідомлення, що передається, порівняно з поданнями відліків.

Враховуючи, що вимірювальні процеси звичайно мають порівняно невеликий динамічний діапазон значень, сучасні методи стиснення, основані на методах Лемпеля-Зіва, та інші не завжди дозволяють істотно скоротити об'єм повідомлень вимірювальної інформації.

Дискретно-різницеві методи стиснення інформації, що застосовуються в ІВС, добре працюють тільки у разі одержання інформації від конкретного інформаційно-вимірювального каналу.

На практиці інформація, що надходить від інтелектуального датчика (групи датчиків), містить різномірну інформацію про необхідні параметри, а також службову інформацію.

Для обробки такого потоку повідомлень потрібні алгоритми стиснення, що враховують можливість циклічності зміни сигналу, в сумі з деякою випадковою складовою.

У праці [13] пропонується алгоритм просторового кодування інформації, суть якого полягає в такому.

Потік інформації, що надходить, розбивається на деякі вибірки, всередині яких здійснюється один з відомих методів кодування, наприклад скінченно-різницевий. Група вибірок формує ряд інших вибірок, перпендикулярних до перших, всередині яких можуть кодуватися результати перших вибірок.

Угрупування може здійснюватися до вибраного значення вимірності простору M .

Значний вигравш порівняно з базовим методом кодування і його варіаціями більш високих порядків з'являється при виборі довжини вибірки / згідно з умовою

$$l_k = L [MIN I], \quad (3.14)$$

де L - деякий функціонал, який визначає довжину вибірки k -го вимірювання, яка відповідає мінімальній кількості інформації I , що передається.

Алгоритм двовимірно-різницевого кодування має такий вигляд:

- 1) визначається початкова довжина вибірки;
- 2) формуються різниці повідомлення в поточній вибірці;
- 3) формуються різниці між результатами вибірок;
- 4) записується результат; якщо передача продовжується, треба перейти до кроку 2.

Даний алгоритм запропонований для обробки ІВС мережі датчиків. При цьому інформаційний потік містить код вибраного датчика, умови його роботи і дані в першій вибірці. У подальшій вибірці міститься код подальшого датчика і т.д.

Стислі повідомлення будуть подавати різниці відповідних позицій у вибірці.

Розроблений алгоритм дозволяє істотно підвищити міру стиснення інформації, що передається для систем, які працюють з різнорідними потоками даних.

Розглянуті методи кодування мають просту реалізацію при досить високій швидкодії, що важливо для КС реального часу.

Застосування даних алгоритмів при проектуванні ІВС дозволяє зменшити надмірність потоків інформації промислових процесів або експериментальних досліджень, що підвищує ефективність вказаних процесів.

4. ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНИМИ СИСТЕМАМИ

Однією з найважливіших задач ІВС є ідентифікація об'єкта. Комп'ютерні ІВС, що використовують сучасний математичний апарат, забезпечують ретельне вивчення і одержання математичної моделі об'єктів дослідження. Ці моделі надалі можуть використовуватися для розв'язання задач оптимізації та керування.

Підвищена увага дослідників та інженерів до методів ідентифікації зумовлена застосуванням сучасних обчислювальних систем, що дозволяють швидко одержувати точну інформацію про параметри реального досліджуваного об'єкта.

Практичне розв'язання задачі ідентифікації являє собою обчислювальну процедуру оцінки невідомих параметрів математичної моделі, внаслідок чого встановлюються закономірності функціонування початкового об'єкта. Розрізняють ідентифікацію у вузькому і широкому значенні. Під ідентифікацією у вузькому значенні розуміють оцінку параметрів математичної моделі при заданій її структурі за результатами статистичних даних вхідних і вихідних параметрів. Під ідентифікацією в широкому значенні розуміють як побудову самої моделі, так і визначення її параметрів. Ідентифікацію також поділяють на ідентифікацію в реальному часі та після проходження експерименту.

У першому випадку на ідентифікацію накладаються жорсткі тимчасові обмеження, у другому - потрібна більш висока якість моделі. Однак незалежно від типу ідентифікації на вхідні сигнали накладається інформаційне обмеження. Математична модель може являти собою систему диференціальних рівнянь високого порядку, які іноді важко вивести і необхідно розв'язувати в реальному масштабі часу при керуванні або контролі стану об'єкта. Крім того, майже всі технічні процеси мають істотно нелінійну поведінку, і для них характерно виникнення непередбачених ситуацій. Існує клас систем, для яких умови, що склалися, - задовільні, прийняття розв'язків є досить простою дією, яка не потребує подальшого аналізу. Такі системи називаються статичними.

Статичний аналіз системи дозволяє здійснити чисельну оцінку можливих розв'язків, при цьому вважається, що вся необхідна

інформація відома, і на її основі, а також виходячи з пропонувананих процедур знаходиться найкращий розв'язок. Для багатьох розв'язків такий підхід дає дуже хороші результати.

Динамічний аналіз ситуацій дозволяє оцінювати динаміку розвитку ситуації. У переважній більшості випадків виробничі об'єкти працюють як динамічні системи і описуються за допомогою динамічних математичних моделей. Необхідно зазначити, що існує безліч динамічних моделей, тому що процеси у виробничих об'єктах розвиваються у часі та просторі.

Розв'язання задач по дослідженню, оптимізації та керуванню різними об'єктами потребує одержання адекватних математичних моделей. Дослідження процесів сучасних інформаційно-вимірювальних систем промислового призначення характеризується підвищеними вимогами до мінімізації тимчасових і вартісних витрат. При дослідженні технічних об'єктів дослідження широко використовуються методи ітераційного планування (ІП), оснований на покроковому збільшенні числа експериментів до моменту побудови адекватної математичної моделі. Зі зростанням складності об'єктів дослідження необхідно застосовувати і розробляти методи автоматизації досліджень фізичних процесів і обробки результатів експериментів.

Для побудови процедури цілеспрямованого пошуку кроків необхідно вибрати алгоритм, який за певними критеріями виділить оптимальні напрями кроків ІП.

Таким чином, при розв'язанні конкретних задач ідентифікації технічних об'єктів необхідно синтезувати алгоритми пошуку точок планування, що дозволяє одержати математичну модель із заданою мірою адекватності.

4.1. Методи ідентифікації статичних і динамічних об'єктів на основі планування експерименту

При розв'язанні задач оптимізації та керування різними об'єктами виникає проблема одержання математичних моделей.

У процесі функціонування об'єкта вважаємо, що на нього крім k факторів X_i , що контролюються, впливає ще m змінних Z_j , які не контролюються, вимірювання яких приводить до дрейфу оптимальних

режимів роботи об'єкта. Тому доцільно періодично провести коректування одержаних на першій стадії математичних моделей і за ними визначати оптимальні режими. Для того, щоб забезпечити синтез і коректування моделей, необхідно розробити методи ідентифікації, які мають:

- а) формалізовану стратегію для послідовного експериментування;
- б) можливості її реалізації у виробничих умовах;
- в) мінімальні тимчасові та вартісні витрати для одержання адекватних математичних моделей.

У даному розділі розглянуто деякі методи, що дозволяють виконувати експериментальні дослідження та ідентифікацію об'єктів.

4.1.1. Метод ітераційного планування (ІП) експерименту

Існуюча традиційна схема планування експерименту (ДФЕ - ПФЕ - ОЦКП) [13,14,15] в багатьох випадках має надмірність дослідів, необхідних для побудови адекватної математичної моделі. Тому необхідно розробити формалізовану стратегію для послідовного експериментування і створити алгоритми і програми, що реалізують її на ЕОМ.

При цьому передбачають, що об'єкт допускає таке дослідження, виконуються передумови методу регресійного аналізу і шукана функція $F(\bar{x}, \beta)$ в області ξ факторного простору Ω може бути досить добре апроксимована скінченним рядом за деякою системою наперед заданих функцій.

Розглянемо метод ітераційного планування експерименту для формалізації процесу синтезу такої математичної моделі:

$$Y = F(\bar{x}, \bar{\beta}), \quad (4.1)$$

де Y - вихідний параметр (критерій якості) об'єкта;

\bar{x} - вектор змінних, що контролюються, $\bar{x}^* = \|\ x_1, x_2, \dots, x_k \|\|$;

β - вектор невідомих параметрів, $\beta^* = \|\ \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m \|\|$.

Суть такого планування полягає в такому. На першому кроці

ітерації ($\eta=1, \lambda=1$) висувають гіпотезу H про те, що зв'язок F між критеріями якості Y і домінуючими факторами X_i з достатньою мірою адекватності описують математичною моделлю $F_{\eta\lambda}$. При цьому зі всієї множини планів $X_\eta \subset X$ експерименту для побудови моделі $F_{\eta\lambda}$ вибирають такий $X_\eta \subset X$, для якого

$$\begin{aligned} n_{\eta\lambda} &= \inf N_\eta; \\ N_\eta &= (n_{\eta 1}, n_{\eta 2}, \dots, n_{\eta\lambda}), \end{aligned} \quad (4.2)$$

де X - множина існуючих планів;
 n - кількість дослідів у плані X ;
 λ - число елементів множини X_η , причому на множині N відношення $<$ задає строгий порядок:

$$n_{\eta 1} < n_{\eta 2} < \dots < n_{\eta\lambda}. \quad (4.3)$$

У процесі реалізації спланованого експерименту на об'єкті

$$G: A \rightarrow Y, \quad (4.4)$$

де A - множина всіляких станів факторів;
 Y - множина вихідних станів об'єкта (регулятор установлює всі фактори на необхідні рівні, що задаються множиною $X_{\eta\lambda}$).

У цьому випадку відображення регулятора можна подати у вигляді

$$P_{\eta\lambda}: A_{\eta\lambda} \times X_{\eta\lambda} \rightarrow U_{\eta\lambda}; A_{\eta\lambda} \subset A, \quad (4.5)$$

де $A_{\eta\lambda}$ - множина станів факторів на даному кроці ітерації;
 $X_{\eta\lambda}$ - множина необхідних станів факторів на даному кроці ітерації (план експерименту);
 $U_{\eta\lambda}$ - множина станів керуючих впливів на даному кроці ітерації.

Даний процес включає етапи, що виконуються за допомогою

ЕОМ, а також роботи, що виконуються вручну або за допомогою найпростіших засобів автоматизації. При цьому можливі два підходи до розв'язання проблеми автоматизації цих досліджень.

Перший з них полягає в тому, що за планом експерименту X , який видала на друк ЕОМ внаслідок обробки апріорної інформації про промисловий об'єкт, експериментатор проводить дослідження.

Одержаний набір експериментальних даних

$$Y_{\eta\lambda} = (Y_{\eta\lambda 1}, Y_{\eta\lambda 2}, \dots, Y_{\eta\lambda z}, \dots, Y_{\eta\lambda n_{\eta\lambda}}), \quad (4.6)$$

$$Y_{\eta\lambda} \subset Y, Y_{\eta\lambda z} = (y_{\eta\lambda z_1}, y_{\eta\lambda z_2}, \dots, y_{\eta\lambda z_Q}),$$

де Q - кількість паралельних дослідів, вводиться пристроєм введення в ЕОМ, яка, використовуючи алгоритм обробки інформації [16], будує математичні моделі вигляду

$$\begin{aligned} F_{\eta\lambda} : Y_{\eta\lambda} &\rightarrow X_{\eta\lambda}; \\ \Phi_{\eta\lambda} : Y_{\eta\lambda} &\rightarrow A_{\eta\lambda} \end{aligned} \quad (4.7)$$

і у випадку їх відповідності до необхідної міри адекватності реальної ситуації

$$Q \subseteq Y_{\eta\lambda} \times Y_{1\eta\lambda}, \quad (4.8)$$

де Y_1 - множина вихідних станів об'єкта, обчислених за допомогою моделі, видає на друк інформацію про формальні моделі (4.7).

Другий підхід полягає в можливості реалізації експерименту за планом $X_{\eta\lambda}$ на об'єкті дослідження з використанням керуючого обчислювального комплексу на базі ЕОМ типу IBM, що безпосередньо бере участь в керуванні об'єктами, працює в системах збирання і переробки інформації. У цьому випадку відповідний фактор на необхідний рівень встановлюють виконавчими органами за керуючими алгоритмами математичного забезпечення керуючим обчислювальним

комплексом (КОК). Збирання експериментальних даних Y та їх переробка за відповідними алгоритмами також виконується КОК. Оскільки у виробничих умовах необхідно періодично коректувати одержані раніше моделі об'єктів, переважає другий підхід при реалізації методу ітераційного планування експерименту. При цьому КОК і об'єкт дослідження являють собою керовану систему

$$S: U \times X \rightarrow A, \quad (4.9)$$

де U - множина станів керуючих впливів.

Коли одержані на першому кроці ітерацій моделі $F_{\eta\lambda}$ і $\Phi_{\eta\lambda}$ неадекватно описують реальний стан об'єкта, то розв'язуються задачі або про уточнення параметрів моделі, одержаної на першому кроці, або про висунення нової гіпотези. У цьому випадку зі всієї множини планів X вибирають план $X_{\eta\lambda}$, одержаний шляхом доповнення вибраного раніше плану мінімальною кількістю дослідів, і повторюється аналогічна процедура. При цьому в множині X аналізують тільки такі плани, для яких $n_{\eta\lambda} > n_{\eta\lambda-1}$. Якщо вибраний план відноситься до множини X_1 , то буде реалізовано крок по уточненню моделі ($\lambda = \lambda + 1$). У випадку, якщо він є елементом множини X_2 , то здійснюється крок ітерації по висуненню нової гіпотези про вигляд формальної моделі $F_{\eta\lambda}$ ($\eta = \eta + 1$). При реалізації подальших кроків знов розглядають плани множини X з кількістю дослідів

$$n_{\eta\lambda} > \sum_{i=1}^n \Delta N_i, \quad (4.10)$$

де i - кількість кроків ітерації; N_i - кількість дослідів, що реалізуються на i -му кроці ітерації, і серед них вибирають такий план, для якого

$$\Delta N_i = \inf Z_{\eta\lambda}, \quad (4.11)$$

де $Z_{\eta\lambda}$ - множина, елементи якої дорівнюють кількості дослідів, необхідних для доповнення проведених раніше дослідів до планів

експерименту, що задовольняють умові (4.10). При цьому на множині $Z_{\eta\lambda}$ відношення $<$ задає строгий порядок. Процес ітераційного планування експерименту триває до одержання адекватної математичної моделі об'єкта, що ідентифікується.

Ефективність запропонованого методу порівняно з традиційною схемою планування (ДФЕ – ПФЕ – ОЦКП) доведено для випадків, коли кількість факторів $k = 2..7$, а адекватність моделі досягається принаймні при реалізації плану B_x або ОЦКП.

Виграш у кількості дослідів при використанні методу ІП порівняно з традиційною схемою планування одержують в результаті того, що до побудови адекватної моделі наближаються більш повільно, тобто на кожному кроці ітерації додається мала частина дослідів з метою доповнення реалізованого плану експерименту до найближчого більш складного плану. У випадку побудови адекватної моделі при реалізації проміжного кроку одержується виграш у кількості дослідів порівняно зі схемою ДФЕ - ПФЕ - ОЦКП. Характерно, що ефективність методу ітераційного планування експерименту збільшується при вивченні об'єктів з великою кількістю значущих факторів [17].

Для дослідження статичних об'єктів, спрямованого на синтез і коректування їх математичних моделей, запропоновано конкретну реалізацію розглянутого методу [18], покладеного в основу створеного пакета прикладних програм з автоматизації планування експерименту [19].

4.1.2. Ідентифікація динамічних об'єктів на основі ітераційного планування експерименту

Конкретна реалізація методу ітераційного планування експерименту, розглянута в п. 4.1.1, допускає випадок синтезу статичної моделі об'єкта. Але дуже часто промислові об'єкти являють собою складні динамічні системи, стан яких описується динамічними моделями. І в зв'язку з тим, що їх ідентифікація з використанням спеціально запланованого впливу більш ефективна, ніж ідентифікація, що виконується в режимі нормального функціонування об'єкта [20], доцільно поширити запропонований метод на динамічні об'єкти.

Для розв'язання цієї задачі пропонується застосувати в розробленому методі модифікацію [20] алгоритму планування експерименту для опису поведінки систем у часі [21]. При цьому можливе дублювання числа запусків об'єкта з метою одержання більш достовірної математичної моделі, оцінки її адекватності, вибору інтервалу дискретизації.

У процесі вивчення об'єкта керування експериментом здійснюється шляхом варіювання початкових умов процесу за планом X (вибраним на певному кроці ітерації) без обмеження на число запусків планування, що задається матрицею

$$X_{\eta\lambda} = \begin{bmatrix} X_1^1 X_2^1 \dots X_i^1 \dots X_k^1 \\ X_1^2 X_2^2 \dots X_i^2 \dots X_k^2 \\ \dots\dots\dots \\ X_1^j X_2^j \dots X_i^j \dots X_k^j \\ \dots\dots\dots \\ X_1^N X_2^N \dots X_i^N \dots X_k^N \end{bmatrix}, \quad (4.12)$$

де X_i^j — значення i -го фактора, що досліджується в j -му експерименті;
 k - кількість факторів об'єкта, включених у дослідження;
 N - кількість дослідів у матриці планування експерименту.

Розміщення вимірювань на тимчасовому інтервалі T_1 , який дорівнює тривалості роботи об'єкта, визначається спектром, що призначає оптимальну схему вимірів вихідного параметра:

$$\varepsilon = \left\{ \begin{matrix} t_1, t_2, \dots, t_l, \dots, t_n \\ r_1, r_2, \dots, r_l, \dots, r_n \end{matrix} \right\}; t_n = T_1, \quad (4.13)$$

де t_l - фіксований момент часу, в який необхідно вимірювати сигнал ;

(4.13) для кожного моменту часу t_i знаходимо оцінки коефіцієнтів регресії, які можна записати у вигляді

$$B = \begin{bmatrix} b_0^1 & b_0^2 & \dots & b_0^l & \dots & b_0^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_i^1 & b_i^2 & \dots & b_i^l & \dots & b_i^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_k^1 & b_k^2 & \dots & b_k^l & \dots & b_k^n \\ b_{12}^1 & b_{12}^2 & \dots & b_{12}^l & \dots & b_{12}^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{im}^1 & b_{im}^2 & \dots & b_{im}^l & \dots & b_{im}^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{11}^1 & b_{11}^2 & \dots & b_{11}^l & \dots & b_{11}^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{kk}^1 & b_{kk}^2 & \dots & b_{kk}^l & \dots & b_{kk}^n \end{bmatrix}, \quad (4.16)$$

де b_{0l} , b_{il} , b_{iml} , b_{iil} - значення коефіцієнтів моделі для моменту часу t_i . Потім, апроксимуючи одержані оцінки коефіцієнтів на всьому інтервалі T_i деякими функціями часу $b_0(t)$, $b_i(t)$, $b_{im}(t)$ і $b_{ii}(t)$, визначаємо динамічну регресійну модель процесу:

$$y = b_0(t) + \sum_{i=1}^k b_i(t)X_i + \sum_{\substack{i,m=1 \\ i < m}}^k b_{im}(t)X_iX_m + \sum_{i=1}^k b_{ii}(t)X_i^2 \quad (4.17)$$

Таким чином, можна виділити такі етапи методу активної ідентифікації динамічних об'єктів:

1. Вибір плану здійснюваного експерименту X , а також визначення спектра плану (4.13).

