

Г.І. Манко, О.В. Лещенко

Основи комп'ютерно- інтегрованого управління



Дніпропетровськ 2015

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Український державний хіміко-технологічний університет»

Г.І. Манко, О.В. Лещенко

**Основи
комп'ютерно-інтегрованого
управління**

Дніпропетровськ 2014

УДК 004.9:681.51(075)
ББК 32.965
М23

Рецензенти: Володарський С.Т., д.т.н., проф. «КПШ»
Міщеряков Л.І., д.т.н., проф. Національний гірничий університет
Блонський С.Д., к.т.н., ДВНЗ УДХТУ

Гриф наданий Міністерством освіти і науки України,
лист №1/11-5581 від 18.03.2013р.

М23 Основи комп'ютерно-інтегрованого управління – Дніпропетровськ: ДВНЗ
УДХТУ, 2014. – 228 с.

ISBN 978-6917-7068-15-9

Надані теоретичні основи комп'ютерно-інтегрованого управління: характеристики і методи обробки сигналів, класифікація і аналіз характеристик комп'ютерно-інтегрованих систем. Розглянуті методи побудови ієрархічно-розподілених АСУ. Викладені принципи функціонування комп'ютерно-інтегрованих систем управління. Описані програмні засоби комп'ютерно-інтегрованих систем. Наведені підходи до створення комп'ютерно-інтегрованих виробництв.

Для студентів напряму підготовки 6.050202 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

УДК 004.9:681.51(075)
ББК 32.965

ISBN 978-6917-7068-15-9

© Манко Г.І., Лещенко О.В., 2014

ЗМІСТ

Зміст	3
Вступ	7
1 Поняття комп'ютерно-інтегрованого управління.....	9
1.1 Основні терміни та визначення	9
1.2 Контрольні тестові питання до розділу 1	15
2 Теоретичні основи комп'ютерно-інтегрованого управління.....	17
2.1 Сигнали	17
2.1.1 Поняття сигналу.....	17
2.1.2 Математичні моделі сигналів	22
2.1.3 Фільтрація сигналів	26
2.1.4 Квантування сигналів	31
2.1.5 Дискретизація сигналів	35
2.1.6 Кодування сигналів	39
2.1.7 Модуляція сигналів	43
2.2 Загальні поняття теорії інформації	48
2.2.1 Структура інформаційного каналу	48
2.2.2 Поняття кількості інформації	50
2.2.3 Властивості ентропії Шеннона.....	52
2.2.4 Ентропія неперервного сигналу	54
2.2.5 Методи визначення кількості інформації	57
2.2.6 Пропускна спроможність каналу передачі	58
2.3 Ефективність комп'ютерно-інтегрованих систем.....	60
2.4 Контрольні тестові питання до розділу 2.....	65
3 Вступ у технологію розподілених інформаційних мереж.....	68
3.1 Визначення розподіленої інформаційної системи	68
3.2 Технології оброблення інформації в розподілених системах	69
3.3 Еталонна модель взаємодії відкритих систем	70
3.4 Основні компоненти розподілених інформаційних систем	73

3.4.1 Устаткування розподілених інформаційних систем	73
3.4.2 Типи і характеристики передавальних середовищ	74
3.4.3 Методи передачі даних на фізичному рівні	84
3.5 Інформаційні мережі	85
3.5.1 Типи інформаційних мереж	85
3.5.2 Технічна організація мереж	87
3.5.3 Технологія клієнт-сервер	93
3.5.4 Розгалужені мережеві топології	94
3.6 Інтерфейси і протоколи	96
3.6.1 Загальна характеристика інтерфейсів та протоколів нижнього рівня	96
3.6.2 Інтерфейс RS-485	98
3.6.3 HART-протокол	100
3.6.4 Інтерфейс USB	103
3.7 Мережі та вузли нижніх рівнів АСУ ТП	105
3.7.1 Локальна мережа Ethernet	105
3.7.2 Локальна мережа Token Ring	108
3.7.3 Локальні радіомережі	109
3.7.4 Польові шини	110
3.7.5 Вибір типу мережі	117
3.7.6 Вузли нижніх рівнів АСУ ТП	120
3.8 Мережі та вузли верхніх рівнів АСУ ТП	126
3.9 Корпоративні обчислювальні мережі, Інтранет	131
3.9.1 Глобальні мережі. Призначення і послуги глобальних мереж	131
3.9.2 Технології транспортування даних у глобальних мережах	132
3.9.3 Мережа Інтернет	135
3.9.4 Intranet	139
3.9.5 Використання Інтернет у КІСУ	141
3.10 Контрольні тестові питання до розділу 3	145
4 Побудова ієрархічно-розподілених АСУ	149

4.1 Загальні структура комп'ютерно-інтегрованої системи	149
4.2 Класифікація і аналіз характеристик комп'ютерно-інтегрованих систем	153
4.3 Технічні аспекти використання сигналів у КІСУ	156
4.3.1 Типи сигналів, що використовуються в КІСУ	156
4.3.2 Підключення датчиків 4–20 мА до контролера	163
4.3.3 Гальванічний розв'язок сигналів	165
4.4 Традиційна диспетчеризація і системи SCADA	172
4.5 Контрольні тестові питання до розділу 4	175
5 Принципи функціонування комп'ютерно-інтегрованих систем управління (КІСУ)	178
5.1 Функції та режими роботи КІСУ	178
5.1.1 Основні терміни та визначення	178
5.1.2 Режими роботи автоматизованих систем	180
5.2 Функція збирання та первинної обробки інформації	183
5.2.1 Загальні відомості	183
5.2.2 Загальний алгоритм функціонування контролера	187
5.2.3 Алгоритм запису у внутрішній масив даних уведених значень вхідних дискретних сигналів	188
5.2.4 Алгоритми контролю вірогідності введених аналогових сигналів	190
5.2.5 Алгоритм нормалізації і фільтрації введеного аналогового сигналу	192
5.3 Функція обчислення невимірюваних величин та узагальнених показників процесу	195
5.4 Вироблення керуючих впливів	198
5.5 Діагностика стану комплексу технічних засобів КІСУ	202
5.6 Методи підвищення надійності функціонування КІСУ	207
5.7 Контрольні тестові питання до розділу 5	213
6 Програмування засобів комп'ютерно-інтегрованих систем	217

6.1 Програмні засоби нижнього рівня КІСУ	217
6.1.1 Види програмного забезпечення	217
6.1.2 Програмування ПЛК	218
6.1.3 Програмні продукти, призначені для програмування контролерів	224
6.1.4 Операційні системи реального часу	228
6.2 Програмні засоби верхнього рівня КІСУ	231
6.2.1 Технологія OPC.....	231
6.2.2 Програмний продукт “КОНТУР OPC сервер II”	234
6.2.3 SCADA-системи.....	240
6.2.4 SCADA-система ТРЕЙС МОУД	244
6.2.5 Приклад побудови КІСУ на базі ТРЕЙС МОУД	249
6.3 Програмні засоби обчислювальних мереж	250
6.3.1 Види програмного забезпечення мереж.....	250
6.3.2 Функції і характеристики мережевих операційних систем.....	252
6.4 Програмні засоби робочих станцій АСУ ТП	254
6.5 Методи підвищення програмної надійності КІСУ	258
6.6 Контрольні тестові питання до розділу 6	259
7 Комп’ютерно-інтегровані виробництва	263
7.1 Загальні принципи побудови комп’ютерно-інтегрованого виробництва.....	263
7.2 Інтеграція АСУ.....	267
7.3 Технології диспетчеризації у виробничих системах.....	272
7.4 Системи автоматизації виробничих потоків.....	278
7.5 Електронно-цифрове виробництво	283
7.6 Контрольні тестові питання до розділу 7	287
8 Глосарій	291
Література.....	298
Предметний вказівник.....	301

ВСТУП

Ефективне управління сучасним підприємством неможливе без застосування нових інформаційних технологій. Формування автоматизованої системи управління на базі сучасних технологій може забезпечити взаємозв'язок інформаційних потоків, засобів обробки даних, передачі та зберігання інформації і менеджерів, що ухвалюють управлінські рішення.

Інтеграція операцій управління в єдине ціле здійснюється комп'ютеризованими інформаційними системами. Комп'ютерно-інтегроване управління і виробництво використовують розподіл інформаційних потоків так, що підприємство стає сукупністю взаємодіючих і керованих гнучких систем.

Навчальний посібник призначений для використання студентами напряму підготовки 6.050202 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології під час вивчення курсу "Основи комп'ютерно-інтегрованого управління" і має за мету дати їм основи знань, що необхідні для вирішення виробничих завдань, пов'язаних з проектуванням і обслуговуванням сучасних автоматизованих систем керування. Користуючись посібником, студент має одержати інформацію :

- 1) про теоретичні основи комп'ютерно-інтегрованого управління;
- 2) про побудову комп'ютерно-інтегрованих систем управління;
- 3) про технологію розподілених інформаційних мереж;
- 4) про принципи функціонування комп'ютерно-інтегрованих систем управління (КІСУ);
- 5) про програмування засобів комп'ютерно-інтегрованих систем управління;
- 6) про сучасні комп'ютерно-інтегровані виробництва.

Опанувавши курс, студенти будуть знати принципи побудови, властивості, характеристики сучасних автоматизованих систем керування, вміти вибирати засоби та методи комп'ютеризації управління, мережевого

зв'язку, будувати технічну структуру комп'ютерно-інтегрованих систем управління. Отриманні знання будуть використанні у ході курсового та дипломного проектування.

Для ряду використовуваних термінів дається їх тлумачення у глосарії (розділ 8).

1 ПОНЯТТЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОГО УПРАВЛІННЯ

1.1 Основні терміни та визначення

Почнемо з визначень, необхідних для розуміння подальших відомостей.

Інформація – відомості про навколишній світ (об'єкти, явища, події, процеси і т.п.), що зменшують наявний ступінь невизначеності, неповноти знань, відчужені від їхнього творця і такі, що стали повідомленнями. Ці відомості є вираженими визначеною мовою у вигляді знаків, у тому числі і записані на матеріальному носії. Їх можна відтворювати шляхом передачі людьми усним, письмовим чи іншим способом.

Інформаційна технологія (ІТ) – система методів і способів збирання, передачі, накопичення, обробки, збереження, представлення і використання інформації. ІТ дозволяє на основі первинної інформації, отриманої в результаті операцій збирання, обробки та передачі інформації, отримати інформаційний продукт, що є інформацією нової якості про стан об'єкта дослідження або керування.

Технічними засобами ІТ виступають апаратне, програмне та математичне забезпечення інформаційної системи.

Інформаційна система (ІС) – інформаційний контур, створений засобами збирання, передачі, обробки і збереження інформації, а також персоналом, що здійснює ці дії. ІС є середовищем, складовими елементами якого є комп'ютери, комп'ютерні мережі, програмні продукти, бази даних, засоби зв'язку, засоби введення-виведення інформації та люди, що обслуговують ці засоби або користуються результатами їхньої роботи.

Призначення інформаційних систем, що використовуються в технологічних системах – це виробництво інформації для забезпечення ефективного керування всіма їхніми ресурсами, створення інформаційного і технологічного середовища для здійснення керування технологічною системою.

Інформаційна система управління підприємством (ІСУП) – це операційне середовище, що здатне надати менеджерам і фахівцям актуальну і достовірну інформацію про всі бізнес-процеси підприємства, необхідну для планування операцій, їхнього виконання, реєстрації й аналізу. Іншими словами, ІСУП - це система, що несе в собі опис повного ринкового циклу - від планування бізнесу до аналізу результатів діяльності підприємства.

Звичайно в системах керування виділяють три рівні: стратегічний, тактичний і оперативний. На кожному з цих рівнів керування є свої задачі, при вирішенні яких виникає потреба у відповідних даних, одержати ці дані можна шляхом запитів в інформаційну систему. Інформаційні технології дозволяють обробити запити і, використовуючи наявну інформацію, сформулювати відповідь на ці запити. Таким чином, на кожному рівні керування з'являється інформація, що служить основою для прийняття відповідних рішень.

Функціонування ІСУП відбувається у так званому *інтегрованому інформаційному середовищі* (ІІС). ІІС визначається державними стандартами як сукупність розподілених баз даних, які містять відомості про виробу, виробниче середовище, ресурси і процеси підприємства, що забезпечує коректність, актуальність, схоронність і доступність даних тим суб'єктам виробничо-господарської діяльності, що беруть участь у здійсненні життєвого циклу виробу, кому це необхідно і дозволено. Усі відомості (дані) у ІІС зберігаються у вигляді інформаційних об'єктів.

Останнім часом в назві сучасних систем автоматизації все ширше використовується поняття «*Інтегрована АСУ (ІАСУ)*». Найчастіше під ним розуміють систему, яка інтегрує функції АСУТП і АСУ виробництвом (АСУВ), тобто функціонально

$$ІАСУ = АСУТП + АСУВ.$$

Цю формулу можна зобразити в докладніше, розшифрувавши окремі її компоненти:

$$ІАСУ = АСУТП + АСУВ + САПР + АСУЯ,$$

тобто додається система автоматизованого проектування (САПР) і автоматизована система управління якістю (АСУЯ).

Змістовнішим є визначення інтегрованою АСУ як сукупність два і більш взаємозв'язаних АСУ, в якій функціонування однієї з них залежить від функціонування інших так, що цю сукупність можна розглядати як єдину систему.

Структурно інтегрована АСУ складається з двох основних частин: АСУТП і АСУВ. У свою чергу, АСУТП також має дві основні частини: це локальна обчислювальна мережа (ЛОМ) і система управління технологічними процесами (СУТП). Що стосується АСУВ (зараз поширенішим є інше її назва – корпоративна система управління бізнес-процесами КСУБП), то вона у свою чергу, також містить в своєму складі дві частини: корпоративну обчислювальну мережу (КВС), яка об'єднує, як правило, декілька локальних обчислювальних мереж, і систему управління бізнес-процесами (СУБП). КСУБП на відміну від АСУВ вирішує дві проблеми: перша – це об'єднання різноманітних мереж, і друга – створення єдиної системи управління бізнес-процесами.