2. Проведення експерименту. При здійсненні експерименту на об'єкті встановлюються необхідні значення факторів, що задаються черговим рядком матриці планування (4.12), і вихідний параметр Y протягом усього виробничого періоду реєструється у фіксовані моменти часу t , що визначаються виразом (4.13). При заданих умовах здійснюються також повторні запуски процесу, кількість яких визначається числом r . Аналогічна процедура виконується і для подальших рядків матриці планування експерименту (4.12).

3. Обробка результатів експерименту. Для кожного моменту часу t за експериментальними даними, що задаються матрицею (4.15), розраховуються коефіцієнти моделі з використанням звичайних формул для одержання статичних моделей [14]. Оцінки коефіцієнтів апроксимуються тимчасовими функціями на всьому інтервалі T .

4. Перевірка адекватності моделі. Встановлюється міра відповідності експериментальних даних, одержаних на об'єкті, розрахунковим, які визначаються для даного моменту t за допомогою динамічної моделі. Якщо одержана модель адекватна для будь-якого з моментів дослідженого інтервалу часу T , то вона адекватно описує перебіг процесу загалом.

4.1.3. Розробка алгоритму цілеспрямованого пошуку плану дробового факторного експерименту для побудови працездатної математичної моделі об'єкта

Використання моделі зі змішаними оцінками [23] спричиняє великі похибки при визначенні оптимальних режимів роботи об'єкта. Тому залишається актуальною задача вибору зі всієї множини X планів ДФЕ заданої розмірності плану X , що забезпечує одержання роздільних оцінок для всіх коефіцієнтів шуканої моделі F . Розв'язання її вельми трудомістке, оскільки воно зводиться до багаторазового перебору варіантів змішування, а зі збільшенням числа факторів k значно зростає кількість дробових реплік $N_{др}$, що визначається за формулою

$$N_{ДР} = p! \left(1 + \sum_{i=1}^p c_p^i \right) c_q^p, \quad (4.18)$$

$$\text{де } q = \sum_{j=2}^{k-p} c_{k-p}^j.$$

Таким чином, необхідно створити алгоритми і програми, що забезпечують вибір на ЕОМ плану ДФЕ, не вдаючись до повного перебору [24].

У праці [25] наведено програму, яка відповідно до генеруючого співвідношення, заданого користувачем, буде і видає на друк систему змішування оцінок коефіцієнтів. Цей алгоритм не забезпечує автоматичного розв'язання поставленої задачі і призначений для роботи з кваліфікованими фахівцями, що мають навички аналізу одержаних систем змішування. Тому вказану розробку не можна використати при реалізації методу ітераційного планування експерименту.

Задача визначення умов, за яких план 2_{k-p} забезпечує одержання незмішаних оцінок для коефіцієнтів, розглянута тільки для окремого випадку [26], оскільки розв'язується при таких обмеженнях:

$$\begin{aligned} b_{i1n} &= 0; i \neq l \neq n; \\ b_{i1nm} &= 0; i \neq l \neq n \neq m \end{aligned} \quad (4.19)$$

і т.д.

Необхідна умова розв'язання задачі побудови насичених або майже насичених планів [27] дозволяє в деяких випадках тільки позбутися марного пошуку відповідної системи змішування, але не пропонує конкретного шляху її вибору.

У праці [28] пропонується алгоритм, що дозволяє розв'язати поставлену задачу вибору. При його складанні розроблені та враховувалися такі теоретичні положення:

Твердження 4.1. Якщо визначальний контраст $J = X_1 \cdot X_2 \dots X_r \cdot X_k$ містить в собі всі індекси якоїсь суттєвої взаємодії $X_i \cdot X_j \dots X_l$ і ще один будь-який індекс k , то при виборі плану ДФЕ X_d зі всієї множини X план

з таким генеруючим співвідношенням опускається.

Приклад 4.1.

Досліджується вплив чотирьох факторів X_1, X_2, X_3, X_4 на вихідний параметр об'єкта Y . Для здійснення експерименту вибрано план ДФЕ 2^{4-1} з генеруючим співвідношенням $X_4 = X_2 \cdot X_3$, при цьому заздалегідь відомо, що взаємодія $X_3 \cdot X_4$ суттєва. Отже, експериментатор допустив помилку, оскільки в цьому випадку є така система змішування [23]:

$$\begin{aligned} b_1 &= \beta_1 + \beta_{1234}; b_2 = \beta_2 + \beta_{34}; \\ b_3 &= \beta_3 + \beta_{24}; b_4 = \beta_4 + \beta_{23}, \end{aligned} \quad (4.20)$$

і оцінка коефіцієнта b_2 буде визначена разом з оцінкою коефіцієнта при суттєвій взаємодії $X_3 \cdot X_4$. Цей план ДФЕ брати не можна, оскільки визначальний контраст $J = X_2 \cdot X_3 \cdot X_4$ містить всі індекси суттєвої взаємодії $X_3 \cdot X_4$ і ще один індекс $k=2$.

Твердження 4.2. Процес пошуку плану необхідно починати з генеруючого співвідношення, одержаного прирівнюванням k -го фактора X_k до несуттєвої взаємодії $X_i \cdot X_j \dots X_l$ з максимальним числом індексів, і для цього перевірити виконання умови твердження 4.1.

Це зумовлено тим, що для більшості об'єктів взаємодії високого порядку, як правило, є несуттєвими, а при такому прирівнюванні в систему змішування будуть входити оцінки коефіцієнтів при взаємодіях високого порядку.

Твердження 4.3. Якщо добутки всіх визначальних контрастів

$$J_m = \prod_{z=1}^m J_z = X_i X_j \dots X_l X_k$$

включають всі індекси якоїсь суттєвої взаємодії $X_i \cdot X_j \dots X_l$ і ще один будь-який індекс k , то вибір нової репліки шляхом перестановок у генеруючих співвідношеннях неможливий.

Приклад 4.2.

Дробова репліка 2^{6-3} задана генеруючими співвідношеннями

$X_4 = X_2 \cdot X_3$, $X_5 = X_1 \cdot X_3$, $X_6 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$, а взаємодія $X_3 \cdot X_4 \cdot X_5$ є суттєвою.

При цьому генерація всіх визначальних контрастів

$$J_m = \prod_{z=1}^m J_z = X_3 X_4 X_5 X_6,$$

а тому й вибір нової репліки шляхом перестановок у генеруючих співвідношеннях неможливий. Дійсно, якщо здійснити, наприклад, такі перестановки: $X_4 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$, $X_5 = X_2 \cdot X_3$, $X_6 = X_1 \cdot X_3$, то знов одержимо $J_m = X_3 \cdot X_4 \cdot X_5 \cdot X_6$.

Таким чином, твердження 2 задає початкові умови процесу пошуку необхідної репліки 2^{k-p} , а твердження 1 і 3 - умови, що дозволяють в створеному алгоритмі замінити повний перебір перебором із зрізанням.

Розроблений з урахуванням перелічених вище теоретичних положень алгоритм реалізує процес автоматичного вибору необхідних генеруючих співвідношень на основі даних про суттєві та несуттєві фактори і їх взаємодії. При цьому передбачаємо, що завжди є інформація про суттєві та несуттєві фактори і їх взаємодії, що міститься у відповідних вхідних масивах, причому взаємодії факторів зберігаються в них у вигляді числових даних, наприклад, для першого і другого масивів – у вигляді "12". У випадку відсутності такої інформації реалізуються експерименти, спрямовані на виділення суттєвих факторів і взаємодій [29].

Суть роботи алгоритму полягає в такому: визначається дробовість репліки, тобто величина P , з урахуванням того, що насичені плани ДФЕ будувати не має сенсу, оскільки при використанні їх у методі ітераційного планування відсутні додаткові виміри для розрахунку статичних параметрів і адекватності моделі. Процес пошуку здійснюється з урахуванням твердження 2 шляхом: а) послідовного прирівняння несуттєвих взаємодій до кожного з P факторів; б) перевірки виконання твердження 1.

При цьому якщо твердження 1 справедливе, то береться наступна несуттєва взаємодія, якщо ні - відбувається формування масиву визначальних контрастів. Після підбору всіх генеруючих співвідношень визначаються узагальнювальні контрасти і для них перевіряється

виконання твердження 1. Якщо воно не підтверджується, то формуються вихідні масиви, в іншому випадку здійснюється перевірка виконання твердження 3, при позитивному виході знову повторюється описана вище процедура з використанням спеціальної системи пошуку, а при негативному - реалізуються за певною системою перестановки в генеруючих співвідношеннях і потім виконується процедура, починаючи з етапу 2. Відмінність полягає в тому, що при виконанні твердження 1 на етапі 2 пошуку шляхом перестановок відбувається перехід до їх здійснення.

Вихідна інформація про необхідні генеруючі співвідношення призначена для роботи алгоритму, що реалізує процес автоматичної генерації плану ДФЕ. Цей алгоритм являє собою послідовність таких кроків:

- 1) генерація плану повного факторного експерименту і одержання масиву, в якому зберігається матриця взаємодій факторів [30];
- 2) вибір з матриці взаємодій стовпців, необхідних для заміни стовпців факторів у плані ПФЕ;
- 3) формування вихідних масивів, що несуть інформацію про синтезований план ДФЕ.

Розроблені алгоритми реалізовані за допомогою програм на мові PASCAL [19] і випробовуються на серії модельних і реальних задач за допомогою ЕОМ IBM PC/IT.

4.2. Оцінка ефективності вимірювань

Розглянемо інформаційну модель об'єкта і вимірника:
(рис. 4.1):

$$Z(t) = A1[B', X], \quad (4.21)$$

де B' - вектор істинних параметрів;

$Z(t)$ - вектор стану системи;

X - вектор вхідних сигналів.

При цьому передбачатимемо, що B і X - елементи множин BSY і BSX відповідно, які є підмножинами банахова простору BS .

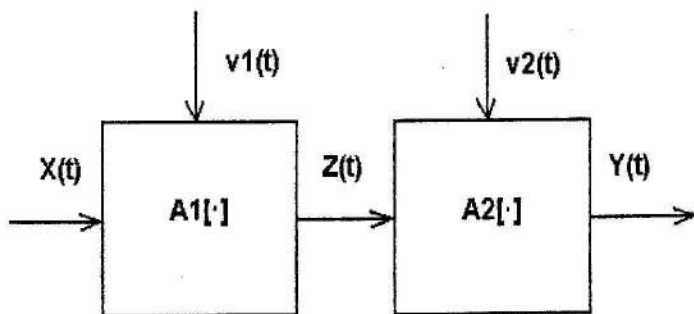


Рис. 4.1. Інформаційна модель об'єкта і вимірника

Врахуємо накладення векторів шуму системи та вимірювання $V(t)$ і визначимо пристрій вимірювання деяким лінійним оператором $A2[·]$. Тоді, враховуючи, що $V(t)$ - випадкова величина, вектор відклику Y - також випадкова величина:

$$E(Y/X) = A[X, B], \quad X \in BSX, \quad Y \in BSY, \quad BSY \subset BS. \quad (4.22)$$

В області X_0 за значеннями поверхні відклику визначаються параметри B .

Необхідно побудувати план проведення експерименту, який забезпечить здатність оцінок:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} P[(B_k - B') \cdot \cap \cdot (B_k - B') \geq c] = 0, \quad (4.23)$$

де k - номер ітерації;

c - будь-яке додатне наперед задане число;

$P[·]$ - імовірність події.

При цьому накладено обмеження на кількість дослідів N :

$$\min F1(N, \dots). \quad (4.24)$$

Наприклад, для D -оптимального плану

$$\min_N |D(E, N)|. \quad (4.25)$$

Цілком природно, що при виборі плану E експерименту слід прогнозувати не тільки точнісні характеристики. Важливо також знати, при яких витратах T можуть бути одержані ці оцінки. Поняття витрат включає час, затрачений на експеримент, необхідні матеріальні або фінансові кошти, а також ряд інших факторів, які можуть вплинути на вартість експерименту.

Тому більш узагальненим критерієм вибору плану E може бути деяка функція $R(E)$, що залежить від витрат і величин, що характеризують точність експерименту [13]:

$$R(E) = T + k \cdot L^m |D(E)|, \quad (4.26)$$

де k - сталий нормуючий множник;

L^m - деякий функціонал, в основу якого покладено один із способів порівняння (що відповідає конкретній умові експерименту):

- $|D(E)|$ - у разі побудови D -оптимального плану;

- $\max_X D(E, X)$ - для мінімаксних планів;

- $\max Db(X)$ - для мінімаксних планів у просторі параметрів.

З метою спрощення планування експериментів функцію вартості T передбачаємо пропорційній вартості кожного окремого експерименту:

$$T = N \cdot S_i [T_i \cdot P],$$

де T_i - вартість вимірювання в X_i точці.

Тоді для випадку побудови D -оптимального плану (мінімізуючого D) функція втрат має вигляд

$$R[N, E(N)] = N \cdot S_i [T_i \cdot P]^{m+k} \cdot N \cdot |D(E)|. \quad (4.27)$$

При цьому функція втрат R для будь-якого N є строго зростаючою функцією від $|D(E)|$ - для будь-якого D -оптимального плану або $L^*[D(E)]$ - в більш загальному випадку.

Останній критерій надає умові (4.24) постановки більш конкретне значення.

Отже, задача планування оптимального експерименту зводиться до пошуку плану E , що мінімізує одну з величин $L^*[D(E)]$, і визначення числа вимірювань N , яке йому відповідає.

Наприклад, для D -оптимального плану

$$\min_N |D(E, N)|. \quad (4.28)$$

Тоді природним шляхом побудови нового $E(N+1)$ плану згідно з критерієм (4.26) – (4.27) є побудова плану $E(N)$ на величину AL таким чином, щоб зміна визначника інформаційної матриці M була максимальною. У випадку побудови D -оптимального плану нова точка плану може бути визначена при пошуку максимального значення дисперсії поверхні відклику.

У загальному випадку знаходження максимального значення при використанні чисельних методів є досить складною задачею, що збільшує T для кожного кроку s при пошуку глобального максимуму. У більшості процедур ПС використовується пошук тільки локального максимуму на всіх кроках, крім останнього.

Ця проблема вирішується в розробленому алгоритмі при побудові процедур послідовного планування [31] на основі такого припущення:

$$R(E_s, X_s) < R(E_{s-1}, X_{s-1}), \quad (4.29)$$

$$X_s \in BSX_s; \quad X_{s-1} \in BSX_{s-1},$$

де BSX_s - область знаходження локального максимуму поточного кроку s ;

$$[BSX_1, \dots, BSX_{s-1}, BSX_s, \dots, BSX_{m-1}] \subset BSX.$$

Зазначимо, що безпосереднє одержання статистичних даних шляхом проведення експерименту, особливо при застосуванні послідовних ітераційних методів планування, потребує надмірних витрат. Природно, що витрати не повинні перевищувати виграшу, що одержується внаслідок проведення ідентифікації об'єкта. Крім того, часто буває вигідним розподілити частину витрат на вивчення властивостей системи (з урахуванням діючих випадкових впливів) ще на стадії проектування. У цих випадках необхідно застосовувати методи статистичного моделювання (метод Монте-Карло) [32,33].

В основу методу статистичного моделювання покладено генерування випадкових величин із заданими законами розподілу і використання цих величин для моделювання роботи різних об'єктів, ситуацій і фізичних явищ. Згідно зі складністю задач, що розв'язуються, змінюється і структура рандомізації параметрів об'єкта, що моделюється.

Рівномірно розподілені випадкові числа звичайно генеруються ЕОМ у відрізьку значень $[0,1]$, причому будь-яке значення $V(i)$ рівноймовірне на заданому інтервалі:

$$V(i)=RND(i); V(i) \in [0,1].$$

На базі наведеної функції легко одержати випадкові числа на будь-якому заданому відрізьку $[X_1, X_2]$:

$$V(i+1)=(X_2-X_1)*RND(i)+X_1. \quad (4.30)$$

Використовуючи функцію (4.29), можна також задати рівномірно розподілені випадкові числа із заданим математичним очікуванням M у смузї, що дорівнює S_m :

$$V'(i+1)=M+S_m(RND(i)-)(1/2). \quad (4.31)$$

Випадкові числа із заданими законами розподілу легко дістати з V і V' , використовуючи відповідні формули перетворення.

Особливий інтерес для математичної статистики становить одержання випадкових чисел з нормальним законом розподілу. Для

заданих математичного очікування M і середньоквадратичного відхилення SS такі функції можуть мати вигляд:

$$\begin{aligned} VR'(i+1) &= SS \cdot \text{SQRT}(2 \cdot \text{LN}(1/V(i+1))) \cdot \text{COS}(2 \cdot V(i)) + M; \\ VR''(i+1) &= SS \cdot \text{SQRT}(2 \cdot \text{LN}(1/V(i+1))) \cdot \text{SIN}(2 \cdot V(i)) + M, \end{aligned} \quad (4.32)$$

де VR' і VR'' - зв'язана пара значень.

Нехай в результаті досліджень об'єкта, описаного рівнянням (4.1), одержано одновимірний масив відкликів Y з N деяких цифрових даних $Y(i)$, що характеризуються сукупністю статистичних характеристик.

Початкові моменти k -го порядку дорівнюватимуть

$$M_k(Y) = S (X(i)^k) / N, \quad k=1..4. \quad (4.33)$$

Тоді центральні моменти k -го порядку

$$M_k(Y) = S [Y(i) - M(Y)]^k / N, \quad (4.34)$$

при цьому $M(Y_1) = 0$.

Зв'язок центральних моментів з початковими встановлюється співвідношеннями:

$$\begin{aligned} M_2 &= M_2 - M_1^2; \\ M_3 &= M_3 - 3M_1 M_2 + 2M_1^3; \\ M_4 &= M_4 - 4M_1 M_3 + 6M_1^2 M_2 - 3M_1^4. \end{aligned} \quad (4.35)$$

На основі (4.33 - 4.35) запишемо середнє значення і незміщену дисперсію:

$$\begin{aligned} Y_{\text{сер}} &= M_1; \\ D_0 &= M_2 \cdot N / (N-1). \end{aligned} \quad (4.36)$$

Параметри моделі в даному алгоритмі можуть бути визначені в результаті проведення регресійного аналізу.

Використовуючи метод Монте-Карло, складемо алгоритм, що забезпечує моделювання об'єкта спостереження і обчислення основних статистичних характеристик параметрів об'єкта.

При розподілі випадкової величини принципово неможливо точно визначити за одержаними внаслідок експерименту оцінками, які дають лише можливість вибрати одну з гіпотез розподілу, наприклад, те, чи розподілена величина нормально. Слідом за цим виникає задача визначення відповідності вибраної гіпотези про розподіл випадкової величини одержаним експериментальним даним.

Зазначимо, що задача перевірки гіпотез взаємозв'язана із задачею визначення довірчих областей для щільності та функції розподілу. При перевірці вибраної гіпотези (наприклад, про нормальний розподіл) за вибіркою, що використовується, також оцінюють математичне очікування і дисперсію (або коваріаційну матрицю - у випадку багатовимірного розподілу). Таким чином, гіпотеза виявляється функцією випадкових результатів дослідів.

4.3. Послідовне планування експериментів

Існуючі методи послідовного планування експериментів мають переваги порівняно з іншими традиційними схемами планування і дозволяють уникнути надмірності дослідів при одержанні адекватної моделі, що досягається шляхом послідовних ітерацій [34, 35].

Методи ітераційного планування [36] дають змогу побудувати формальну модель, збільшуючи її складність згідно зі зростанням числа експериментальних даних до одержання моделі відповідно до заданих критеріїв адекватності. При цьому ефективність ітераційних процедур підвищується із зростанням числа факторів.

З метою одержання виграшу в кількості дослідів розглянуті ітераційні процедури порівняно з традиційними методами наближаються до адекватної моделі дрібними серіями дослідів. Для побудови процедури цілеспрямованого пошуку кроків необхідно вибрати алгоритм, який за певними критеріями виділить оптимальні напрями кроків ітераційних процедур.

Розглянемо n -вимірний евклідов простір E_n , в якому визначимо вектори $an = | a_1, a_2, \dots, a_n |$, де a_i - дійсні числа.

Нехай є деяка опукла множина планів E ($E \subset E_n$), точки якої можна подати так:

$$E = (1-AL) \cdot E_o + AL \cdot E_o, \quad (4.37)$$

де $E \in E_n$; $E_o \in E_n$; $0 < AL < 1$.

Поставимо у відповідність кожному елементу плану E значення нормованого плану $P=N/n$, де N - загальна кількість дослідів; n - розмірність плану:

$$E = \left\{ \begin{array}{l} X_1, \dots, X_j \dots \\ P_1, \dots, P_i \dots \end{array} \right\}. \quad (4.38)$$

Нехай функцію $Z(X, B)$ можна подати лінійним оператором вигляду

$$Z(X, B) = B \cdot F[X] \quad (4.39)$$

і вигляд функції $F[X]$ відомий:

$$F^T[X] = | F_0[X], F_1[X], \dots, F_m[X] |,$$

де m - розмірність вектора $F[X]$.

У кожній точці X_i спектра плану E проводяться незалежні вимірювання відкликів Y_i , кожному значенню якого відповідає дисперсія

$$D(Y_i/X_i) = S_i.$$

Якщо область дії X досить широка і припущення про однорідність експериментальних умов нездійсненні, необхідно врахувати функцію

ефективності експерименту $Lb(X)$, що характеризує співвідношення помилок дисперсій вимірювання в різних точках:

$$Lb(X) = S^2 Lb_1(X).$$

Тоді

$$D(Y/X) = S^2 Lb_1^{-1}(X). \quad (4.40)$$

Найкращими лінійними оцінками невідомих параметрів B (згідно з теоремою [15]) є

$$B^* = M^{-1} Y, \quad (4.41)$$

де $M = \sum_{i=1}^n [W_i F(X_i) F^T(X_i)]$ - інформаційна матриця Фішера;

$$W_i = N \cdot Lb(X) / P_i \text{ (тут і далі під знаком } \sum \text{ мається на увазі } \sum_{i=1}^n \text{)}.$$

Наслідок виразів (4.40), (4.41) такий:

$$|D(B^*)| = M^{-1}. \quad (4.42)$$

Крім того, найкращі оцінки мінімізують суму зваженого квадрата відхилень [32]:

$$SS(B) = \sum [W(Y_i - F^T(X_i) \cdot B)^2]. \quad (4.43)$$

Таким чином, найкращі лінійні оцінки збігаються з оцінками, одержаними методом найменших квадратів (МНК).

Зазначимо, що найкращі лінійні оцінки не є достатніми, оскільки функція $Z[X, B]$ в загальному випадку є нелінійною відносно невідомих

параметрів і описується нелінійним оператором $A1$. Отже, вектор відкликів Y також буде нелінійним відносно параметрів B :

$$Y=A(X, B). \quad (4.44)$$

Водночас задача ідентифікації нелінійної системи дозволяє одержати розв'язок переважно для локальної області визначення, коли початкові умови X_0 є сталими. Є також результати, що дають змогу розширити область X_0 для деяких вимірювань всіх локальних точок у відносно локальної підмножини [23].

Якщо функція $Z(X, B)$ гладка по B в області істинних значень параметрів B і розв'язки єдині, то рівняння (4.7) можна записати в такому вигляді:

$$\Gamma \{ \sum [W [Y_i - Z [X_i, B]]] \} = 0, \quad (4.45)$$

де

$$\Gamma^T = \left[\frac{\partial}{\partial B_1}; \frac{\partial}{\partial B_2}; \dots; \frac{\partial}{\partial B_N} \right].$$

Якщо при цьому

$$F(X) = \Gamma \cdot Z[X, B], \quad (4.46)$$

то

$$\begin{aligned} \sum [W [Y_i - Z [X, B]] F(X)] &= \\ &= \sum [W F(X) F(X) (B - B')], \end{aligned} \quad (4.47)$$

$$F(X) = \Gamma \cdot Z[X, B]. \quad (4.48)$$

Тоді

$$\begin{aligned} \sum [w (Y - Z(X, B')) \cdot F(X)] &= \\ &= \sum [w \cdot F(X) \cdot F(X) \cdot (B - B')]. \end{aligned} \quad (4.49)$$

Останнє рівняння можна записати інакше:

$$(B - B') = M^{-1}Y, \quad (4.50)$$

або

$$D(B) \approx M^{-1}.$$

Отже, у випадку нелінійної параметризації оцінки, одержані за МНК, асимптотично задовольняють критерій найкращих лінійних оцінок, але при цьому дисперсійна матриця оцінок залежить від значень B' і формула (4.28) може бути безпосередньо використана при обчисленні дисперсійної матриці тільки у випадку досить гладкої функції $Z[X, B]$.

Незміщені оцінки дисперсії можна одержати на основі (4.49), (4.20):

$$S = (n-m)^{-1} \sum [Lb [Y_i - B^T F(X)]^2]. \quad (4.51)$$

Тоді план (4.27), для якого одержано оцінки, можна охарактеризувати дисперсійною матрицею D , а оптимальність оцінок, наприклад, з точки зору критерію D -оптимальності, характеризується значенням визначника $|D|$.

4.4. Ідентифікація об'єктів з нелінійними параметрами

Оскільки явне розв'язання задач на побудову D -оптимальних планів виявляється можливим лише в найпростіших випадках, а складені каталоги планів [14,15] добре застосовні, тільки коли області X_0 можливих значень змінних, що контролюються, являють собою прості геометричні фігури простору R і функція $Lb(X)$ стала на X_0 , то при ускладненні функціоналів пошук розв'язків можливий тільки з використанням чисельних методів.

При побудові спеціалізованих чисельних методів синтезу D -оптимальних планів необхідно враховувати конкретні властивості досліджуваних функціоналів.

Для побудови узагальнених локально D -оптимальних планів можна скористатися такою ітераційною процедурою [13,31]:

1. Прирівняємо початкову кількість точок плану до кількості шуканих параметрів ($n > m$). Тоді деякий початковий невинорджений план E_0 матиме вигляд

$$E_0 = \left\{ \begin{array}{l} [X_{01}, X_{02}, \dots, X_{0N}] \\ [P_{01}, P_{02}, \dots, P_{0N}] \end{array} \right\}, X_{0i} \in X_0, X_0 \subset BSX, \quad (4.52)$$

де $P_{0i} = 1/n$.

Введемо вигляд шуканої функції $F[X]$:

$$F[X]^T = [1, X, \dots, X^m].$$

2. Розрахуємо інформаційну матрицю плану

$$M(E) = \sum [P_i L_b(X_i) F(X_i) F^T(X_i)], \quad (4.53)$$

а також дисперсійну матрицю $D(E) = M^{-1}(E)$.

3. Проведемо дослідження на екстремум функції:

$$Fd(X, E) = F^T(X) D(E) F(X).$$

При цьому необхідно визначити точку X і значення $Fd(X, E)$, для яких виконується умова

$$\max_x Fd(X, E)(X); X \subset BSX. \quad (4.54)$$

На відміну від традиційних схем процедур послідовного планування, на цьому кроці пропонується провести додаткові дослідження $D(X)$ згідно з (4.54):

$$\begin{aligned} M_1 &= \max FD(X_k, E); X \in BSX_1; \\ M_2 &= \max FD(X_k, E); X \in BSX_2; \\ &\dots \dots \dots \\ M_m &= \max FD(X_k, E); X \in BSX_m, \end{aligned} \quad (4.55)$$

де $BSX_1 \dots BSX_M \subset BSX$.

4. Тепер складемо новий план E_1 , що містить додаткову точку X :

$$E_1 = (1-AL) \cdot E + AL \cdot E(X),$$

де крок AL вибирається згідно з формулою

$$AL = \frac{Fd(X, E)(X) - m}{[Fd(X, E)(X) - 1]^m} \quad (4.56)$$

Як кроки AL можуть бути вибрані послідовності k , що задовольняють одній з умов:

$$\begin{aligned} & - \max_{al} \ln |M[E(k+al)]|; \\ & - \lim_{k \rightarrow \infty} A_k = 0, \quad \sum A_k = \infty, \quad \sum A_k < \infty, \end{aligned} \quad (4.57)$$

якщо $|M[Ek]| > |M[Ek+1]|$ і A_k ділиться на $\varepsilon > 1$.

5. Обчислимо наступні значення $D(E)$ і, якщо визначник дисперсійної матриці оцінок параметрів більше деякої наперед заданої величини, повторимо п. 2 - 5.

Якщо крок AL вибирається з умови максимального збільшення визначника інформаційної матриці, то для поточного плану E

$$\begin{aligned} \max |M[k+1]| &= \left[\frac{1}{m} Fd(X, E) \right]^m, \\ \left[\frac{1}{m-1} (Fd(X, E) - 1) \right]^{-m+1} |M[Ek]| &> |M[E]|, \end{aligned} \quad (4.58)$$

при цьому значення X_k повинно задовольняти умові

$$Fd(X_k, E_k) = \max_k Fd(X_k, E), \quad X \subset BSX. \quad (4.59)$$

В іншому випадку необхідно знайти розв'язок рівняння

$$\frac{d}{dAL} \ln |M[k+1]| = \frac{Fd(X, E) - 1}{1 - AL} - \frac{m - 1}{AL * Fd(X, E)} = 0, \quad (4.60)$$

звідки визначимо значення поточних кроків ітерацій:

$$AL = \frac{Fd(X, E) - m}{(Fd(X, E) - 1) * m}. \quad (4.61)$$

Необхідно зазначити, що статична ітераційна процедура передбачає побудову плану експерименту в цілому. Крім того, в ході побудови плану оцінка параметрів B не уточнюється, що впливає на ефективність планів.

У випадку нелінійної за параметрами поверхні відклику статична ітераційна процедура дає тільки локально D -оптимальний план. Оскільки B' - невідоме априорі, то практичне застосування локально D -оптимальних планів обмежується областю R'' розподілу B' , в якій параметри плану $E(B)$ стали з достатньою ймовірністю. Зазначених недоліків можна уникнути, використовуючи послідовні ітераційні процедури планування [26].

Послідовні методи D -оптимального планування передбачають проведення початкового експерименту за деяким нульовим планом (4.30), що дозволяє визначити початкові оцінки параметрів. Останні можуть уточнюватись в ході планування за результатами одиничних і дрібносерійних дослідів.

На основі вищевикладеної процедури ітераційної побудови D -оптимальних планів (4.30)-(4.35) одержимо процедуру послідовного планування для нелінійної за параметрами поверхні відклику.

За деяким не виродженим планом (4.30), спектр якого складається з N_0 вимірювань, після проведеного експерименту дістанемо однозначні

оцінки \bar{B} , на основі яких можна розрахувати приблизне значення $D(\bar{B}(N_0))$ за формулою (4.28).

Точка для проведення $n+1$ вимірювання може бути визначена з рівняння

$$\begin{aligned} Lb(X_n) * F(X_n) * D(E_n) * F(X_n) = \\ = \max_x \{Lb(X) * F(X) * D(E) * F(X)\}, \end{aligned} \quad (4.62)$$

де $F = \Gamma$; $E[X, B]$.

При цьому глибина пошуку задається згідно з (4.33).

Тоді матриця $D(N+dN, X)$ може бути обчислена відповідно до (4.27) - (4.28), або

$$D(N+dN, X) = [I_m - \frac{Lb(X)D(N)F(X)F(X)}{1 + Fd(X, E)}]D(N). \quad (4.63)$$

Проведення ідентифікації об'єктів за допомогою наведених алгоритмів планування передбачає наявність в структурі ІВС зворотного зв'язку, який передає керування пристроям сканування або комутуючим пристроям для визначення поточних точок вимірювання згідно з одержаним планом експериментів.

Використання статистичних методів дослідження в ІВС дозволяє вивчити різні систематичні фактори, дію яких важко контролювати іншими методами вимірювання.

Приклад 4.3.

Дістати інформаційну матрицю Фішера, якщо вигляд моделі, що одержується за результатами трьох експериментів, такий:

$$Y = b_1 + b_2 \cdot X,$$

де Y - вектор відкликів, похибка якого характеризується функцією ефективності експерименту;

$$w(X) = [1/8; 6/8; 1/8].$$

Згідно з визначенням матриці Фішера (4.41) необхідно записати вектор, що характеризує вигляд функції:

$$F^T(X) = [1, X].$$

Тоді матриця Фішера буде являти собою суму з трьох елементів:

$$\begin{aligned} M &= w_1 * f_1 * f_1^T + w_2 * f_2 * f_2^T + w_3 * f_3 * f_3^T = \\ &= \frac{1}{8} \cdot \begin{vmatrix} 1 \\ -1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & -1 \end{vmatrix} + \frac{6}{8} \cdot \begin{vmatrix} 1 \\ 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 \end{vmatrix} + \\ &+ \frac{1}{8} \cdot \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 1 \end{vmatrix} = \frac{1}{8} \cdot \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{vmatrix} + \\ &+ \frac{6}{8} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} + \frac{1}{8} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0,25 \end{vmatrix}. \end{aligned}$$

5. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ

5.1. Побудова систем вимірювання, основаних на знаннях

Для роботи систем вимірювання, основаних на знаннях, необхідно визначити основні терміни ІВС з точки зору філософії та логічної обробки інформації.

Вимірювання - це приписування символів атрибутам об'єктів або явищам реального світу з метою їх опису, що здійснюється на основі об'єктивного емпіричного процесу.

У термінах розглянутого в попередніх розділах поняття "інформація вимірювання" - це символізація, що реалізує відображення M емпіричної реляційної системи S в символну систему ZS , яка є гомоморфізмом, а означає емпіричне і об'єктивне. Як правило, передбачається, що ZS являє собою дійсну пряму Re . Вимірювання, таким чином, розглядається з більш загальних позицій як інформаційний процес [37].

Машина - це пристрій, що перетворює фізичний вхід у фізичний вихід відповідно до заданої мети. Інформаційні машини - це машини або системи машин, функції яких полягають в одержанні, обробці, видачі інформації та здійсненні впливу на зовнішній об'єкт на їх основі. Машини функціонують, перетворюючи вхідні символи у вихідні, виходячи з певних законів. Символи є атрибутами фізичних змінних, що називаються сигналами.

Інформаційні машини або системи машин являють собою комп'ютерні системи, що включають цифровий канал зв'язку і засоби вимірювань. Останні визначаються тут як інформаційні машини або системи машин, функції яких полягають в одержанні й обробці інформації з фізичного реального світу і видачі цифрових дій на її основі.

Знання - ключове філософське поняття, предмет розділу філософії, що іменується епістемологією. За своєю суттю це набір висловлювань, які істинні, уявляються істинними для суб'єкта і які суб'єкт має вагомі причини вважати істинними.

При машинній обробці знань та інформації знання має спеціалізоване значення. Воно складається із символних формул на

деякій алгоритмічній мові програмування, яка може використовуватися для опису зовнішніх систем і зв'язків між ними. Вивчення подібних мов і відношень систем, що їм відповідають, - предмет теорії моделей.

Синтаксис мови програмування можна визначити як мову, що складається з набору символів і правил комбінування. Таким чином, використовуючи позначення, аналогічні введеному раніше, можна визначити мову L опису об'єктів реального фізичного світу і відношень між ними як трійку:

$$L = \{Z, Rz, Fz\}, \quad (5.1)$$

де Z - множина індивідуальних символів;
 Rz - множина реляційних символів;
 Fz - множина функціональних символів.

Типова пропозиція (або формула) на такій мові має вигляд $P(Z_1, Z_2, \dots, Z_n)$, де певний в розділі код подання описує його відповідність реальному світу; дане висловлення істинне, якщо відповідне відношення має місце в реальному світі.

В ІВС знання поділяються на дискриптивні, декларативні та процедурні, тому термін "засоби вимірювань, основані на знаннях" застосовують для опису підсистем, в яких перелічені типи знання використовуються для одержання, обробки, введення та реалізації інформації та знань.

Декларативні знання складаються з істинних висловлювань про реальний світ, однак вони можуть також включати висловлювання, що виражають переконання і прийняту умовність. Процедурні знання або твердження описують методи виконання задач. При цьому потрібно відрізнити емпіричні знання від теоретичних, одержаних на основі застосування теорії з конкретної галузі.

Міркування являє собою застосування щодо пропозиції мови правил з метою перетворення: якщо початкове речення відповідає істинному відношенню в світі, що описується, то йому відповідає і перетворена пропозиція. Дані визначення можна узагальнити за допомогою нечітких множин і відношень, що дозволить відобразити

невизначеність і неоднозначність в символічному поданні. Таке трактування охоплює і приписування символів природної мови.

Інтелектуальні інформаційно-вимірвальні системи умовно поділяють: на людино-машинні й автономні; підвищеного рівня складності; не орієнтовані на складні рішення або логічний висновок. Забезпечуючи максимальну зручність для користувачів, розглянуті системи дозволяють розв'язувати як задачі оперативного керування, так і вимірвальні задачі шляхом підключення до них спеціальних алгоритмів. Але потенційні можливості інтелектуальних ІВС не можуть розкритися повною мірою без використання методів і результатів теорії штучного інтелекту. Тому системи вимірювання, основані на знаннях, обов'язково мають у своєму складі базу знань (БЗ), базу даних (БД) або інші компоненти інженерії знань [38].