З появою в системах управління комп'ютерів як основного технічного засобу з'являється новий термін: *комп'ютерний-інтегровані системи управління* (КІСУ). КІСУ – ієрархічно-розподілена система, яка інтегрує функції управління технологічними і організаційно-економічними процесами підприємства і складається з різноманітних обчислювальних пристроїв, об'єднаних в локальні обчислювальні мережі.

Таким чином, під комп'ютерно-інтегрованою системою управління розуміють АСУ, у якій всі операції з інформаційними потоками автоматизовані на основі комп'ютерних технологій і в якій інтеграція окремих операцій керування в єдине ціле здійснюється на основі використання єдиного інформаційного простору.

Комп'ютерно-інтегроване управління передбачає наступні атрибути:

- мережевий зв'язок – для полегшення керування передачею даних між підсистемами;
- розподіленість системи – для запобігання зосередженню аналізу й обробки даних в одному місці;
- відкритість програмного забезпечення – для більш легкого і швидкого доповнення нових прикладних програм КІСУ;
- адаптованість до суміжних систем – для забезпечення можливості використання засобів автоматизованої підтримки прикладних програм інших систем.

Якщо як об'єкт управління виступає технологічний процес, особливо хіміко-технологічний процес, на перший план виходить задача протиаварійного захисту процесу.

Класична система комп'ютерно-інтегрованого управління технологічними процесами (КІСУ ТП) в найзагальнішому вигляді об'єднує в собі два взаємозв'язані компоненти:

- Система Протиаварійного Захисту – ПАЗ;
- Розподілена Система Управління – РСУ.

Сучасні міжнародні стандарти безпечної автоматизації наказують розглядати системи управління і захисту комплексно, цілком, причому одночасно і в найширшому і всесторонньому сенсі – як всеосяжні системи безпеки, і як конкретну систему для конкретного технологічного об'єкту.

Комп'ютерно-інтегроване виробництво (КІВ) - це виробнича система на рівні цеху або підприємства, в якій комплексно автоматизовані як процеси управління на всіх рівнях, так і облік матеріальних цінностей. При цьому матеріальні потоки можуть бути як автоматизовані так і не автоматизовані.

Концепція комп'ютерно-інтегрованого виробництва виникла на початку 80-х років і пов'язана з інтеграцією виробництва і систем керування ним. КІВ з погляду систем керування і планування припускає інтеграцію всіх підсистем системи керування (керування постачанням, проектуванням і підготовкою виробництва; планування і виготовлення; керування виробничими ділянками і

цехами; керування транспортно-складськими системами; керування забезпеченням устаткуванням, інструментом і оснащенням; систем забезпечення якості, збуту, а також фінансових підсистем).

Сукупність усіх систем підготовки і керування утворює *інтегровану систему автоматизації* (ІСА) виробничої діяльності підприємства. На сучасному рівні автоматизації така система обов'язково включає елементи інтелектуалізації і визначається як інтелектуальна інтегрована система (ІС).

Сучасне підприємство у своїй діяльності зв'язано з багатьма іншими підприємствами: суміжниками, виготовлювачами і постачальниками комплектуючих виробів, замовниками й іншими. Узгодження між ними виробничих питань впливає на загальний час виконання замовлення, а його зменшення вимагає в першу чергу автоматизації загальних інформаційних потоків. Така сукупність організаційно самостійних підприємств, інформаційно зв'язаних між собою для виконання визначених замовлень являє собою віртуальне підприємство (ВП).

Методи CALS (Computer-aided Acquisition and Logistics Support - комп'ютерна підтримка процесу постачань і логістики) виникли в 80-х роках у військовому відомстві США для підвищення ефективності керування і планування в процесі замовлення, розробки, організації виробництва, постачань і експлуатації військової техніки. CALS передбачає однократне введення даних, їхнє збереження в стандартних форматах, стандартизацію інтерфейсів і електронний обмін інформацією між всіма організаціями та їхніми підрозділами – учасниками проекту. Методи довели свою ефективність і переносяться в даний час на "цивільні" галузі промисловості. Нова концепція зберегла аббревіатуру CALS з більш широким змістом (Continuous Acquisition and Life circle Support – підтримка безупинного життєвого циклу продукції). Проводиться стандартизація ряду аспектів CALS у міжнародній організації стандартизації ISO. CALS дозволяє керувати всім життєвим циклом продукції, включаючи маркетинг, керування комплексними проектами, обслуговуванням при експлуатації.

Структура типової CALS-системи показана на рис. 1.1.

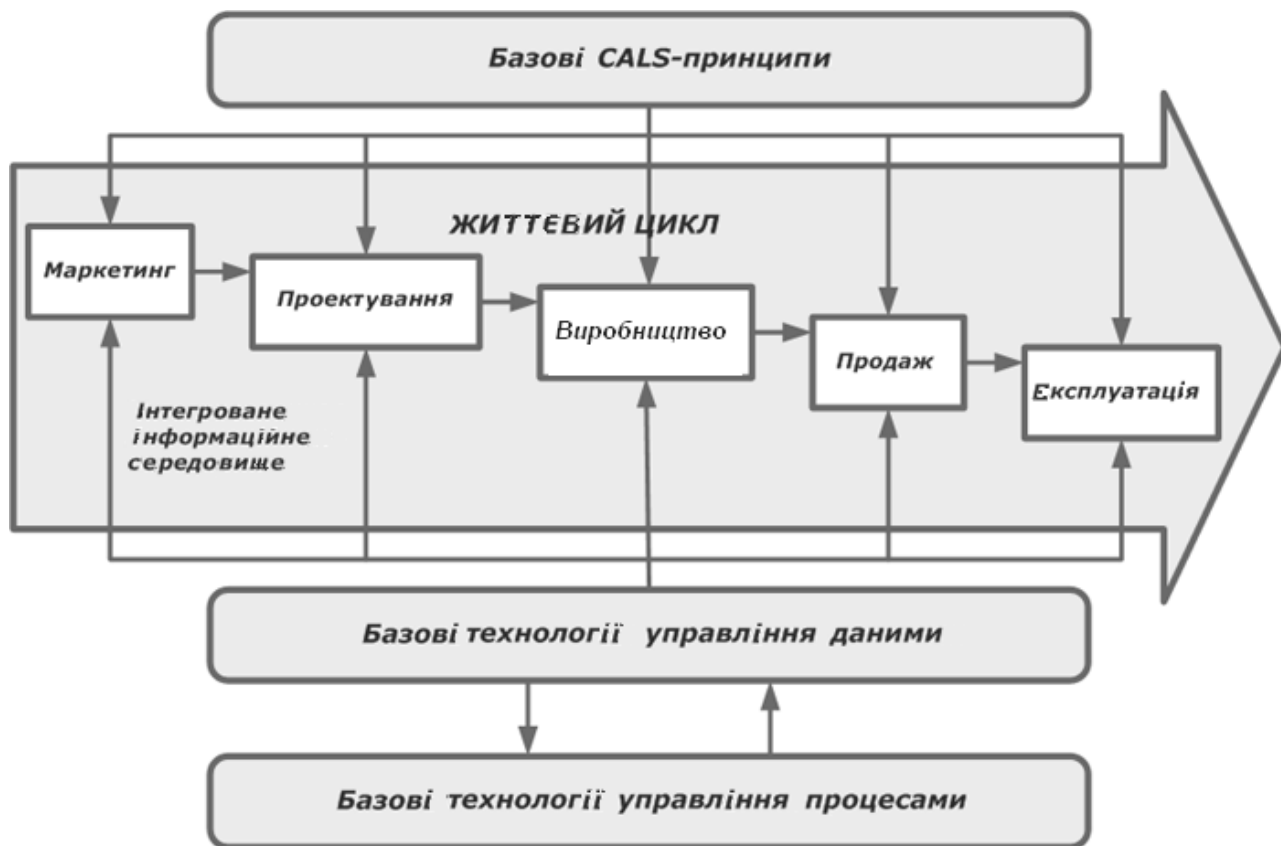


Рис. 1.1 – Структура CALS-системи

Системи ERP (Enterprise Resource Planning) призначені для керування фінансовою і господарською діяльністю підприємств. Це "верхній рівень" в ієрархії систем керування підприємством, що стосується ключових аспектів його виробничої і комерційної діяльності, таких як виробництво, планування, фінанси і бухгалтерія, матеріально-технічне постачання і збут, керування кадрами, керування запасами, ведення замовлень на виготовлення (постачання) продукції і надання послуг. Такі системи створюються для надання керівництву інформації для прийняття управлінських рішень, а також для створення інфраструктури електронного обміну даними підприємства з постачальниками і споживачами.

Контролінг – це інформаційно-аналітична підтримка прийняття рішень у менеджменті. Інформаційні системи керування є комп'ютерною підтримкою

контролінгу. Контролінг, у свою чергу, є основним постачальником інформації для керування підприємством. Головна задача інформаційної підтримки контролінгу – забезпечити керівництво інформацією про поточний стан справ підприємства і спрогнозувати наслідки змін внутрішнього чи зовнішнього середовища. Мета контролінгу – правильна оцінка господарських ситуацій для прийняття вивірених управлінських рішень.

1.2 Контрольні тестові питання до розділу 1

1.2.1 Комп'ютерна підтримка процесу постачань і логістики це:

- система ERP;
- CALS-система;
- контролінг;
- комп'ютерно-інтегроване виробництво;
- система ПАЗ.

1.2.2 Інформаційно-аналітична підтримка прийняття рішень у менеджменті це:

- система ERP;
- CALS-система;
- контролінг;
- комп'ютерно-інтегроване виробництво;
- система ПАЗ.

1.2.3 Виробнича система на рівні цеху або підприємства, в якій комплексно автоматизовані як процеси управління на всіх рівнях, так і облік матеріальних цінностей, це:

- система ERP;
- CALS-система;
- контролінг;
- комп'ютерно-інтегроване виробництво;
- система ПАЗ.

1.2.4 Віртуальне підприємство це:

- підприємство, що створене або діє в мережі Internet;
- сукупність організаційно самостійних підприємств, інформаційно зв'язаних між собою;
- система, створена для надання керівництву достовірної інформації для прийняття управлінських рішень;
- підприємство, у якого комплексно автоматизовані як процеси управління на всіх рівнях, так і облік матеріальних цінностей.

1.2.5 Для комп'ютерно-інтегрованої системи управління не є визначальним:

- підтримка безупинного життєвого циклу продукції;
- мережевий зв'язок;
- розподіленість системи;
- відкритість програмного забезпечення;
- адаптованість до суміжних систем.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОГО УПРАВЛІННЯ

2.1 Сигнали

2.1.1 Поняття сигналу

Сигнал – це матеріальний носій інформації. У відповідності з фізичною природою процесу, що використовується для передачі інформації, сигнали називають струмовими, частотними, фазовими і т.д. Альтернативою сигналу, який несе корисну інформацію, є шум – зазвичай випадкова функція часу, що взаємодіє (наприклад, шляхом складання) з сигналом і спотворює його. Основним завданням є вилучення корисної інформації з сигналу з обов'язковим обліком шуму.

Сигнали представляють у часовій або частотній області.

Часова область зручна при зображенні змін сигналу в часі. Ми усі знаємо, що таке синусоїда. Кожна синусоїда характеризується трьома параметрами: амплітудою, початковою фазою і частотою. Одна синусоїда має одну частоту. Частота - це параметр, що показує як часто сигнал повторює сам себе. Зворотним частоті є період. Він відповідає тривалості, що займає в часі один період періодичного сигналу. На графіках рис. 2.1 показані дві синусоїди з різними частотами і, отже, різними періодами.

СИГНАЛИ у ЧАСОВІЙ та ЧАСТОТНІЙ ОБЛАСТЯХ

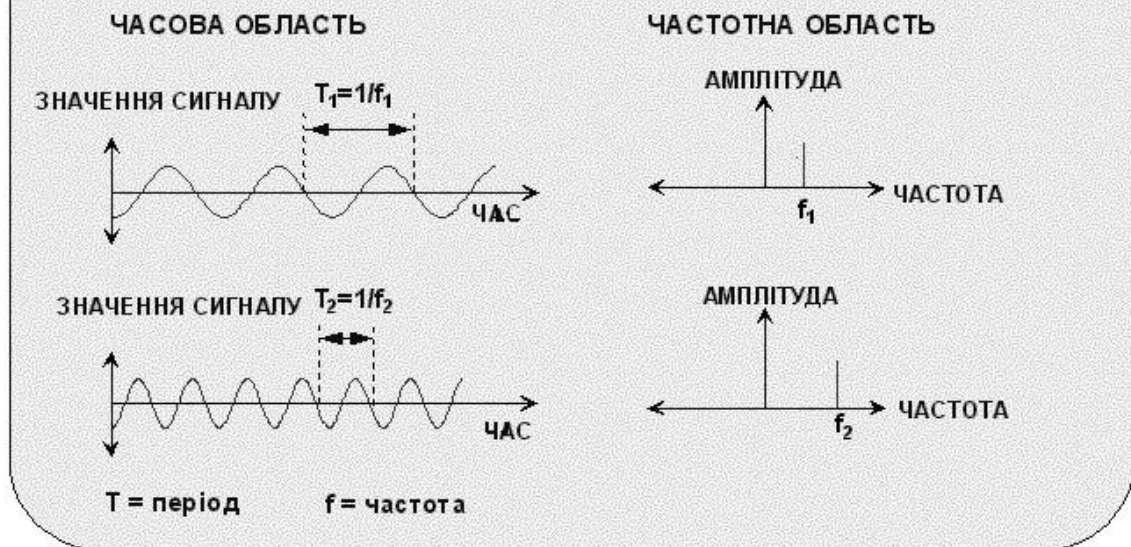


Рис. 2.1

Частотна область зручна для зображення частотного складу сигналів. Кожна синусоїда, представлена на графіку, має одну частоту. Отже, у частотній області кожна синусоїда представляється тільки однією частотною складовою. Її амплітуда (на графіку - вертикальна риска) у частотній області пропорційна амплітуді синусоїди в тимчасовій області. Частота f_1 відповідає частоті першої синусоїди, а f_2 - другий. Чим вище частота синусоїди, тим далі по осі частот вона розташовується.