Термін "штучний інтелект" (ШІ) має явний обіг в інформаційній техніці. У широкому значенні він являє собою науку і техніку побудови машин для вирішення задач, які звичайно вирішуються розумом людини. Це визначення охоплює, однак, і деякі прості прилади, тоді як використання ШІ має на увазі насамперед більш складні задачі. Класичний тест за Тьюрінгом визначає машину як інтелектуальну, якщо людина, що з нею взаємодіє, не може розрізнити, взаємодіє вона з іншою людиною чи ні. Цей тест, однак, не можна застосувати, коли ми маємо справу з машинами, що мають високі, але обмежені здібності. Трохи точніше можна сказати, що машини виявляють ознаки штучного інтелекту, коли виконують такі складні задачі, як розуміння природної мови, машинне бачення, вирішення проблем і т.п., здебільшого імітуючи шляхи виконання цих задач людиною.

Одержати уявлення про прийняте зараз використання терміна "штучний інтелект" можна, перерахувавши всі сфери діяльності, які характеризують цим терміном вчені та практики. Основними сферами застосування ШІ є логічне програмування, навчання машини і одержання знань, подання знань, витягання знань, висновки на основі обчислень, розуміння природних мов, планування і розв'язання задач, машинний зір і розпізнавання образів.

Для використання ШІ в сфері приладобудування необхідно модифікувати вищезгадані сфери застосування згідно з потребами вимірвальної техніки.

5.2. Синтез алгоритмів роботи інтелектуальних систем

Як уже зазначалося раніше, термін "інтелектуальні засоби вимірювання" має загальноприйняте, але не цілком чітке вживання. Він використовується в більш широкому значенні, ніж термін "штучний інтелект". У той час як на верхньому рівні інтелектуальних дій є засоби вимірювань з високою мірою інтелекту, на нижньому рівні прилади вже називають інтелектуальними, або розумними, коли вони виконують лише досить примітивну обробку сигналів.

Тому необхідно відрізнити інтелектуальні засоби вимірювань, що реалізують розвинену обробку інформації та знань, від простих засобів вимірювань.

У зв'язку з відміченою тенденцією виникла чітка і певна концепція інтелектуальної системи вимірювань, що відображає нові явища у вимірювальній техніці [39]. Уявляється доцільним визначити поняття інтелектуальної системи вимірювань шляхом переліку вимог, що ставляться до неї:

- 1) облік використаної апріорної інформації про вимірюваний об'єкт, процес або величину;
- 2) уточнення моделі досліджуваного об'єкта для подальшого вибору алгоритмів вимірювань і апаратної периферії;
- 3) планування вимірювального експерименту;
- 4) можливість здійснення автоматичної самоперевірки;
- 5) наявність інтелектуального інтерактивного інтерфейсу, що дозволяє контролювати вимірювальний процес;
- 6) здатність до самонавчання, можливість сприйняття нових знань і поповнення БЗ;
- 7) візуалізація інформації, що міститься у результатах вимірювань, та її видача в зручній для сприйняття користувача формі.

До розгляду таких вимог, як обробка інформації в реальному масштабі часу, а також до структури апаратних засобів повертатися не будемо. Це докладно розглянуто у попередніх розділах посібника. Сучасним інтелектуальним ІВС притаманна властивість модульного принципу побудови на базі уніфікованих модулів з розподілом функцій щодо обробки інформації, при якому всі спеціальні функції виконуються

згідно з рівнем "інтелектуальності" будь-якого модуля або пристрою системи, що і дозволяє розв'язувати широке коло задач.

Таким чином, більш стисло інтелектуальну ІВС можна охарактеризувати як засіб вимірювальної техніки, що складається з сучасного комп'ютера і розвиненої апаратної периферії, яка сприймає апіорну і поточну інформацію, приймає рішення і контролює свою працездатність.

Дане визначення не претендує на повноту і загальність, його можна розглядати як початкове робоче визначення. Однак воно цілком відповідає вимогам, коли вимірювальна система використовує методи ШІ, зокрема методи інженерії знань.

Розглянемо алгоритми обробки інформації та знань інтелектуальної вимірювальної системи в термінах її архітектури. Функціональну схему зображено на рис. 5.1.

Об'єкт, що спостерігається, взаємодіє з підсистемою сприйняття інформації. Об'єкт впливає на чутливий елемент (ЧЕ), який перетворює вплив у символ, що несе інформацію, який обробляється далі системою. Інформація від ЧЕ поступає на вхід підсистеми обробки інформації та знань. Вихід цієї підсистеми зв'язаний або з людино-машинним інтерфейсом, або зі входом комп'ютерних систем обробки інформації та знань більш високого рівня. Можна сказати, що підсистема обробки інформації та знань виконує функції пізнання, що визначаються тут як використання знань і керування ними.

Вимірювальна система має людино-машинний інтерфейс, за допомогою якого інформація та знання з ІВС поступають до оператора, який керує процесами вимірювання у системі. Людино-машинний інтерфейс, що має значні можливості для обробки інформації, вносить істотний вклад в роботу інтелектуальних засобів вимірювання.

По-перше, він дозволяє відображати інформацію в зручному для оператора вигляді, скажімо, у формі тексту, графіків, діаграм, мнемосхем і т.д.

По-друге, розвинена обробка інформації забезпечує велику гнучкість в характері інформації, що видається: від статистичної обробки до логічного висновку.

По-третє, за його допомогою можна втручатися у конфігурацію системи. Вона може бути в певних межах змінена оператором, скажімо,



Рис. 5.1. Структурна схема обробки інформації та знань комп'ютерної ІВС

шляхом перемикання діапазонів, зміни коефіцієнтів посилення, вибору різних фільтрів і т.д.

Інтелектуальні засоби вимірювання надають набагато більш широкий набір гнучких можливостей, дозволяють істотно переконфігурувати систему шляхом простих операцій, що здійснюються за допомогою людино-машинного інтерфейсу.

Зміна конфігурації може виконуватися автоматично, якщо прилад має здатність пристосовуватися, тобто змінювати властивості та параметри для поліпшення оптимізації вимірювань. Так, після одержання сигналу його характеристики вивчаються і використовуються для визначення вигляду його подальшої обробки і введення. Для адаптації може використовуватися база знань, що розширюється.

Функції інтелектуальних засобів вимірювання з обробки інформації дозволяють таким системам коректувати або компенсувати невідповідності та похибки ЧЕ. Типовими функціями корекції та компенсації роботи ЧЕ є лінеаризація, знаходження зворотного перетворення згортки, упереджувальна компенсація і автоматичне градування. Раніше при застосуванні засобів вимірювань, як правило, використовували один ЧЕ в одному каналі. В інтелектуальних системах

звичайно здійснюється об'єднання інформації, що надходить від безлічі ЧЕ.

Інтелектуальні й основані на знаннях засоби вимірювань можуть мати здатності до навчання.

Научуваність - це здатність до одержання і зберігання знань, що приводить до відносно постійної зміни виробничих можливостей внаслідок впливу різних стимулів. Це поняття близько співвідноситься з адаптацією. Засоби вимірювань можуть автоматично або під впливом з боку оператора використовувати знання, що знову одержуються як для поповнення знань, так і для їх зміни. Аналогічно будь-яким із указаних способів можна змінити конфігурацію системи.

Усвідомлення - приписування значення сигналу, що сприймається, шляхом застосування знань - найважливіша здатність інтелектуальних засобів вимірювання. З описаних задач ІВС можна виділити два види усвідомлення: фільтрацію і розпізнавання образів.

Фільтрація, тобто обробка зашумлених сигналів з метою виявлення і виділення компонентів, що містять інформацію, може включати лише дуже просту обробку сигналів. Однак при більш ефективних засобах обробки сигналів цей процес може бути поліпшений. Можуть бути побудовані фільтри, що реалізують більш складні операції. При цьому для побудови фільтрів використовуються цифрові методи, основані на глибоких емпіричних або теоретичних моделях сигналу і шуму (побудова рекурсивних фільтрів, фільтрів Калмана). Фільтри можуть бути адаптивними і навчатися на досвіді.

Розпізнавання образів - це використання особливостей сигналу або сигналів, а також відношень між ними для ідентифікації початкового об'єкта або його властивостей. Можливості сучасних інтелектуальних засобів вимірювань з обробки інформації дозволяють реалізувати широкий спектр методів розпізнавання образів. Типовими застосуваннями є розпізнавання об'єкта в машинному зорі, виявлення й ідентифікація дефектів, діагностика стану машин, медична діагностика і т.п. Процеси розпізнавання можуть варіюватися від процесів, основаних на простих правилах класифікації, до таких, що використовують розвинені бази знань.

Для одержання характеристик об'єктів, що спостерігаються, які не можуть бути просто співвіднесені із змінними, але надають

безпосередній вплив на ЧЕ, необхідно вивести значення змінних, що вимірюються разом з іншими змінними, що безпосередньо спостерігаються. Такий процес будемо називати дедуктивним. Можна розрізнити два види дедуктивних вимірювань: вимірювання, в яких співвідношення між величинами, що спостерігаються і вимірюються, виражено в явному вигляді; вимірювання, в яких величини, що вимірюються, співвідносяться з тими, що спостерігаються неявно, як змінні або параметри моделі.

Якщо величини, що спостерігаються, зв'язані явними співвідношеннями, дедуктивні вимірювання досить прості. Типовий приклад цього - прості арифметичні операції. Такі процеси в загальному значенні не є інтелектуальними, але використання розвиненої мікропроцесорної техніки дає переваги в простоті, гнучкості реалізації та підвищеній точності.

5.3. Організація дворівневих інформаційно-вимірювальних систем

При побудові ІВС важливе значення має розробка периферійних пристроїв і мережі інформаційних датчиків. Найприйнятнішим варіантом є створення систем із змінною конфігурацією вимірювальних датчиків. При цьому наявність необхідних драйверів зумовлюється програмним забезпеченням, записаним як у постійному запам'ятовуючому пристрої (ПЗП), так і у випадках використання сучасних периферійних ЕОМ, що мають можливість перезавантаження програмного забезпечення на дисковому накопичувачі.

На практиці виникає необхідність гнучкої зміни конфігурації додаткових вимірників, виключення непотрібних, зміни порядку і частоти опиту відповідно до заданого процесу вимірювання. Для цього пропонується використання ПЗ, розділеного на два блоки. Один програмний блок знаходиться в ПЗП, другий – переписується з ПЗП при ініціалізації. При роботі з центральною ІВС остання має можливість командного перезавантаження програмного блока, що визначає програмну конфігурацію інтелектуальних приладів (ІП).

Для роботи пропонується такий алгоритм функціонування інтелектуального приладу при підімкненні до центральної ЕОМ:

1. Проводиться початкова ініціалізація приладу при надходженні додаткових даних, що вводяться з пристрою уведення-виведення (ПУВ) (можлива автономна робота).

2. Опитування розподілених датчиків досягається шляхом вибору відповідних датчиків.

3. При підімкненні ІП до основної ІВС за необхідності здійснюється перезапис програмного блоку, що завантажується.

4. Спрямовується запит даних у мікропроцесорний (МП) пристрій ІП.

5. МП організує впорядковане опитування і передачу інформації з датчиків до ІВС.

Поданий ІП містить: МП, ПУВ, блок датчиків, перетворювачі інформації в широтно-імпульсний (ШІМ) код. Комутація сигналів датчиків здійснюється схемою або керується МП. Це дозволяє використати один перетворювач ШІМ коду в двійковий код.

Таким чином, МП виконує опитування через порт ПУВ відповідно до заданої адреси пристрою. Послідовність опитування визначається системним блоком. Можливість завантаження нових програмних блоків визначається їх наявністю в дисковій операційній системі ІВС. Розроблений ІП дозволяє змінювати конфігурацію без перепрограмування ПЗП: на основі наявності підпрограм і порядку опитування здійснюється реалізація функцій для конкретного процесу.

Створення початкової конфігурації і її корекція відповідно до введених даних виконуються за правилами, записаними у БЗ. Первинне заповнення БЗ, а також її зміна здійснюються під керуванням блока перевірки даних (БПД), що включає синтаксичний і семантичний аналіз структури правил (рис. 5.2).

Блок безпосереднього введення (ББВ) являє собою дружній інтерфейс, що працює в діалоговому режимі або режимі меню. Це передбачає одержання тривіальних відповідей на поставлені запитання.

У випадку, якщо користувач є більш кваліфікованим у даній галузі, він може поглибити процес уведення інформації, автоматично розширюючи структуру останнього. Встановлена первинна структура діалогу також може бути легко змінена за допомогою заміни або введення нових правил БЗ.

З метою забезпечення роботи підсистеми і оптимальних параметрів керування термінами необхідна розробка інтерактивних компонентів БПД, які включають синтаксичний і семантичний аналіз

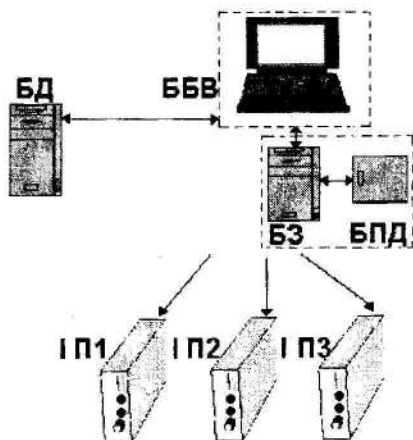


Рис. 5.2. Схема обробки первинної інформації

структури правил, що вводяться [37]. Основними функціями таких компонентів є:

- аналіз синтаксису правил;
- аналіз семантики правил.

Раніше першу функцію виконували прості текстові редактори, за допомогою яких розробник міг вручну записувати знання фахівця на певній мові подання знань і вміщувати їх в БЗ. Сучасні спеціалізовані редактори баз знань (РБЗ), розроблені для конкретних систем, допомагають користувачеві уникнути орфографічних помилок і здійснювати синтаксичну керовану підказку. Наприклад, при введенні в таку систему продукційного правила користувач може розраховувати на те, що редактор буде підказувати, що повинно стояти в різних полях правила, перевіряти синтаксис і, можливо, написання службових слів.

Деякі найрозвиненіші РБЗ (UNITS, KAS, AIMDS) перевіряють не тільки синтаксис знань, що вводяться, але й семантику.

Визначимо такі змінні, що використовуються при редагуванні БЗ:

- A - множина елементарних умов;
- A_g - множина умов, установлених у БЗ;

A_s - множина фактів, що одержуються в процесі роботи;

P - множина правил;

A_i - множина фактів, що є причиною;

A_c - множина фактів, що є наслідком.

Ці множини містять такі елементи:

$$P = \{P_{11}, P_{12}, \dots, P_{1i}, \dots, P_{1m}\};$$

$$A_i = \{A_{ip_{11}}, A_{ip_{12}}, \dots, A_{ip_{1i}}, \dots, A_{ip_{1m}}\};$$

$$A_c = \{A_{cp_{11}}, A_{cp_{12}}, \dots, A_{cp_{1i}}, \dots, A_{cp_{1m}}\},$$

(5.2)

де $A_{ip} = \{alp_{i1}, alp_{i2}, \dots, alp_{ij}, \dots, alp_{im}\};$

$$A_{cp} = \{acp_{i1}, acp_{i2}, \dots, acp_{ij}, \dots, acp_{im}\};$$

P_i - правило, одержане на i -му кроці обчислення;

A_{ip} - підмножина множини A_i , що є передумовою правила P_i ;

A_{cp} - підмножина множини A_c , що є наслідком правила P_i ;

alp_k - елемент множини A_{ip} ;

acp_k - елемент множини A_{cp} .

При цьому $A_s \in A, A_b \in A;$

$$A_i \cup A_c = A;$$

$$A_c \in A_b;$$

$$A_b \cap A_c.$$

Запропонований алгоритм дозволяє вирішувати такі задачі:

- на основі елементарних умов формувати БЗ у діалоговому режимі;

- виявляти і виправляти синтаксичні помилки;

- виявляти семантичні помилки і прогнозувати виправлення помилок у БЗ, що формується.

Синтаксичний аналіз полягає в послідовному проведенні таких перевірок:

- перевірка (створення) структури правил;

- аналіз невстановлених слів;

- аналіз орфографічних помилок.

Семантична перевірка БЗ зводиться до трьох задач:

- перевірка повноти;

- перевірка на несуперечність;
- реалізованості правил.

Перша задача розв'язується шляхом зіставлення множини елементарних умов з множиною фактів, що виводяться. Інакше перевіряється умова

$$A \in |Ay \cup Ab|. \quad (5.3)$$

Перевірка на несуперечність є найбільш трудомісткою задачею. У даній системі перевірки пропонується розв'язувати за два етапи:

- перевірка протиріч всередині правила;
- перевірка протиріч між правилами.

На першому кроці здійснюється перевірка взаємозв'язків між елементарними умовами всередині правила. Основна суперечність виникає при порівнянні множини умов і множини дій. Таким чином, всередині кожного правила повинно виконуватися умова

$$Alp_i \cap Asp_i \notin \emptyset. \quad (5.4)$$

Для перевірки протиріч між правилами використовується такий метод. Якщо умови двох будь-яких правил збігатимуться, то вони будуть або надмірні, або суперечливі.

Таким чином, необхідно порівняти факти у всіх підмножинах умов Alp_i і Alp_j множини Al , що належать відповідним правилам P_i і P_j для повного набору правил

$$P = [P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{ij}, \dots, P_{im-1}, P_{im}] \quad (5.5)$$

множин Asp_{ii} , Asp_{ij} .

Необхідно виконати також порівняння дій між кожними P_{ii} і P_{ij} правилами. В іншому випадку для всіх пар правил P_{ii} і P_{ij} повинна виконуватися умова

$$asp_i \cap asp_j \cup alp_i \cap alp_j = \emptyset. \quad (5.6)$$

Основною суперечністю реалізованості можна назвати появу елементів alp правила P , що належать множині невстановлених фактів раніше від події виконання правила P (тобто $k > l$), для якого alp є власним фактом, що встановлюється.

Таким чином, необхідно виконати умову

$$alp_i \in Asp_i \cap alp_i \in Ab_i \quad (5.7)$$

при $k > l$.

Використання даного підходу при проектуванні інтелектуальних ІВС дозволяє формувати правила процедури ідентифікації для користувачів, що мають мінімальну кваліфікацію в даній галузі.

У зв'язку з тим, що вимірювання являє собою інформаційний процес, а засоби вимірювань - інформаційні машини, реалізовані в основному на базі стандартної обчислювальної техніки, систематичне вивчення їх стає частиною більш широкої галузі науки і техніки, пов'язаної з інформацією і знанням. Сьогодні можна сказати, що різноманітні "розумні" прилади вже стали надійними друзями і помічниками людини, і хоча практика останніх десятиріч свідчить, що впроваджені інформаційні технології обов'язково приречені на допрацювання, адаптацію або повну заміну однієї системи іншою, можливим шляхом розв'язання проблеми є розробка методів і засобів автоматизації формування знань.