Серед характеристик сигналів будемо розглядати як головні часову та частотну характеристики. Обидві характеристики показують, як змінюється амплітуда сигналу: перша у часі, друга - в залежності від частоти. Частотну характеристику часто називають спектром сигналу.

Періодичні сигнали можуть бути описані періодичною функцією:

$$x(t) = x(t \pm kT), \quad (2.1)$$

де $k=1,2,3\dots$

Цей сигнал повторює свої значення через інтервал часу T , який називається періодом. У більшості випадків періодичний сигнал будь-якої форми може бути представлений рядом Фур'є

$$f(\tau) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \left(a_k \cos 2\pi k \frac{t}{T} + b_k \sin 2\pi k \frac{t}{T} \right) \quad (2.2)$$

де $\tau = 2\pi t/T$.

Таким чином, періодичний сигнал може бути представлений як сукупність синусоїдальних сигналів, які називаються гармоніками сигналу.

Процес розкладу періодичної функції на гармоніки носить назву гармонійного аналізу. Спектр періодичного сигналу є лінійчастим, кожній гармоніці відповідає своя лінія спектру. Такий спектр має назву дискретного (рис. 2.2).

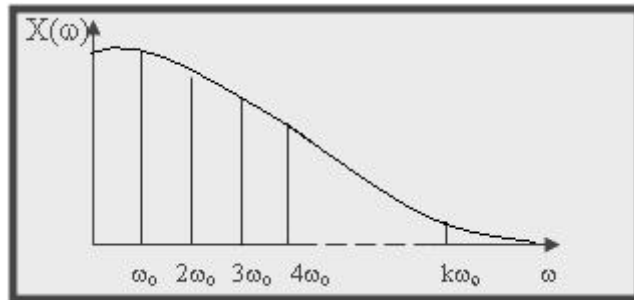


Рис. 2.2

Неперервна лінія, що з'єднує кінці ліній спектра, називається лінією що огинає;

Неперіодичний сигнал можна розглядати, як періодичний, у якого період T наближається до нескінченності. Із збільшенням T різниці частот сусідніх складових спектру зменшуються до безкінечно малої величини d , а ряд Фур'є перетворюється у інтеграл Фур'є:

$$x(\tau) = \int_0^{\infty} [a(\omega) \cos \omega \tau + b(\omega) \sin \omega \tau] d\omega \quad (2.3)$$

Кількість гармонік стає нескінченно великою, а відстань між ними зменшується до нуля. Таким чином, спектр неперіодичного сигналу перетворюється в неперервну функцію (рис. 2.3).

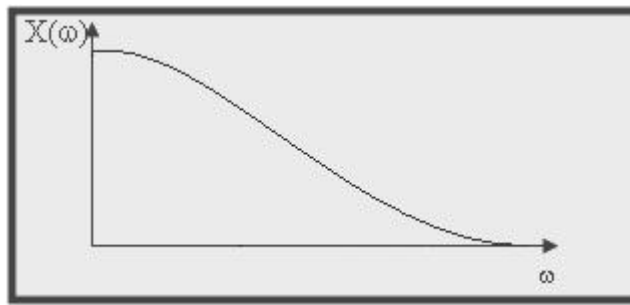


Рис. 2.3

Інтеграл Фур'є може бути представленим в комплексній формі

$$x(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega, \quad (2.4)$$

де

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau, \quad (2.5)$$

Формула (2.4) носить назву прямого, а формула (2.5) оберненого перетворення Фур'є. Формула (2.5) виражає комплексну спектральну характеристику сигналу $x(t)$, що має назву спектральної щільності. Модуль і аргумент спектральної характеристики являють собою спектр амплітуд і спектр фаз неперіодичного сигналу.

Отже, якщо ряд Фур'є представляє періодичну функцію як суму періодичних складових, то інтеграл Фур'є представляє неперіодичну функцію як суму періодичних складових. Спектр неперіодичної функції містить коливання усіх частот.

Основні властивості перетворення Фур'є виражаються наступними теоремами.

Теорема складення спектрів: спектр суми функцій дорівнює сумі спектрів доданків:

$$F_{\Sigma}(\omega) = \sum_k F_k(\omega)$$

Теорема про зміну масштабу: при зміні масштабу часу в k разів масштаб частот для спектра змінюється в $1/k$ разів:

$$F_k(\omega) = \frac{1}{k} F_k\left(\frac{\omega}{k}\right)$$

Звідси витікає: щоб стиснути ширину спектра сигналу, треба розтягнути сигнал у часі.

Теорема запізнення: щоб отримати спектральну щільність сигналу з запізненням $f(\tau - \tau_3)$, треба помножити спектральну щільність сигналу без запізнення $f(\tau)$ на $e^{-j\omega\tau_3}$.

Теорема енергій: енергію сигналу можна обчислювати або інтегруючи квадрат відповідної функції часу, або інтегруючи квадрат амплітудного спектра:

$$W = \int_{-\infty}^{\infty} f^2(\tau) d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} F^2(\omega) d\omega$$

Теорема про спектр згортки. Згорточкою двох функцій називається інтеграл наступного вигляду:

$$f(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(t) f_2(\tau - t) dt$$

Спектр згортки є рівним добутку спектрів функцій, що згортаються

$$F(\omega) = F_1(\omega) \cdot F_2(\omega)$$

З теореми про зміну масштабу витікає наступне: ширина спектру сигналу Δf зворотно пропорційна протяжності сигналу у часі τ :

$$\Delta f \cdot \tau = const$$

Для прямокутного імпульсу спектр є нескінченим. Для практичних цілей використовуються два підходи. Якщо під шириною спектра розуміти смугу частот від ніля до точки, де спектр перший раз обертається в нуль, то $\Delta f \cdot \tau = 1$. Якщо ж як ширину спектра брати смугу, в якій зосереджена переважна кількість енергії, то $\Delta f \cdot \tau = 0,73$.

2.1.2 Математичні моделі сигналів

2.1.2.1 Елементарні сигнали

Найпростішим елементарним сигналом є **постійний сигнал**, незмінний у часі. Його математична модель:

$$x = \text{const.} \quad (2.6)$$

Постійний сигнал має тільки один параметр x .

Часова та частотна характеристики постійного сигналу показані на рис.

2.4.

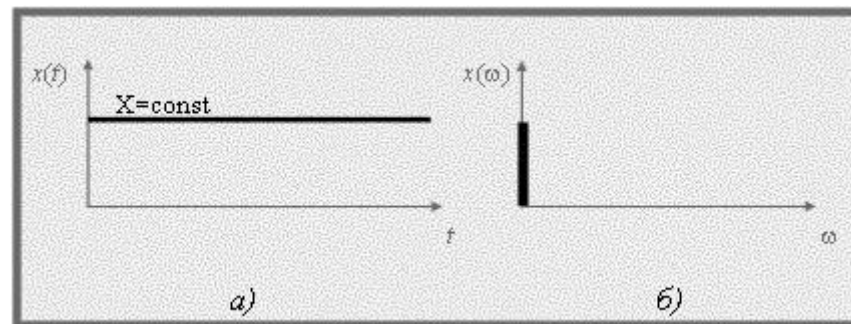


Рис. 2.4 – Характеристики постійного сигналу: а – часова; б – частотна

Другий елементарний сигнал - **ідеальний одиничний імпульс**, який описується дельта-функцією:

$$\delta(t - t_a) = \begin{cases} 0, & t \neq t_a; \\ \infty, & t = t_a, \end{cases} \quad (2.7)$$

де t_d - момент дії імпульсу.

Отже ідеальний одиничний імпульс має один параметр - момент його дії t_d .

Однією з цікавих властивостей дельта-функції є те, що спектр її є рівномірним у межах $-\infty < \omega < +\infty$

Інтеграл від добутку дельта-функції на будь-який сигнал $x(t)$ дорівнює значенню цього сигналу в момент $t=t_d$:

$$\int_{-\infty}^{\infty} X(t) \delta(t - t_a) dt = x(t_a). \quad (2.8)$$

Це означає, що дельта функція має стробуючу дію. Ця властивість використовується для представлення дискретизованих сигналів.

Третій елементарний сигнал - **синусоїдальний** або **гармонійний**:

$$x = X_m \sin(\omega t + \varphi). \quad (2.9)$$

Він визначається трьома параметрами: амплітудою X_m , частотою ω або періодом $T = 2\pi/\omega$ та початковою фазою φ . Часова характеристика та спектр синусоїдального сигналу показані на рис. 2.1.

2.1.2.2 Випадкові сигнали та їх характеристики

Випадковим називають сигнал, який в ході його аналізу може приймати той або інший конкретний вигляд, при чому невідомо, який саме.

Конкретний вигляд, який приймає сигнал під час його дослідження, називається реалізацією випадкового сигналу, а її математичний опис - виборочною функцією. В результаті групи випробувань отримують сімейство реалізацій сигналу. Таке сімейство реалізацій прийнято називати ансамблем реалізацій. Якщо задати момент часу t_1 , однаковий для усіх реалізацій або виборочних функцій, то сукупність значень всіх таких значень виборочних функцій називається перерізом випадкового процесу (рис. 2.5)

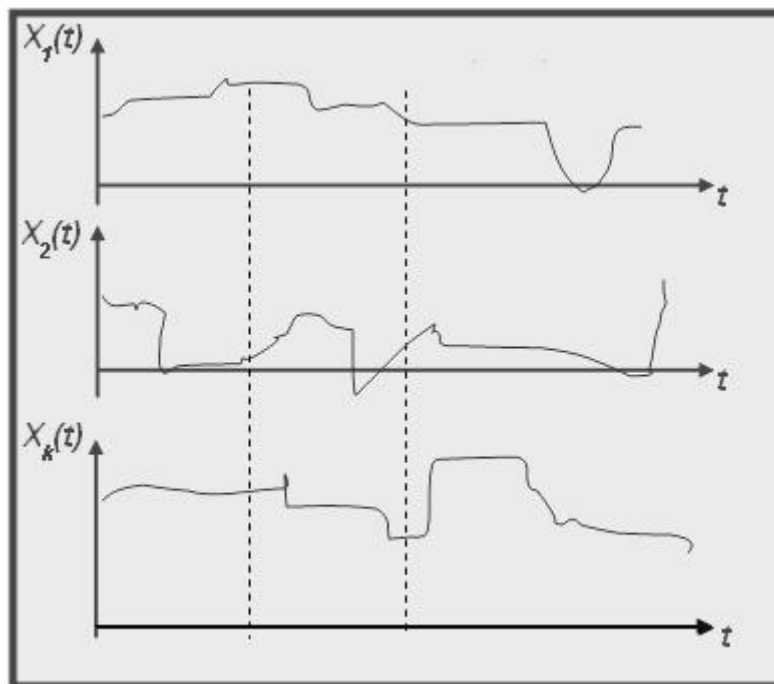


Рис. 2.5

Переріз випадкового сигналу по ансамблю реалізацій є випадковою величиною. Чим більше реалізацій сигналу буде досліджено, тим точніше можна описати випадковий сигнал.

Параметрами випадкового сигналу є:

а) математичне очікування або момент першого порядку

$$m_X = M_1[X] = \int_{-\infty}^{\infty} X \cdot f(X) dX \quad (2.10)$$

де $f(X)$ - щільність ймовірності випадкової величини X ;

б) дисперсія або момент другого порядку

$$D_X = M_2[X] = M_1[(X - m_X)^2] \quad (2.11)$$

в) кореляційна функція, що визначається для двох перерізів випадкового процесу t_1 та $t_2 = t_1 + \tau$

$$K_X(t_1, t_2) = M_1[(X(t_1) - m_X(t_1))(X(t_2) - m_X(t_2))] \quad (2.12)$$

або нормована кореляційна функція

$$R_X(t_1, t_2) = \frac{K_X(t_1, t_2)}{\sqrt{K_X(t_1, t_1)K_X(t_1, t_1)}} \quad (2.13)$$

Якщо закон розподілу випадкового сигналу не залежить від часу, то такий сигнал називається стаціонарним. Для багатьох стаціонарних сигналів статистичні характеристики, отримані для перерізу випадкового сигналу по ансамблю реалізацій, являються ідентичними характеристикам, які отримані на основі однієї реалізації достатньої продовженості у часі. Такі сигнали називаються ергодичними.

Якщо статистичні характеристики сигналів отримують в загальному випадку осередненням по ансамблю реалізацій, такі ж характеристики ергодичних стаціонарних сигналів отримують осередненням у часі по наступним формулам:

а) середнє значення випадкового сигналу:

$$M_1[X(t)] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (2.14)$$

середнє значення стаціонарного сигналу є постійною величиною;

б) середнє значення квадрату випадкового сигналу:

$$M_2[X(t)] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt \quad (2.15)$$

в) автокореляційна функція:

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t+\tau) dt \quad (2.16)$$

Стаціонарні ергодичні сигнали характеризують двома складовими: постійною та змінною. Постійна дорівнює середньому значенню сигналу згідно (2.14). Змінна складова оцінюється дисперсією, яка характеризує розсів значень сигналу відносно до середнього значення і дорівнює середньому значенню квадрата відхилення сигналу від середнього значення:

$$D[X(t)] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \{x(t) - M_1[X(t)]\}^2 dt = M_2[X(t)] - M^2[X(t)], \quad (2.17)$$

бо середнє значення стаціонарного сигналу є постійна величина.

Випадковий сигнал, як і детермінований, можна розкласти у ряд Фур'є або застосувати до нього перетворення Фур'є згідно виразам (2.4) і (2.5), тобто представити цей сигнал як сукупність кінечної або нескінченної кількості гармонік. Амплітуди гармонік будуть випадковими величинами. Дисперсія сигналу також буде розподілена по гармонікам. Деяким з частот відповідатимуть більші значення дисперсії, іншим - менші. Це можна графічно проілюструвати, як спектр дисперсій (рис. 2.6).