Створення багатофункціональних інтелектуальних технічних засобів і систем, здатних частково або повністю замінити людину при вирішенні складних задач, не є справою далекого майбутнього. Вже існують на практиці інформаційно-вимірювальні пристрої, що спираються в своїй роботі на методи ШІ та інженерії знань і формують поняття і моделі автономно, без участі людини.

6. ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАСОБІВ ІВС

6.1. Вимірювальні пристрої

Керування різними технічними і технологічними процесами базується на вимірюванні необхідних параметрів і характеристик цих процесів (наприклад, температури, швидкості пересування об'єкта та ін.). Кожна величина, що вимірюється, сприймається чутливим елементом відповідного вимірювального пристрою, на виході якого виділяється сигнал, еквівалентний вимірювальній величині.

У вимірювальних системах існує величезне число вимірюваних величин і параметрів, яким властиві надзвичайно різноманітна поведінка, висока динамічність і зміни в широких діапазонах, безліч явищ та ефектів, видів перетворення енергії.

За принципом дії вимірювальні пристрої поділяються на фізичні та хімічні. Переважна більшість сучасних вимірювальних засобів працює на основі фізичних принципів [40]. Для вимірювальних пристроїв, принцип дії яких базується на хімічних процесах, характерна наявність багатьох проблем, пов'язаних переважно з надійністю. Але, строго кажучи, є такі вимірювальні системи, які не можна віднести до того або іншого типу. Практика науки і техніки також показує, що існують відмінності і в самій процедурі вимірювання для різних типів вимірювальних систем.

Однак для всіх типів вимірювальних пристроїв існує об'єкт вимірювання як явище, виражене станом однієї величини. Явище характеризується станом декількох величин, стан величини може бути мінливим. Мета будь-якого вимірювання полягає у виявленні зв'язків між величинами – причинних, функціональних або стохастичних. Існування цих зв'язків розглянемо далі.

6.2. Цифрові вимірювальні пристрої

Більшість даних, що застосовуються для аналізу в різних задачах вимірювання, можна подати за допомогою аналогових методів перетворення, які використовуються в галузі вібраційної вимірювальної

техніки, а також у системах з високими вимогами до динаміки. Але на цей час в основі функціонування значної частини вимірювальних пристроїв лежать цифрові методи.

Як відомо, цифрові методи, на відміну від аналогових, мають перевагу, що характеризується більш високою точністю, а тому й меншими статистичними похибками. Якщо порівнювати між собою аналоговий і цифровий методи, необхідно враховувати одночасно статичну і динамічну характеристики. Поняття потоку інформації та пропускної здатності каналу, що визначаються з точки зору теорії інформації, включають обидва ці параметри в теоретично обгрунтованій відповідності.

Для порівняння аналогового і цифрового методів вимірювання розглянемо значення пропускної здатності каналів залежно від граничної частоти (рис. 6.1) [41].

Очевидно, що цифрові методи вимірювання явно перевершують аналогові при порівняно низькій граничній частоті та відносно великому числі рівнів амплітуди. Перевага аналогових методів виявляється при порівняно високій граничній частоті та відносно малому числі рівнів амплітуди.

До позитивних якостей цифрових методів вимірювань можна віднести усунення нелінійності аналого-цифрових перетворювачів за рахунок додання імпульсів. Цей принцип лінеаризації збільшує чутливість цифрових вимірювальних пристроїв. Принцип множення частоти імпульсів дозволяє поліпшити динамічні характеристики швидкодіючих вимірювальних пристроїв.

Крім цього, цифрові методи вимірювань надають своїм користувачам ряд додаткових вигід (і цим вони відрізняються від традиційних аналогових засобів вимірювань): зниження витрат, гнучкість у заданій прикладній галузі, освоєння нових методів вимірювань, легкість при обробці цифрових даних.

У цифрових вимірювальних пристроях вимірювана величина перетворюється в цифровий код, а потім відповідно до коду подається на звітному пристрої в цифровій формі. Цифровий код являє собою послідовність цифр, що підпорядковується певному закону, за допомогою якого здійснюється умовне подання чисельного значення величини.

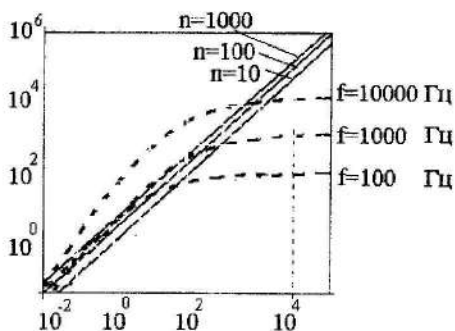


Рис. 6.1. Пропускна здатність каналів при аналогових і цифрових методах вимірювання залежно від граничної частоти:

- - - - цифрові методи; — — — аналогові методи

Алгоритм перетворення аналогового сигналу до цифрового можна подати так: аналогова напруга переводиться в двійково-цифрову форму, подається на вхідний канал, тобто місце сполучення комп'ютера із зовнішнім пристроєм. Оскільки комп'ютер - це електронний пристрій, вхідний канал може сприймати тільки деякі однакові напруги. Отже, будь-яка інформація, що подається на вхідний канал, має бути перетворена в певну напругу. Як тільки це зроблено і інформація передана в комп'ютер, значення величини поданої напруги вміщується в елементи основної пам'яті, а потім може бути оброблена програмою.

Аналогова напруга перетворюється в цифровий вигляд за допомогою аналогово-цифрового перетворювача (АЦП). АЦП виконує перетворення автоматично, приймаючи на вхід аналогову напругу і подаючи на вихід двійкові числа. Перетворення ініціюється комп'ютером, який подає на АЦП керуючий сигнал по спеціальній шині, як показано на рис. 6.2. Після того як перетворення виконано, комп'ютер готовий до аналізу вхідних даних.

В основі вимірювання ЦВП неперервної величини лежить процес квантування (або дискретизації) за часом і за рівнем, тобто перетворення неперервної вимірюваної величини в дискретну

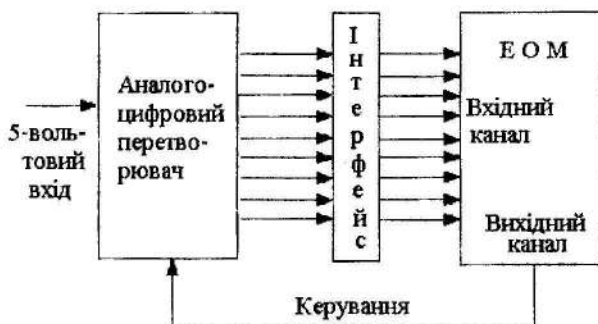


Рис. 6.2. Схема перетворення аналогового сигналу у цифрову форму

(переривчасту).

В освітленні вищесказаного загальна вимога до пристрою АЦП полягає в забезпеченні певної відповідності числа рівнів квантування максимальній ентропії блока перетворення - дискретизації та квантування сигналів. Втрати інформації в АЦП зумовлені похибкою перетворення, яка, в свою чергу, залежить від скінченного числа рівнів квантування.

Поряд зі статичною похибкою важливою характеристикою АЦП є його час перетворення або частота перетворення (число перетворень за секунду). Час перетворення АЦП залежно від принципу дії складає від 20 нс для АЦП паралельного порівняння до ≈ 200 мс для високоточних АЦП з двотактним інтегруванням.

6.2.1. Еволюція цифрових вимірювальних пристроїв

За час існування цифрових вимірювальних пристроїв, при застосуванні їх для комплексних вимірювань був потрібен новий філософський підхід до питань проектування, який допоміг би користувачеві зрозуміти суть дій, що виконуються пристроєм. Результатом цього підходу стало підвищення інтелектуальності

пристроїв, здатних до взаємодії з людиною. Ці нововведення спричинили перші спроби застосування персонального комп'ютера в ході вимірювань, які спочатку зводилися в основному до обробки даних, їх графічного відображення та документування.

При появі на світ мікропроцесорів виробники різних засобів вимірювань першими оцінили їх позитивну якість і необхідність, запропонувавши виробляти спеціалізовані процесори – процесори цифрових сигналів (ПЦС). Мікросхеми ПЦС за останній час стали мати програмну і апаратну підтримку, зокрема плати, що включають аналогові пристрої введення-виведення для зв'язку процесорів із сенсорами, функцію вбудованого самоконтролю, прозорість подання результатів [42]. Сучасні ПЦС-системи глибоко інтегрувалися в засоби вимірювань на основі ПЕОМ, які також в міру постійного вдосконалення апаратного і програмного забезпечення розширюють своє коло задач, що ефективно і раціонально можуть розв'язуватися при використанні ПЕОМ.

Успіхи в розробці комп'ютерної та вимірювальної апаратури роблять можливими не тільки побудову на базі сучасних ІВС оптимальної інформаційної системи для широкого діапазону вхідних впливів при роботі зі складними технічними об'єктами, але й дозволяють на практиці впровадити в життя концепцію інтелектуального вимірювального комплексу (ІВК).

ІВК включає складний електронний і програмний компоненти. Комп'ютер, за допомогою якого реалізована інтелектуальна ІВС, може знаходитися поза складного технічного обладнання або бути вбудованим в нього (рис. 6.3). Комплекс може містити елементи аналогово-цифрової вимірювальної системи. Датчики сприймають первинну інформацію від об'єкта дослідження. Ця інформація у вигляді аналогових електричних сигналів надходить на мультиплексор, який відповідно до команд керуючого пристрою (КП) групує загальний потік сигналів, що надходять в АЦП. Формувач сигналів генерує послідовність імпульсів для КП, який керує мультиплексором, а також видає сигнали переривань для інтерфейсу інформаційного обміну.

Цифрово-аналогова система обробки інформації включає інтерфейс обміну інформації з аналогово-цифровою вимірювальною системою, буферний пристрій, що дозволяє формувати на вихідному підсилювачі керуючі впливи, а також вирішувач, який обробляє дані за



Рис. 6.3. Функціональна схема вимірювального комплексу

заданим алгоритмом. Останній елемент реалізує алгоритмічну обробку даних, перетворення чисельних значень в лінгвістичні описи, формування баз даних, логічну обробку лінгвістичних змінних, а також виведення в придатному для користувача поданні.

Вимірювальні системи на основі ПЕОМ є гідною альтернативою всім застосованим раніше методам вимірювання і контролю. Але очевидна потреба вимірювань на базі персональних комп'ютерів була нерозривно пов'язана з еволюцією самих комп'ютерів. Задумані спочатку як офісні та комунікаційні засоби, ПЕОМ не були призначені для використання у вимірювальних процесах. Однак згодом комп'ютери набули нових функцій, з'явилися такі поняття, як "швидкість", "оновлення комп'ютерів", "наступне покоління комп'ютерів". Помітні успіхи в технології та стандартах дозволили розробникам створювати більш складні системи і програмні продукти.

6.2.2. Віртуальні прилади та вимірювальні програмно-апаратні системи

Поява віртуальної реальності - явища, породженого людським генієм і сучасним комп'ютером, - є однією з найпередовіших комп'ютерних технологій, що гаряче обговорюється. Приголомшливі обчислювальні та комунікаційні можливості комп'ютера допомагають людині відкривати нові шляхи для спілкування як із собі подібними, так і з навколишнім світом.

Тому на стику комп'ютерної та вимірювальної індустрії більше 10 років тому зародилася нова технологія - технологія віртуальних приладів (ВП) - Virtual Instruments. Нові підходи вивели комп'ютерну техніку на більш високий рівень, що дозволяє швидше і з меншими витратами створювати вимірювальні та діагностичні комплекси різної складності, що виконують безліч вимірювань - від тривіального вимірювання температури до задач уведення і обробки відеозображень з передачею результатів.

Вважалося, що функціональні можливості найпоширеніших вимірювальних пристроїв задаються тільки їх виробником, і змінити число каналів цих пристроїв практично неможливо, тому що виробник не в змозі охопити все різноманіття реальних задач і забезпечити підбір оптимального комплексу обладнання з необхідними параметрами.

Сучасне трактування поняття "віртуальний прилад" (ВП) знімає ці обмеження, тому що основою цієї технології стали відкриті, а тому й доступні всім розробникам і виробникам стандарти на універсальне обладнання і спеціалізоване програмне забезпечення (ПЗ), що дозволяє вибирати кращі з існуючих на ринку варіантів рішень і компонувати з них спеціалізовані системи. Віртуальний прилад являє собою комбінацію комп'ютера, універсальних апаратних засобів уведення-виведення сигналів і спеціалізованого ПЗ, яке визначає конфігурацію і функціонування закінченої системи. По суті, в руках творця системи - конструктор, з кубиків якого навіть не досвідчений в комп'ютерних технологіях інженер або дослідник може побудувати вимірювальну систему будь-якої складності. У цьому разі вимоги даної задачі та ПЗ,

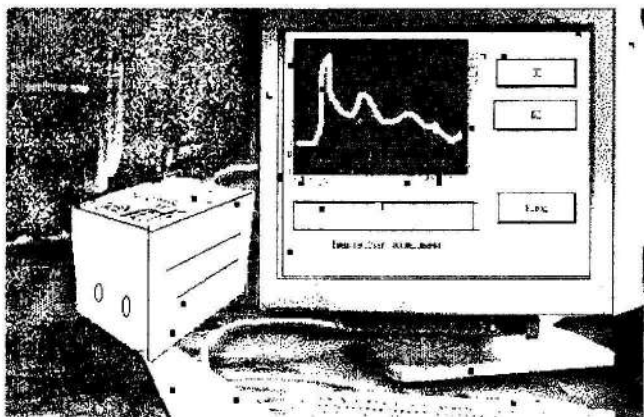


Рис. 6.4. Зовнішній вигляд віртуального приладу

що їм відповідає, а не можливості приладу визначають функціональні характеристики закінченої системи(рис. 6.4).

Віртуальний прилад - це сучасний комп'ютер, оснащений набором програмних і апаратних засобів, що виконує функції вимірювального пристрою або системи, максимально адаптованої до вимог задачі [43]. Подібні вимірювальні прилади відповідають трьом основним вимогам:

- уведення-виведення;
- обробка та аналіз інформації;
- подання результатів.

Шинна архітектура сучасного ВП відображає всі етапи розвитку цієї технології. Першим кроком стало оснащення звичайних пристроїв інтерфейсом IEEE-488 для зв'язку з комп'ютерами. Треба зазначити, що крім цього інтерфейсу широко використовувався інтерфейс RS-232C з асинхронним протоколом апаратного рівня для зв'язку між кількома комп'ютерами. Можливість об'єднання різних приладів і пристроїв у спеціалізовані комплекси за допомогою комп'ютера і комунікаційного каналу кардинально змінила принцип побудови сучасної вимірювальної системи і стала основою технології ВП. Уведення-виведення в таких системах відбувалося зі звичайних пристроїв, а конфігурація вимірювальної системи, необхідна обробка і відображення результатів задавалися програмою комп'ютера.

Таким чином, розробники впритул підійшли до створення віртуального приладу - вимірювальної системи, адаптованої до вимог конкретної прикладної задачі. Навіть обмежена пропускну здатність каналу інтерфейсу IEEE-488 у випадку обробки великого обсягу даних не стала перешкодою значному поширенню інтерфейсу в усьому світі в 80-х роках.

Обмеження каналу IEEE-488 було переборено шляхом більш тісної, а тому й більш високошвидкісної взаємодії пристроїв уведення-виведення [44]. Це визначило наступний етап розвитку нової вимірювальної технології, що використовує вбудовані в комп'ютер плати введення-виведення і шини VXI. Стандарт VXI (VME extension for Instrumentation) - міжнародний стандарт, що підтримується всіма провідними виробниками вимірювальної техніки.

Вимірювальна система в стандарті VXI являє собою набір високопродуктивних вимірювальних модулів різного функціонального призначення і складностей - від найпростіших мультиплексорів до високопродуктивних аналізаторів, об'єднаних високошвидкісною загальною інформаційною магістраллю VXI. На відміну від звичайних пристроїв, пристрої на основі VXI не мають звичної лицьової панелі з ручками керування й індикаторами. Конфігурація, керування системою і відображення результатів проводяться за допомогою вбудованого в крейт стандарту VXI або інтерфейсу загальної шини GPIB (general-purpose interface bus) комп'ютера.

На сьогодні існують багато фірм, які випускають VXI-контролери на базі процесорів x86, Pentium і 68030 (VXIcpu-30), а також набори вимірювальних модулів під VXI, який є аналогом плат уведення-виведення сигналів для ПК. Відповідність вимірювального модуля стандарту VXI гарантує його апаратну сумісність з виробами інших виробників за технологіями VXI, plug & play та ін.

Завдяки стандартизації та відкритості VXI продукти різних виробників об'єднуються у вимірювальні програмно-апаратні комплекси різної складності та призначення. Застосування цієї технології дало нові можливості для роботи з тими платами, що вбудовані в комп'ютер і використовуються для збирання і обробки даних (за допомогою спеціального прикладного програмного забезпечення).

Сьогодні ця технологія цілком доступна в галузі вимірювальної техніки завдяки своїй гнучкості та вартісній ефективності. Вбудовані

плати збирання даних, які мають систему узгодження сигналів, - найпоширеніший тип вимірювальної системи, що складається з трьох елементів:

- системи узгодження сигналів, безпосередньо підімкненої до датчиків плат, що вбудовуються;
- плати введення-виведення;
- комп'ютера.

Використання стандартних настільних, промислових і портативних комп'ютерів закладає основу відносної простоти та доступності всієї вимірювальної системи. Вбудовані плати забезпечують багатоканальне введення-виведення аналогових і дискретних сигналів, коефіцієнтів посилення і швидкості перетворення, що встановлюються індивідуально для кожного каналу. Вони містять лічильники-таймери, шину для синхронізації роботи декількох плат, сигнальні процесори (DSP) для обробки сигналів. Обмін даними між платою і комп'ютером відбувається через механізм переривань або за допомогою прямого доступу до пам'яті: сучасні PCI-плати реалізують режим master PCI для обміну з ОЗП комп'ютера зі швидкістю до 132 Мбайт/с.

Нагадаємо, що сучасна шинна архітектура має ієрархічну структуру. Основне значення такої побудови полягає в тому, щоб розподілити навантаження і тим самим збільшити продуктивність системи, тому кожна із шин виконує своє специфічне завдання. Системна шина забезпечує обмін даними між процесором, оперативною пам'яттю і кеш-пам'яттю. До шини ISA/EISA або MCA приєднують низькошвидкісні пристрої, а проміжна шина PCI використовується для підімкнення периферійних пристроїв, що потребують високої пропускної здатності. Кілька років тому вважалося, що шина ISA морально та фізично застаріла, вона може залишатися на комп'ютері лише для сумісності зі старим обладнанням. Така точка зору дійсно має сенс, коли мова йде про досягнення ПЕОМ у сфері комунікацій та відображення високоякісних зображень. Але є такі ситуації, коли для збирання даних з деяких пристроїв або датчиків можливостей шини ISA цілком достатньо. Ця шина широко використовується вітчизняними спеціалістами з інформаційно-вимірювальної техніки.