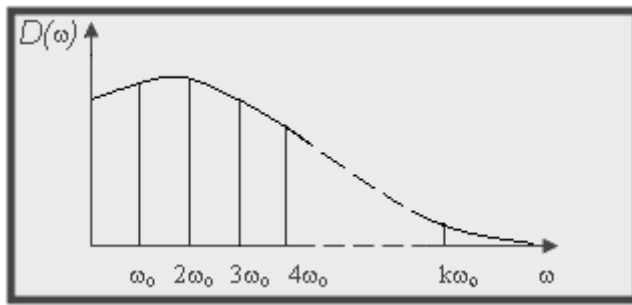


Рис. 2.6

При переході від ряду Фур'є до інтегралу Фур'є дискретний спектр замінюється неперервним. Для випадкового сигналу такий спектр можна розглядати, як графік щільності розподілу дисперсій по частотах. Кожному як завгодно малому інтервалу частот d відповідатиме елементарна дисперсія $dD(\omega)$ (рис. 2.7). Загальна дисперсія дорівнює площі під кривою спектральної щільності.

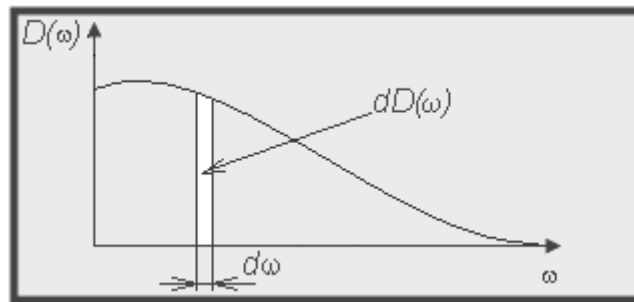


Рис. 2.7

Спектральну щільність дисперсії знаходять застосуванням перетворення Фур'є до кореляційної функції:

$$S_x(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_x(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau, \quad (2.18)$$

2.1.3 Фільтрація сигналів

Аналоговим фільтром називається частотно-селективне коло, яке забезпечує пропущення сигналів в одних смугах частот і подавлення в інших. Область частот, в якій фільтр пропускає сигнал, називають смугою пропущення або смугою прозорості, а область частот, в якій послаблення

сигналу велике – смугою затримування або смугою непрозорості. Частота, що лежить на межі цих смуг, називається частотою зрізу f_3 .

У залежності від розташування смуги прозорості на шкалі частот розрізняють:

- 1) фільтри нижніх частот (ФНЧ), що пропускають без великого ослаблення коливання всіх частот нижче за частоту зрізу f_3 ;
- 2) фільтри верхніх частот (ФВЧ), що пропускають без великого ослаблення коливання всіх частот вище за частоту зрізу f_3 ;
- 3) смугові фільтри (СФ), що пропускають без великого ослаблення коливання смуги частот від частоти зрізу f_{31} до частоти зрізу f_{32} .
- 4) загороджуючі або режекторні фільтри (РФ), що ослабляють коливання смуги частот від частоти зрізу f_{31} до частоти зрізу f_{32} .

Ослаблення фільтром сигналу оцінюють відношенням напруги U_{ex} на вході фільтра до напруги $U_{вих}$ на виході:

$$a = U_{ex} / U_{вих}. \quad (2.19)$$

Часто це відношення виражають в децибелах:

$$b = 20 \lg (U_{ex} / U_{вих}). \quad (2.20)$$

ї називають загасанням фільтра. Залежність загасання фільтра від частоти називають частотною характеристикою загасання.

Застосовується також інша характеристика фільтра – коефіцієнт передачі.

Реальні фільтри з чітко вираженою частотою зрізу не існують. У реальних фільтрах є смуга частот, в якій коефіцієнт передачі змінюється від максимального до мінімального або навпаки. Амплітудно-частотна характеристика реального фільтра низьких частот показана на рис. 2.8.

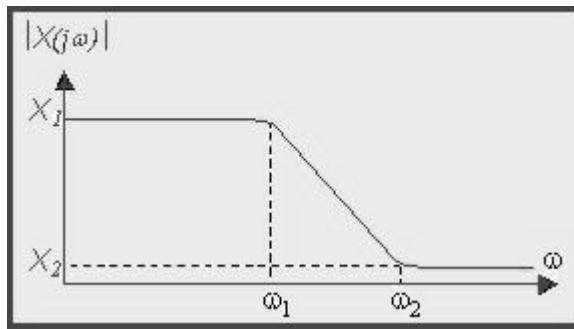


Рис. 2.8

Параметрами фільтра є межі смуг пропусчення ω_1 і затримування ω_2 , загасання у смузі затримування X_2 і коефіцієнт передачі у смузі пропусчення X_1 .

Цифровим фільтром називається пристрій або програма, або змішана апаратно-програмна структура, яка використовується для цифрової обробки дискретних або кодових сигналів з метою отримання вихідних сигналів, що мають задані частотні характеристики.

Цифрова фільтрація володіє значною гнучкістю, оскільки характеристики фільтру можна змінити, просто задавши нові параметри відповідної йому програми. На відміну від аналогових, цифрові фільтри добре працюють з тривалими постійними сигналами.

При аналізі і проектуванні цифрових фільтрів використовуються їх характеристики у часовій і частотній областях і їх взаємне перетворення. Як відомо, для дискретизованого сигналу з періодом дискретизації T спектральна характеристика визначається формулою дискретного перетворення Фур'є:

$$S(k) = \sum_{n=0}^{N-1} X(nT) e^{-j \frac{2\pi}{N} kn}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.21)$$

Відновлення сигналу виконується згідно формули:

$$X(nT) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} S(k) e^{j \frac{2\pi}{N} kn}, \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.22)$$

Вираз (2.22) називають імпульсною характеристикою фільтра.

За характером імпульсної послідовності на виході фільтри поділяються на:

- 1) фільтри з кінцевою імпульсною характеристикою (КІХ), для яких число відліків n кінчене, тобто $N_1 < n < N_2$;
- 2) фільтри з нескінченною імпульсною характеристикою (НІХ), для яких число відліків n нескінченне, тобто $-\infty < n < N_2$ або $N_1 < n < \infty$.

Для будь-якої лінійної дискретної системи залежність значень вихідної величини Y від значень вхідної величини X описується різносним рівнянням

$$\sum_{k=0}^N b_k Y(n-k) = \sum_{r=0}^M a_r X(n-r) \quad (2.23)$$

Прийнявши $b_0=1$, перетворюємо останнє співвідношення:

$$Y(n) = \sum_{r=0}^M a_r X(n-r) - \sum_{k=1}^N b_k Y(n-k) \quad (2.24)$$

Згідно з цим виразом, для визначення $Y(n)$ необхідно знати попередні значення $Y(n-k)$. Функція (2.24) є рекурсивною, оскільки визначається через саму себе. Відповідно і фільтри, що реалізують алгоритм (2.24), називаються рекурсивними фільтрами.

Якщо не брати до уваги попередні значення величини Y , тобто прийняти всі коефіцієнти b_k рівними нулю, то вираз (2.24) спрощується

$$Y(n) = \sum_{r=0}^M a_r X(n-r) \quad (2.25)$$

Алгоритм (2.25) називають нерекурсивним, а фільтр, що його реалізує – КІХ фільтром ковзаючого середнього (*Moving Average* - MA). Це означає, що якщо протягом деякого часу всі послідовні значення $X(n-r)$, окрім одного, рівні нулю, то на виході фільтру сигнал буде відмінний від нуля тільки на M часових інтервалах.

Якщо деякі або всі коефіцієнти b_k не є рівними нулю, то такий фільтр називається авторегресивним (*AutoRegressive* – AR) і має нескінченно імпульсну характеристику. Іншими словами, вхідний сигнал, що відрізняється

від нуля тільки на одному часовому інтервалі, викличе появу на виході сигналу відмінного від нуля протягом нескінченного довгого часу. Узагальнений фільтр, що описується рівнянням (2.24), називається авторегресивним фільтром ковзаючого середнього (*Auto Regressive Moving Average - ARMA*).

Простий фільтр ковзаючого середнього виходить, якщо прийняти всі вагові коефіцієнти a_r однаковими і такими, що дають в сумі одиницю. Наприклад, фільтр ковзаючого середнього з п'ятьма вхідними відліками має вигляд

$$Y(n) = \frac{1}{5}[X(n) + X(n-1) + \dots + X(n-4)]. \quad (2.26)$$

Ковзаюче середнє – це простий метод, але він має певні обмеження. При використанні однакових коефіцієнтів фільтр може бути надмірно інертним і недостатньо швидко реагувати на реальні зміни у вхідному сигналі.

Експоненціальний фільтр (*exponential filter*) - це авторегресійний фільтр ковзаючого середнього першого порядку, визначуваний наступним рівнянням:

$$Y(n) = \alpha \cdot Y(n-1) + (1-\alpha) \cdot X(n). \quad (2.27)$$

Відфільтроване значення $Y(n)$ обчислюється підсумовуванням попереднього значення відфільтрованого сигналу $Y(n-1)$ і останнього значення $X(n)$ вимірювального сигналу з ваговими коефіцієнтами α та $(1-\alpha)$. Коефіцієнт α лежить в інтервалі між 0 і 1.

Рівняння (2.27) можна переписати у наступному вигляді:

$$Y(n) = Y(n-1) + (1-\alpha) \cdot [X(n) - Y(n-1)], \quad (2.28)$$

тобто експоненціальний фільтр уточнює відфільтроване значення на виході відразу, як тільки на вхід поступає нове значення. Це уточнення невелике, коли коефіцієнт α близький до одиниці. При α , близькому до нуля, величина поправки росте. Відповідно, фільтрація шуму зменшиться, проте зміни

початкового сигналу відстежуватимуться точніше. При $\alpha=0$ сигнал на виході ідентичний сигналу на вході.

Згідно (2.25), вихідний сигнал ЦФ можна представити у вигляді суми зсунутих у часі імпульсів, амплітуди яких відповідають амплітудам дискретних відліків сигналів на вході фільтра. Відповідно до цього цифровий фільтр можна створити, використовуючи набір пристроїв затримки сигналів у часі і суматор, на який вхідні сигнали подаються з вагою a_0, a_1, \dots, a_M (рис. 2.9, а). Оскільки число пристроїв кінцеве, то такий фільтр є нерекурсивним КІХ-фільтром.

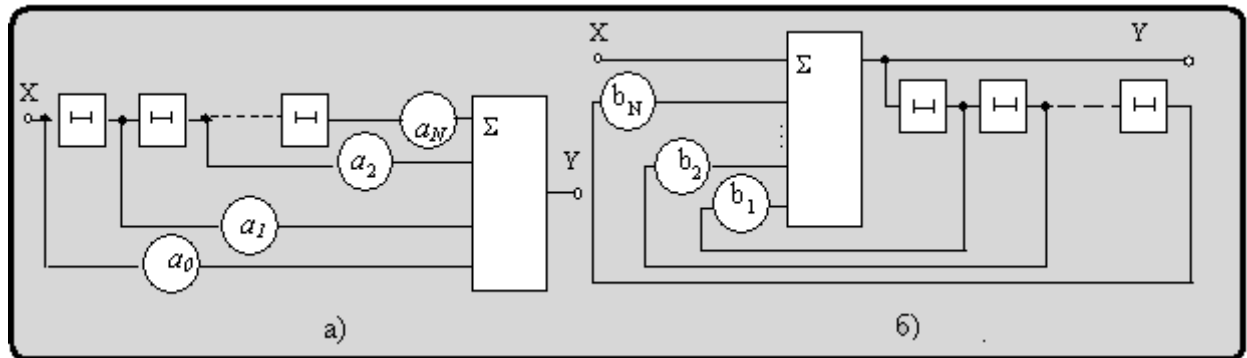


Рис. 2.9

На рис. 2.9, б) показана структурна схема рекурсивного НІХ-фільтра. Відліки вихідного сигналу формуються як сума затриманих відліків з вагою b_1, b_2, \dots і т.д., які через суматор знов подаються на пристрої затримки. Процес може тривати нескінченно, звідки і назва фільтра.

2.1.4 Квантування сигналів

Якщо в аналогових пристроях сигнал X може приймати будь-які значення в діапазоні $[X_{\min}, X_{\max}]$, то цифрових пристроях нескінченній сукупності значень сигналу X ставиться у відповідність кінечна й така що лікується сукупність можливих значень вихідних кодів N . Число можливих різних кодів визначається конструкцією квантувача. При цьому повинна виконуватись умова:

$$q = \frac{|X(N_{\max}) - X(N_{\min})|}{M - 1} = const \quad (2.29)$$

де q – константа, яка називається номінальним ступенем квантування; $X(N_{\max})$ і $X(N_{\min})$ – значення сигналу, що відповідають максимальному N_{\max} і

мінімальному N_{\min} можливим значенням вихідного коду квантувача; M – число можливих різних кодів квантувача (ціле число).

У процесі квантування сигнал, що змінюється лінійно

$$Y = k_s X, \quad (2.30)$$

замінюється ступінчастою кривою (рис. 2.10).

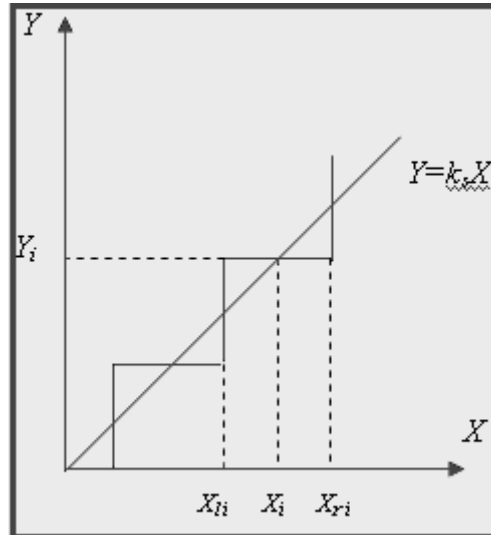


Рис. 2.10

Кожному з можливих значень Y_i ($i = 1, 2, \dots, M$) відповідає незліченна сукупність $[X_{li}, X_{ri}]$ значень вхідного сигналу квантувача, де X_{li}, X_{ri} – ліва та права границя i -ї сукупності. Ступінчаста крива має розриви у точках X_{li} та X_{ri} для всіх $1 \leq i < M$. Ця крива повинна найкращим чином приближатися до прямої (2.30). Під найкращим приближенням розуміється таке положення ступінчастої кривої, за якого абсолютне відхилення її від прямої (2.30) буде мінімальним, тобто виконується умова:

якщо $X \in [X_{li}, X_{ri}]$, то або $|X - X_{li}|$, або $|X - X_{ri}|$ не повинні перевищувати $0,5 |X_{li} - X_{ri}|$, при чому $q = |X_{li} - X_{ri}|$. Таким чином, значення неперервної величини X_i точно відповідає значенню квантованої величини Y_i в середині інтервалу $[X_{li}, X_{ri}]$.

Ступінчаста крива може бути описана формулою

$$Y = k_s q \text{Int}[X/q + 0,5 \text{Sign} X], \quad (2.31)$$

де $\text{Int}[A]$ – функція, що має назву “ціла частина A ”; $\text{Sign } A$ - функція, що має назву “знак числа A ”. Остання функція може приймати такі значення:

$$\text{Sign } A = \begin{cases} 1 & \text{для } A \geq 0 \\ -1 & \text{для } A < 0 \end{cases}$$

Функція (2.31) співпадає з (2.30), коли q наближається до нуля.

Для спрощення подальших викладок приймемо $k_s=1$. Тоді номінальна функція перетворення буде мати вигляд:

$$Y = X. \quad (2.32)$$

Ступінчаста крива, яка найкращим чином приближується до прямої (2.32), виражається формулою:

$$Y = q \text{Int}[X/q + 0,5\text{Sign}X], \quad (2.33)$$

Формула (2.33) називається функцією перетворення ідеального квантувача. Оскільки вона не співпадає з (2.32) при $q>0$, можна зробити висновок, що навіть ідеальний квантувач вносить похибку. Абсолютна похибка Δ ідеального квантувача дорівнює нулю в середині інтервалу $[X_{lb}, X_{ri}]$ і досягає екстремальних значень на краях цього інтервалу (див. рис. 2.11)

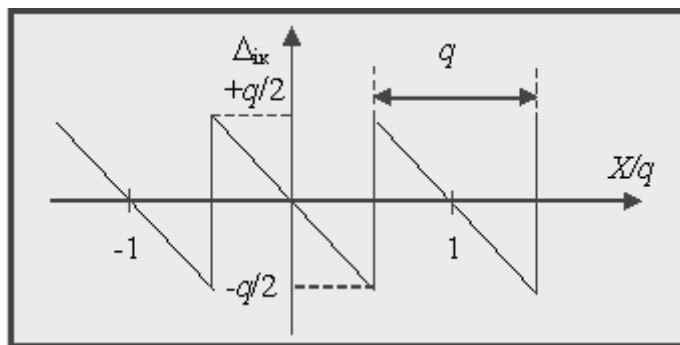


Рис. 2.11

Як бачимо, похибка ідеального квантувача є періодичною функцією. Похибка ця відноситься до систематичних, бо змінюється за відомим законом.

Але врахувати її в результаті квантування неможливо через те, що для її обчислення треба знати істинне значення сигналу. Тому похибку квантувача прийнято вважати випадковою величиною.

Для її визначення на i -му ступеню квантування використовують звичайні числові параметри випадкової величини:

а) математичне очікування

$$M_i(\Delta) = \int_{X_{li}}^{X_{ri}} (x_i - X) p(x) dx \quad (2.34)$$

б) дисперсія

$$D_i(\Delta) = \int_{X_{li}}^{X_{ri}} (x_i - X)^2 p(x) dx \quad (2.35)$$

Тут x_i – значення X , що відповідає середині інтервала квантування $[X_{li}, X_{ri}]$, $p(x)$ – закон розподілу сигналу.

У випадку великого числа ступенів квантування можна ввести допущення, що значення щільності ймовірності вимірюваної величини в даному i -му ступеню квантування є постійним і рівним $p(x_i)$, тобто своєму значенню при $x=x_i$. Тоді

$$M_i(\Delta) = p(x_i) \int_{X_{li}}^{X_{ri}} (x_i - X) dx = \frac{1}{2} p(x_i) [(x_i - X_{ri})^2 - (x_i - X_{li})^2] = 0, \quad (2.36)$$

а дисперсія

$$D_i(\Delta) = p(x_i) \int_{X_{li}}^{X_{ri}} (x_i - X)^2 dx = \frac{1}{3} p(x_i) [(x_i - X_{ri})^3 - (x_i - X_{li})^3] = \frac{1}{12} p(x_i) q^3 \quad (2.37)$$

Перейдемо тепер від i -го ступеня квантування на весь діапазон сигналу $[0, X_{\max}]$.

$$D(\Delta) = \frac{1}{12} \sum_i p(x_i) q_i^3 \quad (2.38)$$

Якщо квантування рівномірне, то $q_i = q = const$, отже

$$D(\Delta) = \frac{q^2}{12} \sum_i p(x_i) q_i \quad (2.39)$$

Оскільки для усього діапазону $[0, X_{\max}]$ справедливе співвідношення

$$\sum_i p(x_i) q_i = 1$$

то

$$D(\Delta) = \frac{q^2}{12} \quad (2.40)$$

Отже, дисперсія квантування у випадку достатньо великої кількості ступенів рівномірного квантування не залежить від закону розподілу ймовірностей вимірюваної величини.

Вираз (2.40) іноді називають потужністю шуму квантування.

2.1.5 Дискретизація сигналів

Одночасно з квантуванням за рівнем у квантувателі відбувається і дискретизація сигналів у часі.

Дискретизація сигналів є перетворенням безперервного сигналу $X(t)$ в послідовність миттєвих значень цього сигналу $X_d(kT_u)$, відповідних певним моментам часу kT_u (де $k = 1, 2, 3, \dots$). Проміжок часу T_u між двома сусідніми моментами дискретизації називають кроком дискретизації.

Дискретизація неперервного у часі сигналу $X(t)$ є лінійною операцією множення функції $X(t)$ на деяку функцію дискретизації у часі $\Delta^*(t)$:

$$X_d(t) = X(t) \cdot \Delta^*(t). \quad (2.41)$$

Функція $\Delta^*(t)$ є послідовністю одиничних імпульсів з періодом повторення T_u , тривалістю, рівною нулю і площею, рівною одиниці:

$$\Delta^*(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \delta(t - kT_u) \quad (2.42)$$

Ідеальний дискретизований сигнал є послідовністю імпульсів нульової тривалості, площі яких рівні ординатам сигналу $X(t)$ в моменти kT_u :

$$X_\delta(kT_u) = \sum_{k=1}^n X(t_k) \delta(t - kT_u) \quad (2.43)$$

Розкладемо функцію дискретизації в ряд Фур'є:

$$\Delta^*(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} c_k e^{jk \frac{2\pi t}{T_0}} \quad (2.44)$$

Коефіцієнти c_k визначаються з співвідношення:

$$c_k = \frac{1}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} \delta(t) e^{jk \frac{2\pi t}{T_0}} dt = \frac{1}{T_0} \quad (2.45)$$

Тоді дискретизований сигнал можна описати таким чином:

$$X_\delta(kT_u) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \frac{1}{T_0} X(t) e^{jk \frac{2\pi t}{T_0}} \quad (2.46)$$

Вираз для спектральної щільності можна знайти, якщо застосувати інтегральне перетворення Фур'є:

$$X_\delta(\omega) = \frac{1}{T_0} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} X(\omega - k \frac{2\pi}{T_0}) \quad (2.47)$$

де $X(\omega)$ – спектральна щільність недискретизованого сигналу $X(t)$.

У дискретизированому сигналі відсутні проміжні значення, які мав неперервний сигнал в моменти між точками дискретизації. Але для багатьох операцій управління принципово необхідний неперервний сигнал. Тому дискретизований сигнал часто буває необхідно знов перетворити в неперервний, тобто відновити в ньому всі проміжні значення із заданою погрішністю.

Сигнал, що відновлюється, звичайно виражається сумою базисних функцій

$$x_{\epsilon}(t) = \sum_{i=1}^n a_i C_i(t) \quad (2.48)$$

де $C_i(t)$ – деяка система базисних функцій, a_i – коефіцієнти ряду.

Коефіцієнти ряду і базисні функції можуть вибиратися на основі різних критеріїв, наприклад, по мінімуму середньої квадратичної погрішності або за критерієм збігу значень неперервного відновленого сигналу з миттєвими значеннями дискретизованого сигналу.

У першому випадку коефіцієнти ряду визначаються як коефіцієнти відповідного ряду Фур'є:

$$a_i = \int_0^T x(t) C_i(t) dt \quad (2.49)$$

Системою базисних функцій при цьому є ряд гармонік, які зручні для відтворення.

У другому випадку, коли коефіцієнти ряду і базисні функції вибираються по критерію збігу значень безперервного сигналу, що відновлюється з миттєвими значеннями дискретизованого сигналу, використовується ряд Котельникова,

$$x_{\epsilon}(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x(kT_y) S_a(t) \quad (2.50)$$

який представляє неперервний сигнал сумою добутків миттєвих значень сигналу на деяку функцію часу, звану функцією відліків:

$$S_a = \frac{\sin \omega_c (t - kT_u)}{\omega_c (t - kT_u)}. \quad (2.51)$$

Властивості функції відліків:

а) функція відліків приймає значення 0 у точках відліку $t = (k+i)T_u$, де i – ціле число, за винятком точки $t = kT_u$, де функція відліку є рівною одиниці (рис. 2.12);

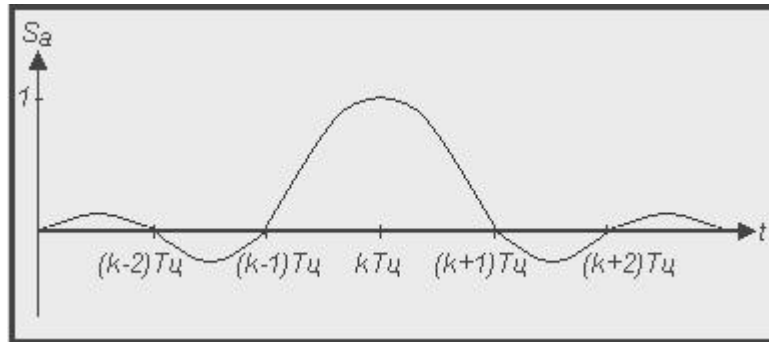


Рис. 2.12

б) функція відліків має прямокутний спектр амплітуд у смузі від $-\omega_c$ до $+\omega_c$.

Ряд Котельникова можна використати для сигналів, що мають спектр з граничною частотою f_c і дискретизовані з періодом $T_0 = 1/(2f_c)$. Згідно теореми Котельникова, якщо спектр функції не містить складових з частотами вище f_c , то ця функція повністю визначається послідовністю своїх значень в моменти часу, що знаходяться один від одного на відстані $1/(2f_c)$. Таким чином, сигнал, спектр якого не має частот, вищих за f_c , повністю визначається своїми миттєвими значеннями в дискретні моменти часу

$$\Delta T \leq \frac{1}{2f_c} \quad (2.52)$$

і може бути точно відновлений за своїми відліковими значеннями з допомогою виразів (2.50) та (2.51).

Функція відліків являє собою реакцію ідеального фільтра нижніх частот на вхідний вплив у вигляді одиничної імпульсної функції. Отже, якщо дискретизований з кроком (2.52) сигнал подати на вхід ідеального фільтра з

верхньою межею пропусення f_c , то на виході отримаємо відновлений без похибок сигнал $X(t)$.

2.1.6 Кодування сигналів

2.1.6.1 Поняття кодування

Кодування сигналу - це його представлення в певній формі, зручній або придатній для подальшого використання сигналу. Кажучи строго, це правило, що описує відображення одного набору знаків в інший набір знаків. Тоді набір знаків, що відображається, називається початковим алфавітом, а набір знаків, який використовується для відображення, – кодовим алфавітом, або алфавітом кодування. При цьому кодуванню підлягають як окремі символи початкового алфавіту, так і їх комбінації. Аналогічно для побудови коду використовуються як окремі символи кодового алфавіту, так і їх комбінації. Наприклад, дана таблиця відповідності між десятковими і двійковими числами. Цю таблицю можна розглядати як деяке правило, що описує відображення набору знаків десяткової системи числення в двійкову. Тоді початковий алфавіт - десяткові цифри від 0 до 9, а кодовий алфавіт для двійкової системи – це цифри 0 і 1.

Кодовою комбінацією, або, коротше, кодом називається сукупність символів кодового алфавіту, вживаних для кодування одного символу (або одній комбінації символів) початкового алфавіту. При цьому кодова комбінація може містити один символ кодового алфавіту. Початковим символом називається символ (або комбінація символів) початкового алфавіту, якому відповідає кодова комбінація. Наприклад, оскільки $8_{10} = 1000_2$ і 8 є початковим символом, 1000 - це кодова комбінація, або код, для числа 8. Сукупність кодових комбінацій називається кодом. Взаємозв'язок символів (або комбінацій символів, якщо кодуються не окремі символи) початкового алфавіту з їх кодовими комбінаціями складає таблицю відповідності (або таблицю кодів).

Зворотна процедура отримання початкових символів за кодами символів називається декодуванням. Очевидно, для виконання правильного декодування код повинен бути однозначним, тобто одному початковому символу повинен відповідати точно один код і навпаки.

Залежно від цілей кодування, розрізняють наступні його види:

а) кодування за зразком – використовується всякий раз при введенні інформації в комп'ютер для її внутрішнього представлення;

б) криптографічне кодування, або шифрування, – використовується, коли потрібно захистити інформацію від несанкціонованого доступу;

в) ефективне, або оптимальне, кодування – використовується для усунення надмірності інформації, тобто зниження її об'єму до мінімально необхідного рівня, наприклад, в архіваторах;

г) завадозахисне, або завадостійке кодування – використовується для забезпечення заданої достовірності у разі, коли на сигнал накладається завада, наприклад, при передачі інформації по каналах зв'язку.