Найпоширеніша серед інформаційно-вимірювальних систем шина

PCI. Перехід від шини ISA до шини PCI істотно збільшив продуктивність системи, особливо коли вимірювана інформація була подана у вигляді відеозображень.

Продуктивність шин така:

- ISA — 2 ... 3 [Мбайт / с];

- PCI — 64 ... 132 [Мбайт / с].

Прикладом вбудованих плат для вимірювальних систем служать плати введення-виведення і їх ПЗ – продукція американської компанії National Instruments (NI) (м. Остин, Техас), яка є однією з найстаріших у світовій індустрії сучасних вимірювальних систем [45]. Невеликі плати для простих застосувань і плати більш продуктивні, що відзначаються широкими функціональними можливостями, швидкістю цифрування у десятки мегагерц, наявністю спеціалізованих мікросхем для організації аналогового і цифрового введення-виведення, відсутністю перемикачів на платі і повністю програмною конфігурацією, – всілякі модифікації для потреб спеціалістів.

Спеціалізовані плати для ПЕОМ стають все меншими і "інтелектуальнішими". Але при зменшенні розмірів можливості їх тільки збільшуються. Інтерес, що зріс до плат PCMCIA для вимірювальних систем, дозволив стати стандартом сьогодення для переносного комп'ютера типу "ноутбук" із вбудованим мікропроцесором "Pentium", змінними платами (plug-in cards), жорстким диском об'ємом від 1 Гбайт, 32-мегабайтною оперативною пам'яттю, який дозволяє проводити випробування безпосередньо на місцях. Новий 32-розрядний CardBus-стандарт для ноутбуків забезпечує передачу даних через шину PCMCIA зі швидкістю, що відповідає шині PCI до 132 [Мбайт/с].

Крім ноутбуків новинкою для фахівців з вимірювальних систем є "кишенькові" комп'ютери (palmtop PC), які ще більш полегшують польові випробування. Вони дають користувачам можливість завантажувати дані на місці для їх подальшого аналізу. Тенденція до використання портативних пристроїв привела до того, що їх можна встановлювати де бажано, тільки як можна ближче до датчиків. Подібний розподілений підхід введення-виведення, реалізований у вигляді безлічі зовнішніх пристроїв, дозволяє істотно знизити рівень перешкод і тим самим підвищити точність вимірювань.

Не втратили своїх позицій на ринку засобів збирання і обробки вимірювань сучасні багатофункціональні вимірювальні комплекси.

Стандартна вимірювальна система повністю сумісна з сучасними ноутбуками, позбавлена системних недоліків, що породжуються вбудованими в комп'ютер платами, і забезпечує користувачеві ряд відчутних переваг, корисних при розв'язанні вимірювальних задач.

Підімкнення датчиків до восьми входів системи використовується досить широко: починаючи з первинних перетворювачів механічної величини (основаних на тензометричному, індуктивному і диференціально-трансформаторному принципах) та зовнішніх джерел електричних сигналів (напруги, частоти, послідовності імпульсів і 16-розрядних цифрових шин уведення-виведення) і закінчуючи термопарами.

Розглянемо для прикладу типовий вимірювальний комплекс фірми DAQ Instruments. "SPIDER 8" - пристрій, що забезпечує вимірювання і посилення сигналу з датчика, збирання і фільтрацію даних. Є два типи вимірювальних підсилювачів: один - з несучою частотою 4,8 кГц (для пасивних датчиків) і другий (постійного струму з електричною ізоляцією) - для сигналів від активних джерел у діапазонах 1 ... 100 мВ, 1 ... 10 В, 20 ... 200 мА, 400 ... 4000 Ом, в яких передбачено також компенсацію вимірювальної точки для термопар. Діапазон частот, що вимірюються в обох підсилювачах, становить 1200 Гц по кожному каналу. Завдяки широкому діапазону вхідних сигналів користувач позбавлений необхідності настроювання входів і підбору різних підсилювальних модулів. Окремо стоять у ряду також цифрові пристрої, що цікавлять споживача: осцилоскоп (DAQScope), мультиметр (DAQmeter), генератор сигналів (DAQArb) і плата введення відеосигналів (IMAQ-PCI).

Для портативних систем на основі комп'ютерів-ноутбуків використовуються аналогічні плати, виконані в стандарті PCMCIA (серії DAQcard NI), або пристрої, що працюють через паралельний порт (NI_DQAPad). Для нормалізації реальних сигналів служать окремі узгоджені модулі (5B Analog Devices) або система узгоджених модулів (NI_SCXI, Signal extension for Instrumentation). В останньому випадку в комп'ютері знаходяться два типи комірок, які вміщують 4 або 12 модулів, що забезпечують посилення, мультиплексування, живлення датчиків, перемикання реле, електричну ізоляцію і фільтрацію сигналів. Керування контролером SCSI здійснюється через плату збирання даних, паралельний порт або послідовний канал RS-485 (1200 м). З'являється можливість одночасного вимірювання сигналів від одиниць

мілівольт до сотень вольт, перемикання високовольтних реле з номінальним струмом до 6 А, роботи з декількома тисячами різнорідних датчиків і дистанційного збирання даних і керування пристроями.

Приладобудування знаходиться на передньому плані людської діяльності, тому створенням багатофункціональних технічних засобів займаються відомі всьому світу виробники. Це не тільки американські, європейські й азіатські фірми, але й виробники країн СНД. Для фахівців в галузі ІВС широко відомі назви таких фірм-виробників, як американська Octagon Systems, тайваньська Advantech, німецькі Siemens і Bosch і багато інших.

Спектр продукції, що випускається фірмами-виробниками, досить широкий і залежить від потреб фахівців, що працюють з інформаційно-виміральною технікою. Це може бути ВП з широким діапазоном вимірювань: осцилограф, аналізатор акустичних сигналів, спектроаналізатор. Якщо вимірювально-інформаційні процеси відбуваються в складних умовах, до послуг фахівців - комп'ютери екстремальної стійкості та навіть вибухозахищені.

Раніше більшість виробників інтерфейсів пропонувала користувачам у комплекті з апаратною частиною прості програмні реалізації [46]. Але зараз на програмне забезпечення покладається вся робота по конфігурації, налаштуванню апаратури введення-виведення, обробці даних, аналізу та візуалізації. В області ПЗ вимірювальних систем сьогодні визначилися явні лідери - це мови програмування Сі, БЕЙСІК і LabVIEW. Для полегшення роботи програмістів існують спеціальні інтегровані середовища розробки або бібліотеки готових елементів. Прикладом тому можуть служити LabWindows/СVІ для любителів Сі і Component-Works - для любителів БЕЙСІКА.

Окремої розмови заслуговує пакет графічного програмування LabVIEW. Його призначення - це програмування вимірювальних систем на графічній мові з подальшою компіляцією у виконуваний код. Розробка всіх елементів системи відбувається в основному з неодноразово перевірених готових блоків, що значною мірою скорочує витрати розробника і в кінцевому підсумку підвищує продуктивність і надійність ПЗ вимірювального комплексу. Людина, працюючи зі знайомими йому поняттями й інструментами (блоком-діаграмою, цифровим фільтром і т.п.), набагато швидше реалізовує свої задуми. Кнопки, ручки та інші елементи графічного інтерфейсу мало

відрізняються від справжніх. Виняток складає лише зміна їх позиціонування, яка проводиться "мишею", а не рукою, як у реальних пристроїв (рис. 6.5).

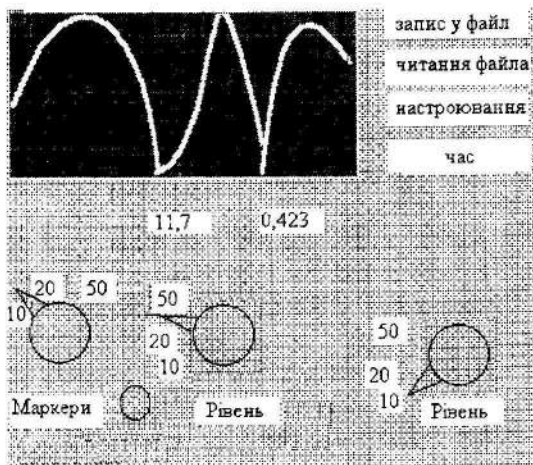


Рис. 6.5. Зовнішній вигляд лицьової панелі віртуального приладу

Інтерфейс, що має значні можливості для обробки інформації, вносить істотний вклад у роботу інтелектуальних засобів вимірювання.

Але необхідно відмітити недоліки Windows NT при роботі з простими вимірювальними системами: недетермінована поведінка для потреб ОС реального часу; багаторівнева архітектура; зниження часу доступу до з'єднань уведення-виведення та інтерфейсних плат.

Поєднання вимірювального пристрою і комп'ютера відкриває нові можливості в їх спільній сфері застосування. Маніпуляція з файлами дозволяє не тільки документувати процеси, що вимірюються, але й проводити аналіз одержаної інформації шляхом порівняння з еталонною. Сформована одного разу фахівцем база даних контрольних вимірювань дає можливість довірити експлуатацію вимірювальної системи користувачам різного рівня підготовки. Такий підхід успішно здійснюється при створенні складних ІВС, що мають справу не просто з вимірюванням параметрів об'єкта, але і з його ідентифікацією, перевіркою і контролем.

Таким чином, еволюція інформаційних процесів, що реалізується за допомогою переглянутих засобів, привела до появи нового класу інформаційних систем з підвищеним (порівняно з традиційними інформаційними системами) рівнем інтелектуальності.

6.3. Засоби вимірювання фізичних параметрів

6.3.1. Організація збирання вимірювальної інформації при вимірюванні змісту вуглеця

При виборі технічних засобів для одержання вимірювальної інформації необхідно враховувати кількість джерел вимірювання, їх розподіл у просторі та розподіл їх роботи у часі, похибку вимірювань, що допускається, й інші параметри.

Це зумовлює вибір принципів організації системи з просторовим або тимчасовим розділенням вимірювальних каналів, вибір АЦП тієї або іншої точності.

При використанні ЕОМ попередня обробка даних з контролем помилок здійснюється її програмними засобами, що підвищує загальну точність вимірювань і надійність системи. При цьому машина може реалізовувати ряд логічних і обчислювальних операцій, таких, як відбраковування аномальних результатів вимірювань, визначення відхилень результатів вимірювань від заданих, обчислення статистичних характеристик, класифікація об'єктів, корекція систематичних похибок (дрейфу нуля, нелінійності характеристики вимірювальних каналів).

Як приклад на рис. 6.6 наведено спрощену структурну схему вимірювальної системи для вимірювання вмісту вуглеця у ванні конвертера. Зміст вуглеця як вимірюваної величини визначається шляхом вимірювання швидкості зневуглецювання. Одержаний результат перетворюється в електричний, кодується АЦП і код передається на ЕОМ.

Система визначає концентрацію вуглеця, корекцію похибок, час запізнення й інші параметри. Результати контролю фіксуються на носії та протоколюються.

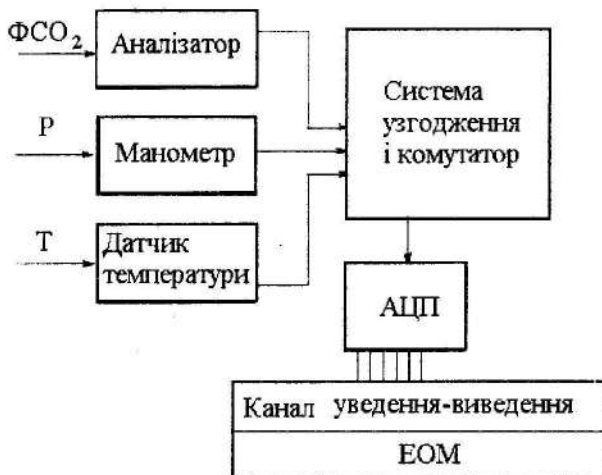


Рис. 6.6. Структурна схема для вимірювання змісту вуглеця у ванні конвертера: ΦCO_2 – концентрація вуглеця у продуктах згоряння; P - тиск; T- температура

6.3.2. Засоби вимірювання струму і напруги

Вимірювання струму і напруги здійснюється в ланцюгах як постійного, так і змінного струмів широкого діапазону частот. Найвищу точність вимірювань одержують у ланцюгах постійного струму. При вимірюваннях у ланцюгах змінного струму точність вимірювань знижується з підвищенням частоти; тут крім оцінки величин діючого, середнього та максимального значень в ряді випадків потрібне спостереження форми досліджуваного сигналу і знання миттєвих значень струму і напруги.

Вибір вимірників струму і напруги зумовлений зразковим амплітудним, а також частотним діапазоном, формою кривої вимірюваної величини, потужністю ланцюга, в якому здійснюється вимірювання, потужністю, яку споживає прилад, необхідною точністю вимірювання і т. д. Якщо необхідна точність вимірювання, допустима

потужність споживання й інші вимоги можуть бути забезпечені амперметрами і вольтметрами електромеханічної групи, то перевагу віддають цьому простому методу безпосереднього відліку.

Але у малопотужних ланцюгах постійного і змінного струмів для вимірювання напруги звичайно користуються електронними вольтметрами безпосередньої оцінки зі стрілками або цифровим відліком. Вимірювання струму здійснюється непрямим методом - вимірюванням напруги на зразковому резисторі з відомим опором. За необхідності вимірювання струму і напруги з більш високою точністю потрібно використовувати пристрої, основані на методах порівняння.

У випадку вимірювання напруги на струмопровідних елементах передбачено безпосереднє знімання вимірюваного сигналу без застосування струмопровідних затискачів, оскільки при високому струмі в елементі результати вимірювання стають хибними через спад напруги на опорах проводів і контактів.

Напруга більше 100 В вимірюється з використанням спеціальної високовольної вимірювальної головки. Для вимірювання миттєвих процесів необхідно звертати увагу на те, щоб частотні характеристики сигналу відповідали технічним умовам елемента, що контролюється.

До останнього часу для вимірювання струму застосовували такі датчики, як шунти, трансформатори струму і магнітні підсилувачі. Більш сучасні засоби вимірювання струму являють собою ряд приладів серії ДИТ і ДТХ, принцип дії яких базується на вимірюванні магнітної індукції, що створюється струмом, який протікає. Наявність в конструкції названих приладів спеціальних магніточутливих датчиків Холла дозволяє реалізувати їх головну позитивну якість: датчики здатні вимірювати без розриву ланцюга як постійний, так і змінний струми, гарантуючи гальванічну ізоляцію вихідного сигналу від вимірюваного струму. При цьому датчик Холла якісно відпрацьовує постійні та низькочастотні сигнали, а в області високочастотних сигналів працює вже як трансформатор струму, що й забезпечує смугу пропускання частот вимірюваних струмів до 200 кГц.

Конструктивно датчики вимірювання струму випускаються у вигляді автономних малогабаритних пристроїв. Через отвір у корпусі таких модулів пропускається шина з вимірюваним струмом. Вихідний сигнал датчика строго пропорційний вимірюваному струму. Передбачено кріплення модуля на платі зі стандартним кроком

металізованих отворів 2.5 мм або на самій струмовій шині.

Головні властивості таких датчиків: висока точність вимірювань (до 1%), гальванічна розв'язка, малі габаритні розміри і температурний дрейф характеристик, мінімальне енергоспоживання і низька вартість.

Вимірювання струму проводяться також шляхом вимірювання спаду напруги на так званих вимірювальних кліщах. За допомогою вимірювальних кліщів найчастіше визначається напруга на індукційній котушці, розташованій поблизу струмопровідного провідника. Цей метод забезпечує гальванічну розв'язку вимірювального і струмового ланцюгів, однак він застосовується тільки для вимірювання змінного струму з частотою більше 100 Гц. Для деяких вимірювальних кліщів передбачено додатково до трансформатора струму датчик Холла, що дозволяє провести вимірювання навіть сталої складової струму. Точність вимірювань в цьому випадку не така велика, як при застосуванні струмовимірювальних опорів, коли використовуються окремі рознімання для підведення струму навантаження і знімання напруги.

Щоб виміряти спад напруги на струмовимірювальному опорі, необхідно в загальному випадку використати установку для вимірювання напруги із симетричним входом. Для струму, що дуже швидко змінюється, потрібно застосовувати зовнішні вимірювальні опори з мінімальною індуктивною складовою.

Найпоширеніші вимірювальні пристрої:

1. Цифрові пристрої Ф285, Ф288, Ф289. Вони призначені для вимірювання напруги і струму і можуть вбудовуватися у вимірювальну або випробувальну апаратуру різного призначення.

2. Вимірювальний комутатор Ф2111. Призначений для комутації вимірювальних ланцюгів з метою підмикання виходів джерел вимірювальних сигналів постійної напруги до входів пристроїв вимірювань аналогових сигналів.

3. Багатоканальний реєструючий комплекс К145. Призначений для вимірювань і одночасної реєстрації 18 електричних величин (струм від 1 мкА до 5 А і напруга від 0.1 мВ до 600 В) і неелектричних величин, перетворених в електричні, в діапазоні частот від 0 до 10 кГц.

4. Цифровий вимірювальний перетворювач Ш711/1. Призначений для перетворення аналогових електричних сигналів

датчиків температури, а також сигналів напруги і амперажу електричного сигналу в такі види вихідних сигналів:

- цифровий код КОИ-7, що забезпечує обмін інформацією з ЕОМ, відеотерміналами і друкувальними пристроями;
- уніфіковані аналогові сигнали постійного струму 0...5; 0...20; 4...20 мА для виведення на аналогові відображальні, реєструвальні та регульовальні пристрої.

6.3.3. Лабораторна термометрична система

Для вимірювання температури в цей час широко використовуються багатоканальні ІВС з напівпровідниковими вимірниками [49]. У даній лабораторній інформаційно-термометричній системі (ІТС) чутливим елементом є напівпровідникові датчики.

Для зняття значень з розподілених по поверхні плати вимірювальних датчиків використовується ІТС, структурна схема якої являє собою вимірювальну систему з тимчасовим розділенням каналів і наявністю зворотного зв'язку (рис. 6.7).

Зовнішній вигляд ІТС подано на рис. 6.8.

При подачі напруги U від стабілізованого джерела живлення прецизійні резистори $R1 - RN$ живлять постійним нормованим робочим струмом I вимірювальні датчики $VD1 - VDN$, розташовані на об'єкті вимірювання. Перемикачем $П2$ виводиться на робочий режим транзистор $VT1$, який є джерелом тепла. З часом температура в точках вимірювання підвищується, що відображається зміною напруг на вимірювальних датчиках.

За допомогою комутуючих пристроїв $KY1, KY2$ одна з цих напруг порівнюється з напругою на контрольному вимірювальному діоді VDO , ізольованому від джерела тепла. Одержана різниця напруг є вихідним аналоговим сигналом.