Таким чином, кодування – це операція перекладу за певними правилами деякого формального об'єкта, вираженого сукупністю кодових символів одного алфавіту, в формальний об'єкт, виражений сукупністю кодових символів іншого алфавіту. При кодуванні як символи використовують букви алфавіту, цифри в певній системі числення і різні умовні знаки.

Числове кодування є відображенням формального об'єкта числами.

У КІСУ використовується кодове представлення результатів вимірювання технологічних параметрів для цифрової обробки і для передачі по каналах зв'язку. У процесі вимірювання визначається значення фізичної величини, що складається з її числового значення і одиниці вимірювання. Числове кодування у вимірюванні є операцією перекладу числового значення величини, що вимірюється, в ту або іншу систему числення.

2.1.6.2 Системи числення

Системою числення називається метод представлення кількісної інформації за допомогою символів деякого алфавіту, званих цифрами.

У непозиційній системі числення числове значення символу не залежить від його місця в числі. Прикладом непозиційної системи є одинична або унітарна, в якій цілі числа зображуються у вигляді сукупності одиниць, повторюваних відповідне число разів. Сигнали, що описуються одиничною

системою, являють собою сукупність імпульсів, кількість яких пропорційна величині, що вимірюється. Прикладами є сигнали від датчиків кількості розфасованої продукції, а також чутливих елементів лічильників витрати рідин і газів.

Для компактного представлення чисел використовуються позиційні системи числення, в яких використовуються декілька цифр, що мають певне числове значення або вагу, причому значення цифри залежить від положення цифри в числі.

У позиційній системі будь-яке число N виражається в наступній формі:

$$N = \sum_{i=1}^l a_i B^{i-1} \quad (2.53)$$

Символи a_i ($i=1 \dots l$) є цифрами даної системи числення, що стоять в i -тому розряді числа. Символ B означає основу системи і дорівнює числу символів або знаків в даній системі. Цифри в позиційній системі починаються з нуля, найбільше значення цифри рівно $B-1$. Символ l означає номер старшої позиції або кількість розрядів числа.

Найбільше число, яке може бути виражене в даній системі числення при кількості розрядів l :

$$N_n = B^l - 1. \quad (2.54)$$

Звідси необхідне число розрядів

$$l = \log_B(N_n + 1). \quad (2.55)$$

Збільшення основи системи числення дає більш компактне представлення числа, але вимагає більшої кількості цифр, що ускладнює системи передачі і обробки кодів.

За наявністю або відсутністю певної ваги у кожного символа коди діляться на зважені і незважені. У цифрових пристроях використовуються

зважені коди, які поділяються за системою числення на одиничні, десяткові, двійкові, одинично-десяткові, двійково-десяткові (див. табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Представлення чисел у різних системах числення

$N_{(10)}$	$N_{(1)}^O$	$N_{(1)}^B$	N_2	$N_{(2-10)}$	$N_{(1-10)}$
0		00000000001	0000	00 0000 0000	001 00000000001 00000000001
1	1	00000000010	0001	00 0000 0001	001 00000000001 00000000010
2	11	00000000100	0010	00 0000 0010	001 00000000001 00000000100
3	111	00000001000	0011	00 0000 0011	001 00000000001 00000001000
4	1111	00000010000	0100	00 0000 0100	001 00000000001 00000010000
5	11111	00000100000	0101	00 0000 0101	001 00000000001 00000100000
6	111111	00001000000	0110	00 0000 0110	001 00000000001 00001000000
7	1111111	00010000000	0111	00 0000 0111	001 00000000001 00010000000
8	11111111	00100000000	1000	00 0000 1000	001 00000000001 00100000000
9	111111111	01000000000	1001	00 0000 1001	001 00000000001 01000000000
10	1111111111	10000000000	1010	00 0001 0000	001 00000000010 00000000001

Одиничний нормальний або одноканальний код $N_{(1)}^O$ призначений для передачі інформації у вигляді набору імпульсів по одноканальній лінії зв'язку. Для представлення одиничного числа іншим кодом потрібен лічильник імпульсів.

Одиничний позиційний або багатоканальний код $N_{(1)}^B$ використовує сукупність каналів передачі. Значення числа залежить від каналу, в якому присутній сигнал. Такі коди використовуються в статистичних аналізаторах, побудовувачах кривої розподілу, різноманітних матричних перетворювачах.

Недоліком одиничних кодів є незручність реєстрації та індикації.

Десятковий код $N_{(10)}$ застосовується для управління елементами відлікового пристрою і для цифрової реєстрації.

Двійковий код $N_{(2)}$ відрізняється простотою представлення в технічних пристроях, оскільки вимагає використання елементів з усього лише двома

стійкими станами. Але числа, записані у двійковій системі, важкі для сприйняття людиною. Як компроміс використовується двійково-десяткова система $N_{(2-10)}$, в якій кожний десятковий розряд представлений чотирьохрозрядним двійковим числом.

2.1.7 Модуляція сигналів

У широкому сенсі модуляція [лат. *modulatio* мірна, розмірність] – це віддзеркалення або нанесення інформації на носій або переносник інформації. Це розуміють як завдання деякого розміру носієві.

У вузькому сенсі модуляція – це зміна одного або декількох параметрів носія за допомогою сигналу, що несе інформацію. Зворотна операція, тобто виділення інформаційного сигналу з модульованого сигналу, називається демодуляцією.

Модуляцію можна розглядати як процес зміни одного або декількох параметрів високочастотного модульованого коливання під впливом відносно низькочастотного модулюючого сигналу. В результаті спектр сигналу, що управляє, переноситься в область більш високих частот, де передача електромагнітних сигналів за допомогою випромінювання ефективніша. Роль переносника інформації виконує високочастотне коливання, зване «та, що несе». Як та, що несе, можуть бути використані коливання різної форми (прямокутні, трикутні і т. д.), проте найчастіше застосовуються гармонійні коливання. Залежно від того, який з параметрів несучого коливання змінюється, розрізняють вид модуляції (амплітудна, частотна, фазова і ін.). Модуляція дискретним сигналом називається цифровою модуляцією або маніпуляцією.

Амплітудна маніпуляція (АМн; англ. *amplitude shift keying – ASK*) – модуляція при якій стрибкоподібно міняється амплітуда несучого коливання. Наприклад, телеграфні сигнали (азбуку Морзе) передають за допомогою амплітудної маніпуляції. Амплітуда високочастотного сигналу приймає тільки два значення: увімкнено і вимкнено (рис. 2.13).

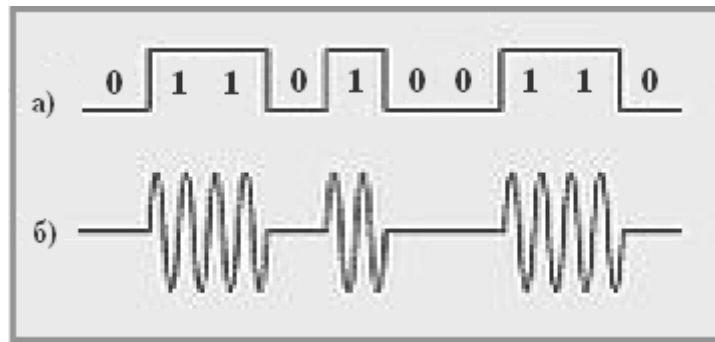


Рис. 2.13 – Амплітудна маніпуляція:
а) модулюючий сигнал; б) модульований сигнал

Математично операція модуляції еквівалентна множенню сигналу частоти, що несе на сигнал даних.

При *частотній маніпуляції* (ЧМн, англ. Frequency Shift Keying – FSK) значенням "0" і "1" інформаційної послідовності відповідають певні частоти синусоїдального сигналу при незмінній амплітуді (рис. 2.14). Для розрізнення двох рівнів сигналу в FSK використовують два сигнали, що несуть, з фіксованою амплітудою, один - для 0, інший - для 1. Різниця між двома частотами називається частотним зсувом. Операція модуляції еквівалентна підсумовуванню виходів двох різних ASK модуляторів: одні на оригінальному сигналі і першій тією, що несе, інший - на сигналі, додатковому до оригінального і другій тією, що несе.

Частотна маніпуляція вельми завадостійка, оскільки завади каналу передачі спотворюють в основному амплітуду, а не частоту сигналу. Проте при частотній маніпуляції неекономно витрачається ресурс смуги частот телефонного каналу. Тому цей вид модуляції застосовується в низькошвидкісних каналах передачі.

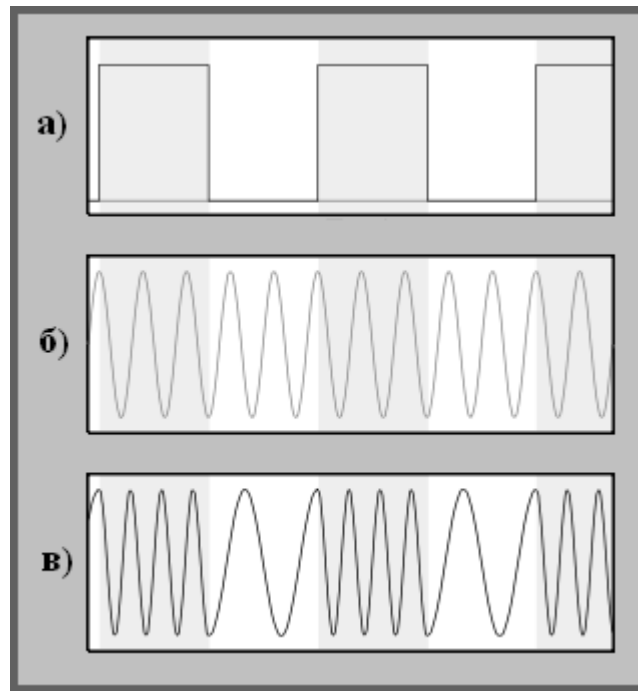


Рис. 2.14 – Частотна маніпуляція: а – модулюючий сигнал; б – та, що несе; в – модульований сигнал

Фазова маніпуляція (англ. phase-shift keying – PSK) була розроблена на початку розвитку програми дослідження дальнього космосу; зараз схема PSK широко використовується в комерційних і військових системах зв'язку. При PSK частота і амплітуда сигналу, що несе, залишаються постійними, а відбувається зсув по фазі кожного разу, коли передається біт даних. У одних PSK схемах зсув проводиться кожного разу на 180° , в інших - на 90° при передачі нуля і на 270° при передачі одиниці. Фазоманіпульований сигнал описується наступним чином:

$$x(t) = \cos\left(\omega_c t + \frac{m_n(t)\Delta\varphi}{2}\right),$$

де $m_n(t)$ – сигнал даних; $\Delta\varphi = \pi/n$, n – число рівнів сигналу даних. У простому випадку передачі окремих біт $n = 1$, і при переході від 0 до 1 фаза змінюється на 180 градусів (π). Як показано на рис. 2.15, значенню 1 відповідає позитивний період на початку циклу, а значенню 0 - негативний.

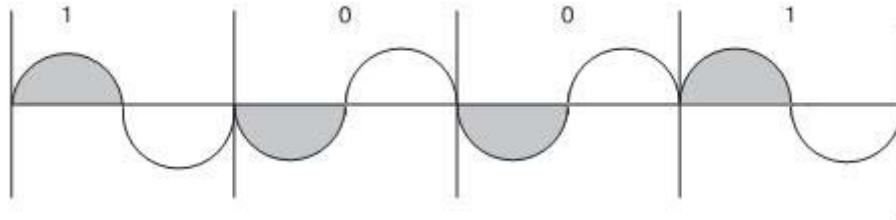


Рис. 2.15 – Фазова маніпуляція (сірим кольором відмічений момент аналізу фази)

Квадратурна модуляція або *квадратурна амплітудна модуляція* (КАМ, англ. Quadrature Amplitude Modulation – QAM) – різновид амплітудної модуляції сигналу, яка є сумою двох несучих коливань однієї частоти, але зсунутих по фазі одне щодо одного на 90° , кожні з яких модульовані по амплітуді своїм модулюючим сигналом:

$$S_{QAM}(t) = I(t) \cos(2\pi f_0 t) + Q(t) \sin(2\pi f_0 t)$$

де $I(t)$ і $Q(t)$ – модулюючі сигнали; f_0 – сигнал частоти, що несе.

При квадратурній модуляції змінюються як фаза, так і амплітуда сигналу, це дозволяє збільшити кількість інформації, що передається одним станом (відліком) сигналу.

Імпульсно-кодова модуляція (ІКМ або англ. Pulse Code Modulation – PCM) використовується для оцифровки аналогових сигналів. Практично всі види аналогових даних (відео, голос, музика, дані телеметрії, віртуальні світи) допускають застосування PCM.

Щоб отримати на вході каналу зв'язку ІКМ-сигнал з аналогового, миттєве значення аналогового сигналу вимірюється через рівні проміжки часу. Кількість оцифрованих значень в секунду (або швидкість оцифровки, частота дискретизації) повинна бути не нижче за 2-кратну максимальну частоту в спектрі аналогового сигналу (згідно теореми Котельникова). Миттєве зміряне значення аналогового сигналу квантується, кількість рівнів квантування завжди береться кратною ступеню двійки, наприклад, 8, 16, 32 або 64. Номер рівня може бути відповідно представлений 3, 4, 5 або 6 бітами. Таким чином, на виході ІКМ-модулятора маємо набір бітів.

На приймальному кінці каналу зв'язку демодулятор перетворює послідовність бітів в імпульси власним генератором з тим же рівнем квантування, який використовував модулятор. Далі ці імпульси використовуються для відновлення аналогового сигналу в цифро-аналоговому перетворювачі (ЦАП).

Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ, англ. Pulse-width modulation – PWM) передбачає, що як та, що несе, використовується періодична послідовність прямокутних імпульсів, а інформаційним параметром, пов'язаним з дискретним модулюючим сигналом, є тривалість цих імпульсів. Періодична послідовність прямокутних імпульсів однакової тривалості має постійну складову, обернено пропорційну шпаруватості імпульсів, тобто прямо пропорційну їх тривалості. Пропустивши імпульси через ФНЧ з частотою зрізу, значно меншою, ніж частота проходження імпульсів, цю постійну складову можна легко виділити. Якщо тривалість імпульсів буде різною, ФНЧ виділить поволі змінну напругу, що відстежує закон зміни тривалості імпульсів. Таким чином, за допомогою ШІМ можна створити нескладний ЦАП: значення відліків сигналу кодуються тривалістю імпульсів, а ФНЧ перетворить імпульсну послідовність в плавно змінний сигнал.

При ШІМ інформацію несе тривалість імпульсу τ . Спотворення фронтів імпульсу наводить до погрішності передачі інформації. На виході лінії зв'язку за рахунок обмеженої смуги її пропускання $\Delta f_{\text{ЛС}}$ отримують замість прямокутного трапецеїдальний імпульс з тривалістю фронту $t_{\text{Ф}} \approx 1/\Delta f_{\text{ЛС}}$. За рахунок порогу спрацьовування приймача з нього формується імпульс тривалістю $\tau^* \neq \tau$, що створює погрішність при передачі інформації.

Фазо-імпульсна модуляція сигналу (ФІМ, англ. PPM – Pulse-position modulation) здійснюється шляхом затримки (або попередження) появи імпульсу на якийсь час, відповідний значенню інформаційних символів.

При фазо-імпульсній модуляції кодування передаваної інформації полягає в зміні позиції імпульсів в групі імпульсів, яка називається кадром. Спотворення фронтів не приводить до погрішності передачі інформації, як у

випадку ШІМ. Але апаратура для модуляції і демодуляції ФІМ-сигналів значно складніша.

2.2 Загальні поняття теорії інформації

2.2.1 Структура інформаційного каналу

Процес управління складається в отриманні інформації про об'єкт управління і вироблення на її основі керуючої інформації. Для передачі інформації використовуються сигнали. Виникає задача оцінки кількості інформації у сигналі і визначення втрат інформації в ході формування сигналів, а також під час передачі сигналів по каналах зв'язку.

Треба розрізняти поняття “інформація” і “повідомлення”. Під повідомленням зазвичай розуміють інформацію, яка виражена в певній формі і підлягає передачі. Повідомлення - це форма представлення інформації.

Повідомлення називається *дискретним*, якщо воно є послідовністю окремих елементів (букв, цифр, символів). Дискретне повідомлення, що складається з n елементів, можна розглядати як слово довжини n , елементи якого приймають значення з кінцевого алфавіту $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$. Зазвичай букви алфавіту x_1, x_2, \dots, x_m кодуються числами, переважно в двійковій системі числення, а відповідні ним сигнали є послідовності імпульсів певної тривалості. Використовуються *рівномірні коди*, в яких букви алфавіту представляються комбінаціями з однакового числа елементів, і *нерівномірні коди*, складені з комбінацій різної довжини. Прикладом рівномірного коду може служити телетайпний код Бодо, а нерівномірного – азбука Морзе, які для деяких українських букв мають вигляд:

Буква	А	Б	В	Г	Д	Е
Код Бодо	10000	00110	01101	01010	11110	01000
Азбука Морзе	·—	—···	— —	— — ·	— · ·	·

Неперервне повідомлення, на відміну від дискретного, представляється безперервною функцією часу (наприклад, при передачі звуків або зображень). Проте на практиці спектр функцій зазвичай обмежується, тобто вважається, що спектральне розкладання не містить частот вище за деяку граничну частоту ω .

Відповідно до теореми Котельникова такі функції цілком визначаються кінцевим числом значень, відлічених через інтервали часу $\Delta t = \pi/\omega$.

Таким чином, передача безперервного повідомлення в тому практично важливому випадку, коли воно може бути представлене функцією з обмеженим спектром, може бути зведена, як і у разі дискретного повідомлення, до передачі послідовності чисел.

Класична теорія інформації була розроблена Клодом Шенноном для рішення задач передачі інформації з мінімальними втратами. Згідно Шеннону, модель системи зв'язку має вигляд, представлений на рис. 2.16.

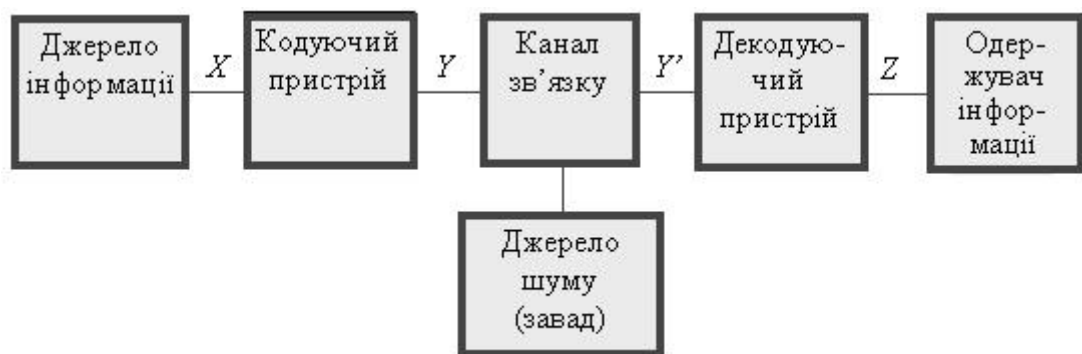


Рис. 2.16 – Структура інформаційного каналу

Модель містить такі складові частини:

- а) джерело інформації, яке виробляє повідомлення або послідовність повідомлень;
- б) кодуєчий пристрій, який перетворює повідомлення в сигнали, придатні для передачі по каналу зв'язку; цей пристрій називають також передавачем;
- в) канал передачі інформації від передавача до приймача;
- г) декодуєчий пристрій, що виконує функції відновлення початкового повідомлення за отриманим сигналом; цей пристрій називають також приймачем;
- д) об'єкт, якому призначається повідомлення (одержувач інформації);
- е) джерело шуму (завад).

В теперешній час на основі класичної теорії інформації створена інформаційна теорія управління.

В системах управління джерелом інформації є об'єкт управління. Повідомленням виступає сигнал від датчика, яким оснащений об'єкт управління. Датчик - це кодуєчий пристрій. Кодуючими пристроями є також і різноманітні перетворювачі, які використовуються в каналі управління.

Похибки, що притаманні датчикам і перетворювачам, розглядаються як завади. Тож канал передачі - це не тільки лінії зв'язку для передачі сигналів, він включає в себе майже усі технічні пристрої, що входять в канал управління. Тобто поділ на складові частини моделі інформаційного каналу (згідно рис. 2.16) здійснюється функціонально, а не апаратурно.

2.2.2 Поняття кількості інформації

Кількість інформації визначається як математична міра зменшення невизначеності знань про який-небудь об'єкт в процесі пізнання. Якщо H_1 - початкова (ап'юріорна) невизначеність знання з даного питання, а H_2 - залишкова (апостеріорна) невизначеність, що характеризує стан знання після отримання повідомлення, то кількість інформації, що міститься в цьому повідомленні визначається різницею:

$$I = H_1 - H_2. \quad (2.56)$$

Таким чином, повідомлення несе тим більше інформації, чим в більшому степені зменшується невизначеність про об'єкт, що досліджується.

Грунтуючись на ідеї, що інформація усуває деяку невизначеність, тобто незнання, опис будь-якої події або об'єкту формально можна розглядати як вказівку на те, в якому з можливих станів знаходиться описуваний об'єкт. Тоді протікання подій в часі є не що інше, як зміна станів, вибраних з деякою вірогідністю з числа всіх можливих станів. Чим вище рівень невизначеності вибору, тим потрібний більший об'єм інформації, і результат вибору має значний ступінь несподіванки. От чому кількість інформації є мірою зняття невизначеності однієї випадкової величини (наприклад, технологічного параметру) в результаті спостереження за іншою (наприклад, сигналом). Якщо ці величини незалежні, то кількість інформації є рівною нулю. В нашому

прикладі, сигнал в цьому разі не несе інформації про відповідний технологічний параметр.

Для оцінки міри невизначеності знань використовуються поняття неупорядкованості і неорганізованості. Об'єкт, що досліджується, характеризується вектором X змінних величин, що характеризують стан об'єкта. Неупорядкованістю \bar{V} називається чисельна міра відхилення вектора X' змінних, отриманих внаслідок дослідження об'єкта, від дійсного вектора X . Як приклад такої міри може виступати модуль різниці реальних і експериментально отриманих імовірностей значень цих змінних.

Якщо неупорядкованість – величина змінна, що приймає різні значення в різних ситуаціях і в різні моменти часу, то неорганізованість – узагальнена за число ситуацій, що розглядаються, і часових інтервалів неупорядкованість

$$\bar{O} = \bigcup_{k=1}^m \theta_k \bigcup_{j=1}^n P_j \bar{V} \quad (2.57)$$

де $\bigcup_{k=1}^m, \bigcup_{j=1}^n$ - символи узагальнення неупорядкованості за m інтервалів часу і n ситуацій; k - вага k -го інтервалу часу; P_j - імовірність j -тої ситуації.

Для практичних цілей як неорганізованість зручно використовувати узагальнену за число ситуацій, що розглядається, характеристику неупорядкованості, зважену, по-перше, по імовірності P_j j -тої ситуації, а по-друге, по істотності вияву неупорядкованості, яка може визначатися вибором деякої функції Ψ від параметра неупорядкованості \bar{P}_j . Тоді неорганізованість визначаємо виразом

$$\bar{O} = \sum_{j=1}^m P_j \Psi(\bar{P}_j). \quad (2.58)$$

Найбільший інтерес представляє логарифмічна функція, яка забезпечує властивість адитивності міри неорганізованості:

$$\bar{O} = \sum_{j=1}^m P_j \log \bar{P}_j. \quad (2.59)$$

Якщо як параметр неупорядкованості використати апріорні імовірності P_j можливих результатів дослідження об'єкта, такі, що сума всіх імовірностей є рівною одиниці, то вираз для неорганізованості набуває вигляду:

$$\bar{I} = H = -\sum_j P_j \log P_j \quad (2.60)$$

Така міра невизначеності була введена Шенноном і отримала назву інформаційної ентропії. Інформаційна ентропія оцінює апріорну невизначеність знань про досліджуваний об'єкт.

Якщо як параметр неупорядкованості використати апостеріорні імовірності Q_j , тобто такі, якими їх вважає одержувач інформації, то для конкретизації виразу (2.59) доцільно застосовувати формулу невизначеності Бонгарда:

$$\bar{O} = N(P/Q) = -\sum_j P_j \log Q_j \quad (2.61)$$

Вираз (2.61) характеризує степінь невизначеності знань про об'єкт, що характеризується розподілом ймовірностей $P=\{P_j\}$ для спостерігача, що одержує результат досліджень з розподілом ймовірностей $Q=\{Q_j\}$.

2.2.3 Властивості ентропії Шеннона

Якщо всі повідомлення рівноймовірні, тобто $P(x_1)=P(x_2)= \dots=P(x_n)=1/n$. ентропія максимальна. Згідно формули (2.60)

$$H(X) = -\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \log \frac{1}{n} = \log n . \quad (2.62)$$

В цьому випадку ентропія визначається виключно числом різних можливих повідомлень n і по суті є характеристикою алфавіту повідомлень. Якщо ж повідомлення різноймовірні, то алфавіт можна розглядати як дискретну випадкову величину, задану статистичним розподілом частот n_i або ймовірностей $p_i = n_i/n$ повідомлень.

Чим менш ймовірне повідомлення, тим воно більш інформативне для одержувача. Якщо формулу (2.60) переписати у вигляді

$$H(X) = -\sum_{i=1}^n P(x_i) \log P(x_i) = \sum_{i=1}^n P(x_i) \log \frac{1}{P(x_i)}$$

то величину $\log[1/P(x_i)]$ можна розглядати як *часткову ентропію*, що характеризує інформативність повідомлення x_i , а ентропію H – як середнє значення часткових ентропій. При малих $P(x_i)$ часткова ентропія велика, а з наближенням $P(x_i)$ до одиниці вона прагне до нуля (рис. 2.17).

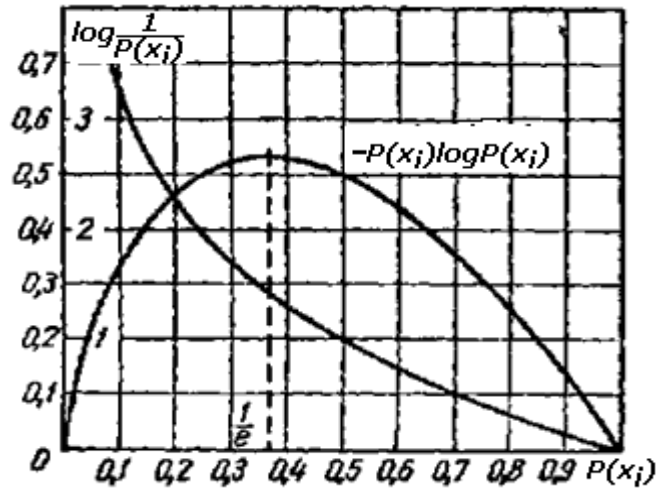


Рис. 2.17

Функція $-P(x_i) \log P(x_i)$ відображає внесок повідомлення x_i в ентропію H . Як видно, при $P(x_i) = 1$ ця функція дорівнює нулю, потім зростає до свого максимуму і при зменшенні $P(x_i)$ прагне до нуля. Щоб знайти максимум, прирівняємо до нуля похідну:

$$0 = \frac{\partial}{\partial P(x_i)} [-P(x_i) \log P(x_i)] = -\log P(x_i) - \log e = \log [P(x_i) e]$$

Звідси отримуємо $P(x_i) e = 1$, де e основа натурального логарифму. Таким чином, функція $-P(x_i) \log P(x_i)$ при $P(x_i) = 1/e = 0,37$ має максимум

$$\frac{1}{e} \log e = 0,531.$$

Ентропія H – величина дійсна, ненегативна і обмежена, тобто $H \geq 0$ (ця властивість виходить з того, що такими ж якостями володіють всі її доданки $P(x_i) \log [1/P(x_i)]$). Ентропія дорівнює нулю, якщо повідомлення відоме наперед (в цьому випадку один елемент повідомлення має ймовірність, рівну одиниці, а ймовірності решти є рівними нулю). Можна також показати, що ентропія

максимальна, якщо всі повідомлення рівноімовірні, тобто $H_{\max} = \log t$. Особливий інтерес представляють *бінарні (двійкового) повідомлення*, що використовують двохбуквений алфавіт (цифри 0 та 1). Оскільки при $n = 2$ ймовірність букв алфавіту $P(x_1) + P(x_2) = 1$, то можна покласти $P(x_1) = P$ і $P(x_2) = 1 - P$. Тоді ентропія визначається співвідношенням:

$$H = -P \log P - (1-P) \log (1-P).$$

Графік цього співвідношення є сумою двох графіків, як це показано на рис. 2.18. Як бачимо, ентропія двійкових повідомлень досягає максимального значення, рівного 1 біту, при $P = 0,5$ і її графік симетричний щодо цього значення.