У даній ІТС перетворення електричних параметрів у код здійснюється в блоці аналого-цифрового перетворення (АЦП), за який править використовуваний стандартний комплект Ф-303. Останній видає споживачеві дані за допомогою блока індикації (БІ).

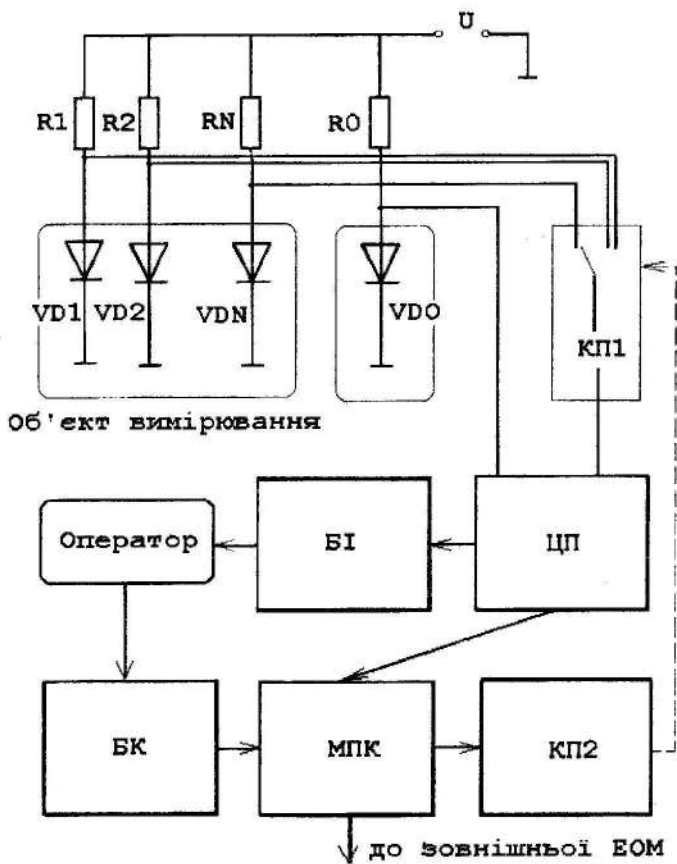


Рис. 6.7. Структурна схема установки ІТС

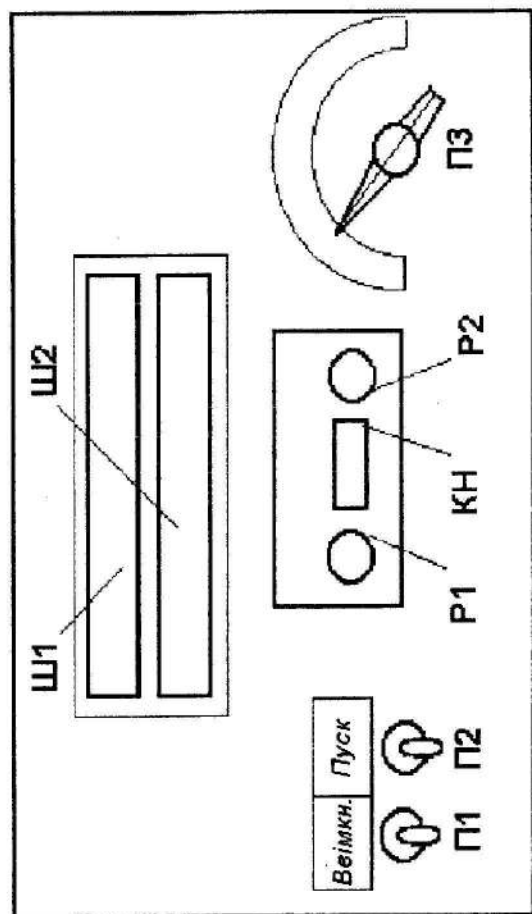


Рис. 6.8. Зовнішній вигляд установки ГС

Мікропроцесорний контролер (МПК) направляє цифрові дані на зовнішній ЕОМ для їх подальшої обробки, а також керує комутатором К для вибору точки, що контролюється. Блок керування (БК) використовується для контролю граничних умов.

При підімкненні МПК до зовнішньої ЕОМ результати початкових вимірювань зберігаються в дисковому файлі ТОК(i).RES. Програмне забезпечення (ПЗ) даної ІТС дозволяє незалежно моделювати розподіл температури, записуючи результати у файл TEMPERAT.RES, а також обчислювати похибки реальних вимірювань.

ПЗ ІТС також передбачає процес вимірювання за схемою із зворотним зв'язком. Це дає можливість реалізовувати послідовні алгоритми ідентифікації з указанням точок контролю, в яких дисперсія вимірювань максимальна, що, в свою чергу, мінімізує загальне число вимірювань [13].

6.4. Вимірювально-технологічна система СТ-1013

У кожному вимірювальному процесі вирішуються основні задачі, такі, як збирання, переробка, передача, реєстрація і видача інформації в необхідному поданні. Для вирішення таких задач при виконанні перерахованих процесів з виробами радіоелектронної апаратури розроблено ряд ІВС. Прикладом такої системи є СТ-1013.

Система технологічна СТ-1013 призначена для автоматизованого програмного внутрисхемного контролю змонтованих печатних плат (ЗПП).

Основні області застосування системи:

- продуктивний контроль ЗПП на заводах-виготовлювачах з метою виявлення та локалізації виробничих дефектів і видачі даних для подальшого ремонту;
- вхідний контроль на заводах-виготовлювачах, що використовують ЗПП.

Склад системи СТ-1013 наведено в табл. 6.1. Залежно від початкових даних і задач, що вирішуються, інженер може скласти необхідний комплект системи. Зразкову структурну схему комплекту наведено на рис. 6.9.

Необхідним елементом у цій схемі є комп'ютерна система обробки і керування СОУ-6.05, яка дозволяє узгодити роботу різних комплектів.

Таблиця 6.1

Склад системи СТ-1013

Найменування	Позначення	Кількість
Аналізатор LCR	2.728.063	1
Аналізатор LCR	2.800.003	2
Комутатор точок контролю 1	3.051.160	1
Комутатор точок контролю 2	3.051.161	1
Комутатор матричний	3.051.162	1
Блок живлення	2.087.749	1
Блок керування комутатором	2.390.223	1
Блок керування	2.390.211	1
Блок керування програмованим живленням	2.390.231	1
Пристрій підімкнення	2.952.000	1
Пристрій зв'язку 1	5.292.334	1
Пристрій зв'язку 2	5.292.335	1
Пристрій підготовки	2.954.000	1
Блок живлення Б5-47	3.223.220	1
Блок живлення Б5-50	3.223.220	1
Блок живлення Б5-46	3.223.220	1
Блок живлення Б5-48	3.223.220	1
Вольтметр цифровий В2-32.1	2.771.051	3
Шафа	4.100.237	1

Система СОУ-6.05 призначена для керування технологічними процесами, побудови інформаційно-вимірювальних систем і комплексів, групового керування обладнанням у гнучких автоматизованих виробництвах.

Монтаж елементів системи СОУ-6.05 в стандартний стояк показано на рис. 6.10.

ПЗ системи дозволяє розв'язати широке коло задач, пов'язаних зі створенням ІВС для контролю і керування виробничими і технологічними процесами, а також автоматизувати процеси вимірювань і документувати результати вимірювань.

Підготовка програмного забезпечення вимірювально-технологічної системи СТ-1013. Для формування ПЗ у системі 1013 використовується мова СТ-13, основні оператори якої відповідають мові BASIC.

Програми, складені на мові СТ-13, мають простий вигляд, легко читаються і редагуються. Відлагодження програм здійснюється в діалоговому режимі "Користувач - система".

Основними структурними одиницями мови є оператори. Вони поділяються на три класи:

- контрольні-вимірювальні оператори;
- робочі оператори;
- оператори керування.

ПЗ являє собою набір контрольних-вимірювальних тестів, які формуються з контрольних-вимірювальних і робочих операторів з номерами від 0 до 9999.

Контрольні-вимірювальні оператори. Основну інформацію про вимірювання і допусковий контроль елементів ЗДП користувач одержує в результаті виконання контрольних-вимірювальних операторів.

Виконання кожного оператора цього класу завершує контрольний-вимірювальний тест, тобто ідентифікація тестів здійснюється за контрольними-вимірювальними операторами.

Контрольний-вимірювальний оператор в ІП описується конструкцією, в яку входять номер оператора, ім'я оператора, ідентифікатор та інші складові частини залежно від оператора.

У табл. 6.2 наведено конструкції контрольних-вимірювальних операторів мови СТ-13 і послідовність складових частин кожного оператора. Обов'язкові складові частини оператора позначені буквою "0", необов'язкові - "Н".

Обов'язкові складові частини в операторі вказуються завжди, а необов'язкові можуть не задаватися, і в цьому випадку транслятор мови СТ-13 присвоює їм стандартні значення для даного оператора.

Складові частини контрольних-вимірювальних операторів описані нижче.

Ідентифікатори. Всі контрольні-вимірювальні оператори повинні містити ідентифікатор, який являє собою набір з чотирьох будь-яких символів, вибраних користувачем за власним розсудом, взятих у лапки.

Звичайно як ідентифікатор використовується схемне позначення елемента, що перевіряється.

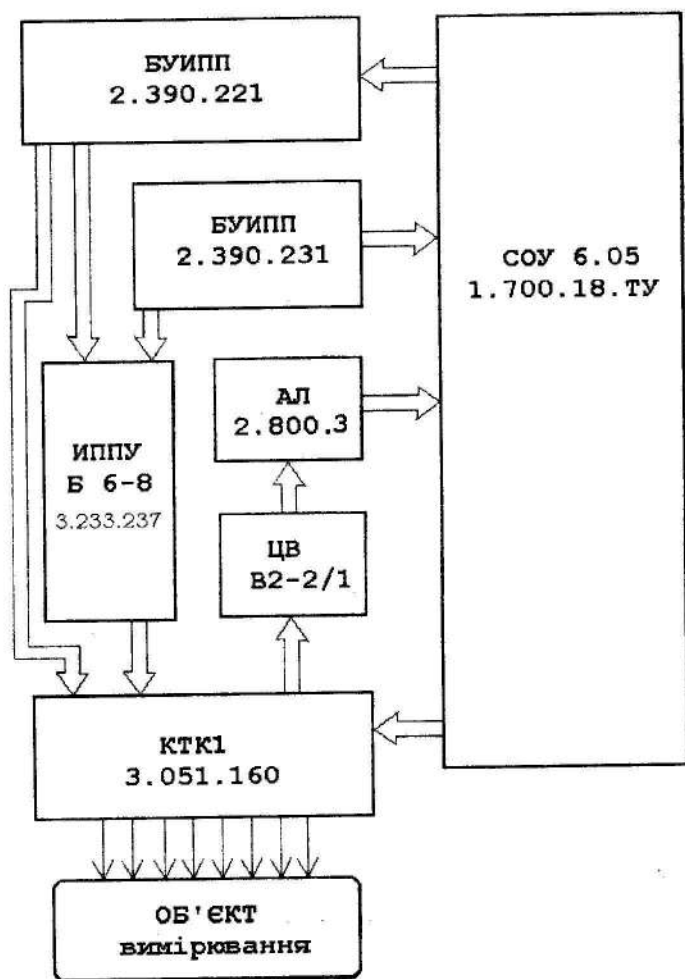


Рис. 6.9. Структурна схема системи технологічної СТ-1013



Рис. 6.10. Зовнішній вигляд системи СОУ-6.05

Таблиця 6.2

Конструкції контрольно-вимірjuвальних операторів

Конструкція	Оператор
<p><N> <РЕЗ> <ідентифікатор> <схема заміщення> <допускові межі> <точки контролю і схема вимірювання> <частота> <рівень сигналу> <затримка></p>	Резистор
<p><N> <ДИОД> <ідентифікатор> <допускові межі> <ввімкнення> <точки контролю> <що програмується резистор> <затримка></p>	Діод
<p><N> <НАПР> <ідентифікатор> <знак очікуваного результату> <допускові межі> <точки контролю> <фільтр> <затримка>, де <знак очікуваного результату> задається або у вигляді букви П, взятої в квадратні дужки, якщо очікується позитивний результат, або пропускається, якщо очікується негативний результат;</p>	Напруга
<p><N> <ТРАН> <ідентифікатор> <допускові межі> <тип транзистора> <ввімкнення> <точки контролю> <що програмується резистор> <затримка></p>	Транзистор

Допускові межі. У більшості контрольно-вимірjuвальних операторів повинні задаватися допускові межі з указанням відповідних одиниць вимірювання.

Для задання допускових меж використовуються числа з фіксованою комою, що задаються у вигляді чотирьох і менше цифр, розділені крапкою (цілі числа задаються без крапки).

Допускові межі можуть бути задані будь-якою з таких комбінацій:

1) номінал у вигляді числа, після якого записуються одиниці вимірювання, а потім через кому - процентний допуск у вигляді позитивного числа і символ % (в цьому випадку допуск вважається однаковим як у позитивну, так і в негативну сторони), наприклад:

10 КОМ, 5%;

2) номінал, після якого через кому вказується спочатку процентний допуск в позитивну сторону зі знаком "+", потім процентний допуск у негативну сторону зі знаком "-", наприклад:

100 ПФ, +15%, -20%.

Точки контролю. Безпосередній доступ до елементів ЗПП, що перевіряється, здійснюється через точки контролю, пронумеровані від 0 до 759.

Номери точок контролю в операторах задаються у вигляді цілих чисел, що мають в своєму складі до трьох цифр. Звичайно весь запис номерів контрольних точок береться в круглі дужки. Всередині запису ці номери розділяються комою.

Для того, щоб задати послідовність номерів контрольних точок, досить вказати номери першої і останньої точок послідовності, розділені знаком "+". Щоб виключити які-небудь точки із заданої послідовності, досить навести їх зі знаком "-" перед номером.

Приклад задання точок контролю: (35, 723, 102+117, -110, -115, 512+514).

У цьому випадку програмуються такі точки контролю:

35, 723, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 512, 513, 514.

Затримка. Для проведення деяких вимірювань необхідна затримка, що задається користувачем.

Затримка задається у вигляді цілого числа, що не перевищує величини 32767, і вимірюється в мілісекундах.

Якщо в операторі використовується стандартна для СТ-13 затримка, то число опускається.

Опис інших складових частин контрольно-вимірювальних операторів наведено нижче.

Оператор РЕЗ призначений для вимірювання опору на змінному струмі.

Формат оператора:

<N> <РЕЗ> <ідентифікатор> <схема заміщення> <допускові межі> <точки контролю і схема вимірювання> <частота> <рівень сигналу> <затримка> ,

де <N> - номер оператора;

<РЕЗ> - ім'я оператора;

<ідентифікатор> - найменування радіоелемента (РЕ);

<схема заміщення>, яка задається або у вигляді букви П, взятої в квадратні дужки, якщо використовується послідовна схема заміщення, або опускається, якщо застосовується паралельна схема заміщення;

<допускові межі> - одиниці вимірювання: Ом, кОм, МОм;

<точки контролю і схема заміщення> - перші дві точки контролю, які задаються через кому, що підмикаються до виходів "А" і "В" відповідно, за ними через кому - схема вимірювання, що задається буквами Д, Т, Ч або Ш;

<частота>, яка задається цифрами 1, 2, 3, що відповідають 10; 100; 0.1 кГц; для задання 1 кГц цифра не вказується;

<рівень сигналу>, який або задається цифрою 1 і відповідає рівню 0.5 В, або не вказується і відповідає рівню 0.1 В;

<затримка> - час затримки виконання оператора.

Приклад: 350 РЕЗ 'R2' 99 Ом, 102 Ом (602,623).

У цьому випадку вимірюється опір R2, схема заміщення паралельна, допускові - межі від 99 до 102 Ом, використовуються точки контролю 602 і 623, схема вимірювання двозатискна, частота - 1 кГц, рівень сигналу - 0.1 В, затримку не вказано.

Приклад: 780 РЕЗ 'R32'[n] 10 Ом, 3% (24,72, Ш, 98+102,-100), 50.

За допомогою цього оператора вимірюється опір R32, схема заміщення - послідовна, номінал - 10 Ом, допуск - $\pm 3\%$, використовуються точки контролю 24, 72, 98, 99, 101 і 102, 424, 472, 498, 499, 501, 502, схема вимірювання - шестизатискна, частота - 1 кГц, рівень сигналу - 0.1 В, затримка, задана користувачем, - 50 мс.

Контроль діодів. Функціональні схеми контролю діодів у відкритому і закритому станах наведено в 1.404.049 ТЕ. Формат оператора ДІОД, що забезпечує контроль діодів, описано в 1.404.049 ТМ. При використанні оператора потрібно додержувати полярність ввімкнення діода, що контролюється, в схему вимірювання,

для чого анод має бути підімкнений до виходу А, а катод - до виходу В системи. За необхідності в операторі можна вказати номери ТК, підімкнення яких до виходу З системи дозволить зменшити вплив шунтуючих РЕ схеми.

Оператор ДИОД призначений для вимірювання параметрів діодів. Формат оператора:

<N> <ДИОД> <ідентифікатор> <допускові межі> <ввімкнення>
<точки контролю> <програмований резистор > <затримка>,
де <допускові межі> задаються або буквою К, якщо діод кремнієвий, або буквою Г, якщо - германієвий;

<ввімкнення>, що задається або буквою О, якщо діод перевіряється у відкритому стані, або буквою З, якщо - в закритому; задана буква відокремлюється від попередніх даних комою.

Приклади:

4220 ДИОД ' Д 1 ' К, О (265, 270)

4225 ДИОД ' Д 1 ' К, З (265, 270)

При використанні стандартних умов вимірювання напруги, що контролюється, анод-катод як у відкритому, так і в закритому станах порівнюється зі значеннями, наведеними в табл. 6.3.

Ці стандартні умови вимірювання можуть бути застосовані для більшості типів діодів.

Для проведення вимірювань потрібно заздалегідь запрограмувати джерело живлення Б6-8/1 (ИПП5) на видачу необхідної напруги.

Т а б л и ц я 6.3

Значення меж напруг діода

Ввімкнення	Нижня межа, В	Верхня межа, В
Відкритий	0,4	0,8
Закритий	2	5

Оператор НАПР призначений для вимірювання напружень.

Формат оператора:

<N> <НАПР> <ідентифікатор> <знак очікуваного результату>
<допускові межі> <точки контролю> <фільтр> <затримка>,

де <знак очікуваного результату> задається або у вигляді букви П, взятої в квадратні дужки, якщо очікується позитивний результат, або пропускається, якщо очікується негативний результат;

<допускові межі>, одиниці вимірювання В;

<точки контролю>;

<фільтр>.

Приклади: 583 НАПР 'U1' (П) 5 В, 20 % (222, 242)

585 НАПР 'U2' 0,5 В, 0,7 В, (244, 246), 50

При нестандартних умовах вимірювання оператор ДИОД дозволяє записати необхідні допускові межі, відмінні від наведених в табл. 3.2, індивідуально для кожного конкретного випадку. Так, при ввімкненні діодів назустріч один одному (рис. 6.11) їх можна перевірити за допомогою двох операторів ДИОД, але при нестандартних умовах вимірювання.

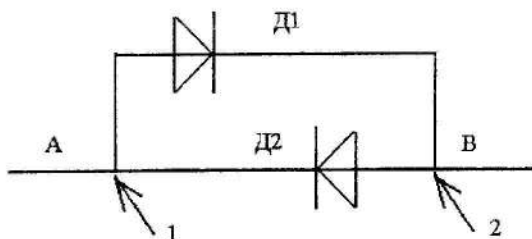


Рис. 6.11. Зустрічне ввімкнення діодів

Приклад програми:

```
1 ПРОГ '00000000K0'  
20 ИПП <5> 2^5 В^ 10 МА, 5%  
30 ДИОД 'D2-0' К, 0 (1,2)  
50 ДИОД 'D1-0' К, 0 (2,1)  
60 СБУН  
9999 КОНЕЦ
```

Якщо обидва діоди справні, то при зміні полярності один з діодів відповідає відкритому стану, другий - закритому, не впливаючи на результат контролю відкритого діода. Тому в ідентифікаторі потрібно

вказувати діод, який при заданій полярності напруги повинен знаходитися у відкритому стані.

Контроль біполярних транзисторів. Функціональні схеми контролю біполярних транзисторів наведено в 1.404.049 ТЕ. Формат оператора ТРАН, що забезпечує контроль біполярних транзисторів, описано в 1.404.049 ТМ. При записі оператора необхідно додержувати полярність ввімкнення транзистора, що контролюється, в схему вимірювання. Для цього колектор має бути підімкнений до виходу А, база - до виходу В, емітер - до виходу З системи. Крім того, з виходом З можуть бути з'єднані інші точки контролю, підімкнення яких до корпусу системи дозволяє зменшити вплив шунтуючих РЕ схеми.

Оператор ТРАН призначений для вимірювання параметрів біполярних транзисторів.

Формат оператора:

<N> <ТРАН> <ідентифікатор> <допускові межі>
<тип транзистора> <ввімкнення> <точки контролю>
<резистор> <програмована затримка>

де <тип транзистора> задається або буквою N, якщо транзистор - типу $n-p-n$, або буквою P, якщо транзистор - типу $p-n-p$; задана буква відокремлюється від попередніх даних комою. З інших даних необхідно задавати принаймні три точки контролю.

Приклади: 3746 ТРАН 'Т34' Г, ПРО (759, 741, 513)
3749 ТРАН 'Т34' Г, З (759, 741, 513)

При використанні стандартних умов вимірювання напруги переходу, що контролюється, "колектор-емітер" як у відкритому, так і в закритому станах порівнюється зі значеннями, наведеними в табл. 6.4.

Таблиця 6.4

Значення меж напруг транзистора

Ввімкнення	Нижня межа, В	Верхня межа, В
Відкритий	0,8	1,4
Закритий	3	5

Ці стандартні умови вимірювання можуть бути застосовані для контролю більшості типів транзисторів.

Для проведення контролю треба заздалегідь запрограмувати джерела живлення Б6-8/1 (ИПП5) і Б6-8/2 (ИПП6) на видачу позитивної напруги для *n-p-n* транзисторів і негативної напруги для *p-n-p* транзисторів.

Якщо контроль біполярних транзисторів проводиться при стандартних умовах вимірювання, то ИПП6 треба запрограмувати на видачу напруги в інтервалі від 2 до 5 В за умови, що ця напруга не призведе до виходу з ладу інших елементів схеми. ИПП6 разом з обмежувальним резистором, що дорівнює 240 Ом, задає струм колектора транзистора, що контролюється. Виходячи з мінімальної напруги транзистора задається струм бази, необхідний для насичення транзистора при заданому струмі колектора.

При цьому, програмуючи ИПП5, треба враховувати, що в стандартних умовах вимірювання програмований резистор дорівнює 100 Ом. Для перевірки транзисторів з великою величиною напруги "колектор-емітер" у відкритому стані можуть бути потрібні збільшення живильної напруги (ИПП6) і відповідне розширення меж напруг, що вимірюються, а також збільшення струму бази за рахунок підвищення напруги джерела ИПП5. У цьому випадку необхідно враховувати вимоги стосовно вибору програмованого резистора і струму обмеження ИПП5.

В окремих випадках, коли транзистор не може бути проконтрольований як ізольований РЕ, доцільно перевірити зв'язану групу РЕ на функціонування, причому частина РЕ з цієї групи може бути перевірена заздалегідь. РЕ, які можуть вплинути на контроль транзистора, можуть бути ізольовані шляхом підімкнення необхідних ланцюгів до виходу С. Так, наприклад, для перевірки транзистора Т27 (рис. 6.12) до виходу 3 додатково підімкнено канал 170.

Приклад програми:

```
1 ПРОГ '00000000Т0'  
55 ИПП <5> 3 В, 100 мА, 5%  
60 ИПП <6> 3 В, 100 мА, 5%
```

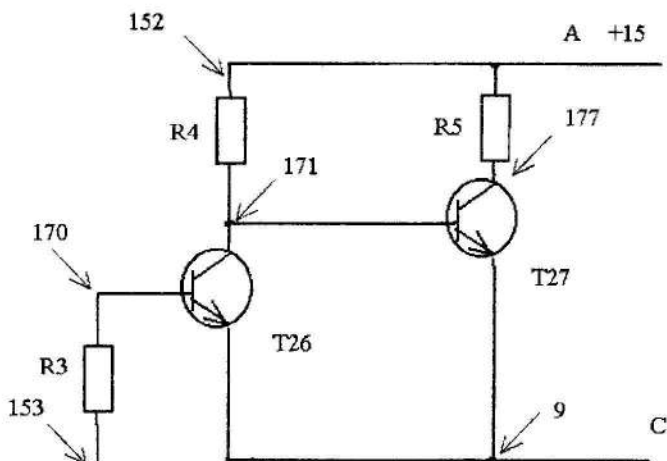


Рис. 6.12. Точки контролю транзисторів

65 ТРАН 'Т27+' К, N, 0 (177, 171, 9, 170)

70 ТРАН 'Т27-' К, N, 3 (177, 171, 9, 170)

75 ТРАН 'Т26+' К, N, 0 (171, 170, 9)

80 СБУН

90 ИПП <3> 15 В, 100 мА, 10%

100 ВУСТ КМ <9> 1

105 НАПР 'Т26-' ОВ, 0,8 В (177, 9, 170)

110 ВУСТ КМ <9> 0

115 СБУН

120 ЖДИ 150

9999 КОНЕЦ

Проконтролювати транзистор Т26 в закритому стані як ізольований РЕ неможливо, оскільки він шунтований переходом "база-емітер" Т27, тому зручно виміряти напруги на колекторі Т27 (див. оператори 90 - 115 в наведеному вище прикладі), з'єднати базу Т26 з шиною "Корпус" ЗПП. Для цього за допомогою оператора 105 УСТ

КМ<8>3 вихід 3 системи з'єднується з корпусом системи, а в операторі НАПР вказується канал 170, який підмикається до виходу 3.

ВИСНОВКИ

Викладені в даному посібнику загальні питання побудови ІВС промислового призначення певною мірою орієнтовані на використання сучасних комп'ютерних систем.

Алгоритмічне забезпечення мікропроцесорних і комп'ютерних ІВС дозволяє реалізувати такі сучасні напрямки, як синтез цифрових методів подання інформації в реальному масштабі часу; розвиток адаптивних методів обробки інформації; впровадження методів ідентифікації нелінійних параметрів об'єкта з багатоекстремальною поверхнею відклику.

Треба відзначити перспективність підходу, який дає підставу для подальшого переходу на комп'ютерні віртуальні прилади вимірювання. Наведені цифрові методи переробки інформації - диференціальні методи подання даних, методи ідентифікації та ін. - можуть бути інтегровані у віртуальні прилади шляхом об'єктно-орієнтованого програмування.

Таким чином, можна вказати на такі перспективні напрямки, як побудова комп'ютерних ІВС промислового призначення, що використовують стандартні інтерфейси; подальший розвиток ІВС на базі віртуальних приладів; розробка загальних принципів інтеграції ІВС за допомогою об'єктно-орієнтованого програмування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Новоселов О.Н., Фомин А.Ф. Основы теории и расчета информационно-измерительных систем. - М.: Машиностроение, 1991. – 336 с.
2. Цапенко М.П. Измерительные информационные системы. - М.: Энергоатомиздат, 1985. – 439 с.
3. Пиотровский Я. Теория измерений для инженеров / Пер. с польск.- М.: Мир, 1989. – 335 с.
4. Новицкий П.В. Основы информационной теории измерений. - Л.: Энергия, 1968. – 248 с.
5. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. - М.: ИЛ, 1963. – 201 с.
6. Гуляев А.И. Временные ряды в ДБД. - М.: Радио и связь, 1989. – 128 с.
7. Al-Zobadie A., Grimson J.B. Expert Systems and Database Systems: How Can They Serve Each Others // EXPERT SYSTEMS, February, 1987. - Vol. 9, N1. - P. 30-37.
8. Матрюков Д. Алгоритмы сжатия информации: В 10 ч. Ч.6. Сжатие звуковой информации // Монитор, 1994. - N5. – С. 22-26.
9. Ziv J., Lempel A. Compression of Individual Sequences via Variable Rate Coding // IEEE TRANSACTION ON INFORMATION THEORY, 1978. - Vol. 23, N3. – P. 213–232.
10. Слейтер Ч. Сжатие данных // Мир ПК, 1991. - N2. - С. 46-51.
11. Спилкер Д. Цифровая спутниковая связь. - М.: Связь, 1978. – 592 с.
12. Стил Р. Принципы дельта-модуляции. - М.: Связь, 1979. – 368 с.
13. Федоров В.В. Теория оптимальных экспериментов (при выяснении механизма явлений). - М.: Наука, 1969. – 392 с.
14. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К.Хартман, Э.Лецкий, В.Шефер и др.; Пер. с нем; Под ред. Э.К. Лецкого. - М.: Мир, 1977. - 552 с.
15. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. - М.: Наука, 1965. - 340 с.
16. Кошевой Н.Д., Тупало В.Г., Спольник Н.С. Автоматизация обработки экспериментальной информации для построения полиномиальных

- моделей технологических процессов на ЕС ЭВМ // Автоматизированные системы управления. - Харьков, 1979. - Вып. 2. - С. 118-119.
17. Кошевой Н.Д. Процедура итерационного планирования эксперимента // Автоматизированные системы управления. - Харьков, 1984. - Вып. 5. - С. 107-114.
 18. Тупало В.Г., Кошевой Н.Д., Грецов В.Л. Синтез математических моделей на основе итерационного планирования эксперимента // Математические методы анализа динамических систем. - Харьков, 1978. - Вып. 2. - С. 122-127.
 19. Кошевой Н.Д. Пакет прикладных программ по автоматизации планирования эксперимента // Подготовка специалистов к работе в условиях открытых информационных и компьютерных интегрированных технологий: Тр. междунар. науч.-метод. конф. - Харьков, 1996. - С. 126.
 20. Горский В.Г., Адлер Ю.П., Талалай А.М. Планирование промышленных экспериментов (модели динамики). - М.: Металлургия, 1978. - 112 с.
 21. Кошевой Н.Д. Идентификация динамических объектов на основе планирования эксперимента. - М., 1980. / Деп. в изданиях ЦНТИ <ПОИСК>, № 035-2507. - 13 с.
 22. Зедгинидзе И.Г., Лобжанидзе Ш.С. К вопросу математического описания кинетики технологических процессов методами планирования эксперимента // Тр. XV науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава и научных работников проблемных и отраслевых лабораторий / Груз. политехн. ин-т им В.И. Ленина. - Тбилиси, 1970. - Вып.17. - С. 46-50.
 23. Игнатов В.А. Теория информации и передачи сигналов: Учебник для вузов. - М.: Сов. радио, 1979. - 280 с.
 24. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий (программное введение в планирование эксперимента). - М.: Наука, 1971. - 283 с.
 25. Налимов В.В. Планирование эксперимента - взгляд в будущее // Планирование и автоматизация эксперимента в научных исследованиях: Материалы конф. - М., 1974. - С. 18-32.
 26. Автоматизация научных исследований / Под ред. Г.К. Круга // Тр. Моск. энерг. ин-та. - М., 1979. - Вып. 399. - 100 с.

27. Сахаров Ю.С., Старовойтова Е.М. Анализ условий эффективного применения регулярных дробных реплик при исследовании радиоэлектронных устройств // Применение планирования эксперимента в радиоэлектронике и смежных областях техники: Материалы семинара. - М., 1975. - С. 13-19.
28. Филаретов Г.Ф. Необходимое условие разрешимости задачи построения планов дробного факторного эксперимента // Планирование и автоматизация эксперимента в научных исследованиях: Материалы конф. - М., 1974. - С. 72-80.
29. Рузинов Л.П., Слободчикова Р.И. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. - М.: Химия, 1980. - 280 с.
30. Основы системного анализа и проектирования АСУ / А.А. Павлов, С.Н. Гриша, В.Н. Томашевский и др.; Под общ. ред. А.А. Павлова. - К.: Вища. шк., 1991. - 367 с.
31. Шеффе Г. Дисперсионный анализ. - М.: Наука, 1980. - 511 с.
32. Кендалл М.Дж., Стюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. - М.: Наука, 1976. - 736 с.
33. Брандт З. Статистические методы анализа наблюдений. - М.: Мир, 1975. - 310 с.
34. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. - М.: Наука, 1979. - 496 с.
35. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами /Пер. с англ. - М.: Мир, 1973. - 957 с.
36. Михайлов А.Г. Синтез алгоритма целенаправленного поиска шагов итерационной процедуры планирования эксперимента методом статистического моделирования. - К., 1994 / Деп. в ГНТБ Украины 17.10.94, № 2070-УК94. - 25 с.
37. Михайлов А.Г. Проектирование компьютерных информационно-измерительных систем производственного назначения: Учеб. пособие. - Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1997. - 52 с.
38. Куликовский Л.Ф., Мотов В.В. Теоретические основы информационных процессов: Учеб. пособие. - М.: Высш. шк., 1987. - 248 с.
39. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя / Пер с англ. - М.: Наука, 1991. - 431 с.
40. Любарский Ю.Я. Интеллектуальные информационные системы. - М.: Наука, 1990. - 232 с.
41. Миловзоров В.П. Элементы информационных систем: Учеб. пособие. - М.: Высш. шк., 1989. - 440 с.

42. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений / Пер. с нем. - М.: Мир, 1990. – 208 с.
43. Краус М. Кучбах О., Вошни Э. Сбор данных в управляющих вычислительных системах / Пер. с нем. - М.: Мир, 1987. – 296 с.
44. Свириденко С.С. Современные информационные технологии. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.
45. Бессонов А.А., Загашвили Ю.В. Методы и средства идентификации динамических объектов. - М.: Энергоатомиздат, 1989. – 280 с.
46. Ложе И. Информационные системы. Методы и средства / Пер. с франц. - М.: Мир, 1979. – 484 с.
47. Харт Х. Введение в измерительную технику / Пер. с нем. - М.: Мир, 1999. – 391 с.
48. Цыпкин Я.З. Информационная теория идентификации. - М.: Наука, 1995. – 352 с.
49. Капиев Р.Э. Измерительно-вычислительные комплексы.- Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 176 с.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ.....	5
1.1. Структура комп'ютерних інформаційно-вимірювальних систем	6
1.2. Класифікація вимірювань	8
1.2.1. Методи вимірювання.....	10
1.3. Обчислення основних характеристик передачі інформації.....	14
2. ЦИФРОВЕ ПОДАННЯ ІНФОРМАЦІЇ АНАЛОГОВИХ ПАРАМЕТРІВ.....	17
2.1. Подання аналогових параметрів вибіркковими значеннями.....	17
2.2. Динамічне подання даних.....	20
2.3. Відновлення інформаційних повідомлень за відліками поліномом Лагранжа.....	21
2.4. Оптимальність обробки сигналів ІВС.....	23
2.5. Алгоритм максимізації апостеріорної ймовірності.....	25
2.6. Рекурентні алгоритми квазіоптимальної лінійної та нелінійної фільтрації.....	27
3. РІЗНИЦЕВІ МЕТОДИ ПОДАННЯ ДАНИХ У ЦИФРОВИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ.....	30
3.1. Основні показники різницевого подання.....	30
3.2. Практичні алгоритми різницевого подання першого і другого порядків.....	31
3.3. Адаптивне подання даних.....	37
4. ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНИМИ СИСТЕМАМИ.....	40
4.1. Методи ідентифікації статичних і динамічних об'єктів на основі планування експерименту.....	41
4.1.1. Метод ітераційного планування(ІП) експерименту.....	42
4.1.2. Ідентифікація динамічних об'єктів на основі ітераційного планування експерименту.....	46

4.1.3. Розробка алгоритму цілеспрямованого пошуку плану дробового факторного експерименту для побудови працездатної математичної моделі об'єкта.....	50
4.2. Оцінка ефективності вимірювань.....	54
4.3. Послідовне планування експериментів.....	60
4.4. Ідентифікація об'єктів з нелінійними параметрами.....	64
5. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ.....	70
5.1. Побудова систем вимірювання, основаних на знаннях.....	70
5.2. Синтез алгоритмів роботи інтелектуальних систем.....	73
5.3. Організація дворівневих інформаційно-вимірювальних систем.....	77
6. ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАСОБІВ ІВС.....	83
6.1. Вимірювальні пристрої.....	83
6.2. Цифрові вимірювальні пристрої.....	83
6.2.1. Еволюція цифрових вимірювальних пристроїв.....	86
6.2.2. Віртуальні прилади та вимірювальні програмно-апаратні системи.....	89
6.3. Засоби вимірювання фізичних параметрів.....	97
6.3.1. Організація збирання вимірювальної інформації при вимірюванні змісту вуглеця.....	97
6.3.2. Засоби вимірювання струму і напруги.....	98
6.3.3. Лабораторна термометрична система.....	101
6.4. Вимірювально-технологічна система СТ-1013.....	104
Висновки.....	117
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	118

Навчальне видання

МИКОЛА ДМИТРОВИЧ КОШОВИЙ
АНДРІЙ ГЕОРГІЙОВИЧ МИХАЙЛОВ

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ
ПРОМИСЛОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Редактор Л.О. Кузьменко
Коректори: А.М. Ємленінова, О.Ф. Сержкіна

Зв. план, 2001

Підписано до друку 10.12.2001

Формат 60 x 84 1/16. Папір. офс. №2. Офс. друк.

Ум.-друк.арк. 6,8. Обл.-вид.арк. 7,73. Т. 500 прим. Замовлення 489.

Ціна вільна

Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
Видавничий центр "ХАІ"
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17