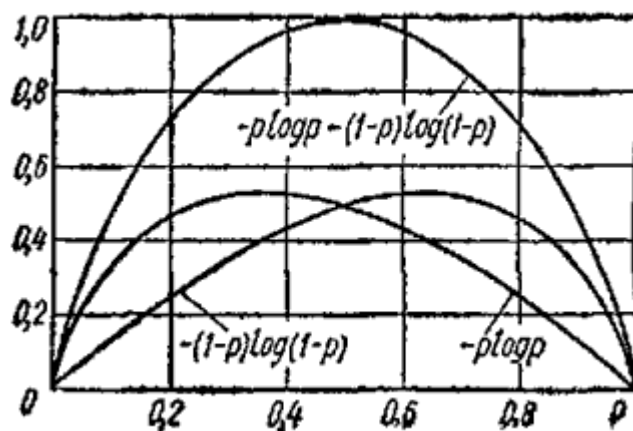


Рис. 2.18

2.2.4 Ентропія неперервного сигналу

Для оцінки ентропії неперервного сигналу застосування формули (2.60) в загальному випадку неможливо. З цієї формули видно, що ентропія є сумою N доданків, які мають вигляд $H_j = -P_j \log P_j$. Якщо сигнал безперервний, то в будь-якому заданому діапазоні $[X_{\min}, X_{\max}]$ він має нескінченне число значень. Сума нескінченного числа складових H_j приводить до ентропії, рівної нескінченності. Однак така постановка питання не має сенсу. Будь-яке вимірювання супроводиться погрішністю. Тому більш правильною буде така постановка задачі: визначити ентропію знання про значення неперервного сигналу, що підлягає вимірюванню з кінцевою похибкою Δ . Тоді діапазон значень сигналу можна розбити на $N = (X_{\max} - X_{\min}) / \Delta$ дільниць. Якщо задана

щільність імовірності $f(X)$ значень величини X , то імовірність того, що внаслідок вимірювання вийде j -е значення, приблизно дорівнює: $f(X_j) \times \Delta = P_j$ (рис.2.19).

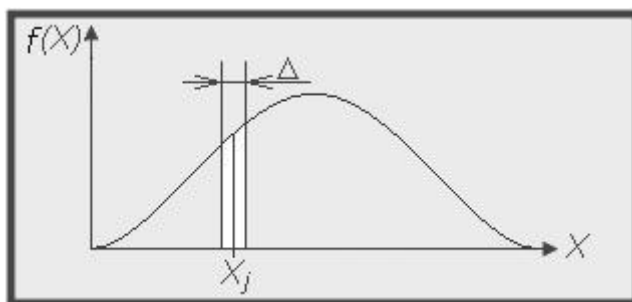


Рис. 2.19

Тоді ентропію можна знайти, підставляючи в її загальну формулу значення P_j ($j=1, \dots, N$).

$$H(X) = - \sum_{j=1}^N f(X_j) \Delta \log [f(X_j) \Delta] . \quad (2.63)$$

Переходячи від суми до інтеграла, отримуємо

$$H(X) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left(- \sum_i f(X_i) \Delta X_i \log f(X_i) \Delta X_i \right) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(X) \log f(X) dX - \int_{-\infty}^{\infty} f(X) dX \log \Delta X \quad (2.64)$$

Враховуючи, що $\int_{-\infty}^{\infty} f(X) dX = 1$, отримаємо

$$H(X) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(X) \log f(X) dX - \log \Delta X = h(X) - \log \Delta X$$

Перший доданок в отриманому вираженні

$$h(X) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(X) \log f(X) dX \quad (2.65)$$

називається диференціальною ентропією. Вона повністю визначається щільністю ймовірностей значень сигналу і не залежить від похибки розрізнення цих значень. Тому всі сигнали з однаковим законом розподілу характеризуються однією і тією ж диференціальною ентропією.

У теорії зв'язку велике значення має рішення питання про те, при якому розподілі забезпечується максимальна ентропія $H(x)$. Можна показати, що при заданій дисперсії $\sigma^2 = \text{const}$ найбільшою інформативністю повідомлення володіє тоді, коли стани елементів розподілені по нормальному закону:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.66)$$

Оскільки дисперсія визначає середню потужність сигналу, то звідси слідує практично важливі висновки. Передача найбільшої кількості інформації при заданій потужності сигналу (або найбільш економічна передача даної кількості інформації) досягається при такій обробці сигналу, яка наближає розподіл до нормального. В той же час, приписуючи нормальний розподіл заваді, забезпечують її найбільшу «інформативність», тобто враховують її згубну дію на проходження сигналів в самому гіршому випадку.

Якщо дисперсія σ^2 не обмежена, то, як показує аналіз, ентропія максимальна за умови, що значення сигналу усередині інтервалу його існування $a \leq X \leq b$ розподілені за рівномірним законом, тобто

$$f(X) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} \text{ ідè } \leq X \leq b; \\ 0 \text{ ідè } X < a \text{ і } X > b. \end{cases}$$

Знайдемо значення ентропії в розглянутих двох випадках. При нормальному законі розподілу

$$h(X) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(X) \log f(X) dx = - \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \log \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx = \log(\sqrt{2\pi e}\sigma). \quad (2.67)$$

Для рівномірного закону

$$h(X) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(X) \log f(X) dX = - \int_a^b \frac{1}{b-a} \log\left(\frac{1}{b-a}\right) dX = - \frac{1}{b-a} \log\left(\frac{1}{b-a}\right) X \Big|_a^b = \log(b-a), \quad (2.68)$$

З курсу теорії ймовірностей відомо, що дисперсія рівномірного розподілу

$$\sigma_p^2 = \frac{(b-a)^2}{12}. \text{ Звідси } b-a = 2\sqrt{3}\sigma_p, \text{ отже } h(X) = \log(2\sqrt{3}\sigma_p).$$

Порівнюючи між собою повідомлення з рівномірним і нормальним розподілом ймовірностей отримуємо співвідношення

$$\sigma_p^2 = \frac{\pi \cdot e}{6} \sigma^2 \approx 1,42 \sigma^2.$$

Це означає, що при однаковій інформативності повідомлень середня потужність сигналів для рівноймовірного розподілу їх амплітуд повинна бути на 42% більше, ніж при нормальному розподілі.

2.2.5 Методи визначення кількості інформації

Внаслідок одержання повідомлення апріорна невизначеність знання про джерело сигналу не може бути знижена до нуля, оскільки завжди є завади в каналі передачі.

Нехай сигнал несе інформацію про вимірне значення технологічного параметру. На рис. 2.20 показаний апріорний розподіл $p(X)$ значень вимірюваної величини і апостеріорний $p'(X)$, який отримуємо після вимірювання з похибкою $\pm\Delta/2$. Внаслідок вимірювання область невизначеності вужчає від $[X_{min}, X_{max}]$ до інтервалу $[X_k - \Delta/2, X_k + \Delta/2]$ довжини Δ , розташованого симетрично відносно отриманого результату X_k .

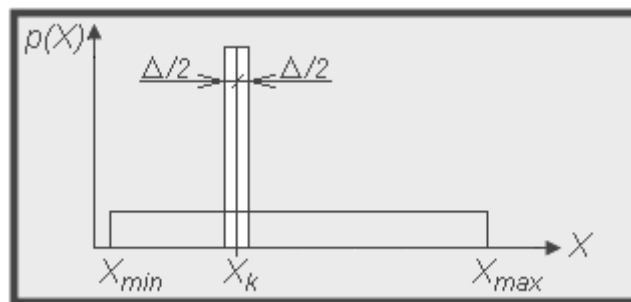


Рис. 2.20

У дискретному випадку, сигнал може приймати тільки фіксовані значення, число яких в заданому діапазоні кінцеве, залишкова невизначеність оцінюється формулою (2.60), в яку підставляються апостеріорні значення ймовірностей сигналу. Визначимо через $P(i/j)$ апостеріорну ймовірність того, що одержувач отримає j -е значення сигналу, в той час як дійсне значення i -е. Оцінимо залишкову невизначеність знання про джерело сигналу X , якщо отриманий результат z_j :

$$H(X / z_j) = -\sum_{i=1}^N P(i / j) \log P(i / j) \quad (2.69)$$

Величина $H(X/z_j)$ називається частковою умовною ентропією. Середня умовна ентропія

$$H(X/Z) = -\sum_j P_j \sum_{i=1}^N P(i/j) \log P(i/j) \quad (2.70)$$

характеризує апостеріорну невизначеність досліджуваного об'єкта, стан якого визначається отриманим сигналом Z . Тоді, згідно (2.56), кількість інформації, що несе сигнал Z :

$$I(X/Z) = H(X) - H(X/Z) \quad (2.71)$$

Найпростішим випадком є вибір альтернативи з двох подій. Тому за одиницю інформації доцільно прийняти кількість інформації, що міститься у виборі однієї з двох рівноймовірних подій. Ця одиниця називається двійковою одиницею, або бітом (binary digit, bit). Отже, при будь-якій невизначеності звуження області вибору удвічі дає один біт інформації.

Апостеріорну невизначеність можна також оцінювати також формулою (2.61). В цьому випадку використовується формула корисної інформації Бонгарда:

$$I_n = H - N(P/Q) = \sum_j P_j \log \frac{Q_j}{P_j}. \quad (2.72)$$

Корисна інформація може приймати як позитивні, так і негативні значення. В останньому випадку повідомлення несе дезінформацію.

2.2.6 Пропускна спроможність каналу передачі

Якщо на відрізку часу T передаються n повідомлень в моменти часу t_i , для яких значення сигналу X_i статистично не залежать одне від одного (не корельовані), то загальна ентропія дорівнює сумі ентропій

$$H_T(X) = \sum_{i=1}^n H_i(X) = nH_i(X) \quad (2.73)$$

Максимальна кількість інформації, що міститься в i -му повідомленні,

$$I_i = H_i(X). \quad (2.74)$$

а загальна інформація, яка може бути отримана у n повідомлень

$$I_T = H_T(X) = nH_i(X). \quad (2.75)$$

Відношення

$$R = \frac{I_T}{T} = \frac{nH_i(X)}{T}, \quad (2.76)$$

що характеризує швидкість отримання інформації, називається продуктивністю джерела сигналу.

При малих завадах невизначеність значень сигналу знімається в момент вимірювання майже повністю. Потім невизначеність зростає, і через час Dt стає рівною $H_i(X)$. Якщо повідомлення формуються через рівні проміжки часу Dt , то їх кількість за час T :

$$n = \frac{T}{\Delta t}. \quad (2.77)$$

Тоді (2.76), з урахуванням (2.77), отримує вигляд:

$$R = \frac{nH_i(X)}{T} = \frac{T}{\Delta t} \frac{H_i(X)}{T} = \frac{H_i(X)}{\Delta t}. \quad (2.78)$$

Таким чином, продуктивність джерела сигналу визначається швидкістю зростання ентропії.

Продуктивність джерела, як і ентропія, залежать від закону розподілу імовірностей сигналу.

Очевидно, що швидкісні характеристики каналу повинні відповідати продуктивності джерела сигналу. Середня швидкість створення інформації визначається виразом (2.76). Ця величина залежить від T , тому як міра швидкості використовується межа $\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{I_T}{T}$.

Верхня границя швидкості може бути знайдена, якщо згадати властивість ентропії приймати максимальне значення, коли всі повідомлення рівноймовірні:

$$C = \sup \left\{ \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{I_T}{T} \right\} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\log n}{T}, \quad (2.79)$$

Така швидкісна характеристика називається пропускнуою спроможністю каналу.

Користуючись (2.76), інформацію, що отримується від джерела за час T , можна виразити через його продуктивність

$$I_T = RT. \quad (2.80)$$

Значення інформації, яке може бути отримане за час T максимальне, якщо продуктивність джерела дорівнює його пропускнуій спроможності

$$I_{T_{\max}} = CT. \quad (2.81)$$

Надмірністю джерела інформації називається відношення

$$\gamma = \frac{I_{T_{\max}} - I_T}{I_{T_{\max}}} = \frac{CT - RT}{CT} = 1 - \frac{R}{C}. \quad (2.82)$$

Якщо джерело інформації, продуктивність якого дорівнює пропускнуій спроможності каналу ($R=C$), у n_0 повідомленнях дає кількість інформації I , то джерело з надмірністю, для якого $R < C$, може забезпечити таку інформацію у $n > n_0$ повідомленнях, тобто треба створити $n - n_0$ надмірних повідомлень. Тоді надмірність можна інакше визначити як

$$g = (n - n_0)/n = 1 - n_0/n. \quad (2.83)$$

Надмірність виникає не тільки при відхиленні закону розподілу сигналу $P(X)$ від оптимального, але і у випадку, якщо між значеннями сигналу X в моменти створення t_i існує статистична залежність, оскільки при цьому зменшується приріст ентропії $H_i(X)$.

2.3 Ефективність комп'ютерно-інтегрованих систем

Існує багато визначень поняття ефективності технічних засобів і систем. Найбільш загальним може бути визначення ефективності як ступеня пристосованості засобів чи систем до виконання поставлених перед ними задач. Стосовно до комп'ютерно-інтегрованих систем доцільно уточнити, що задачею є одержання інформації в необхідному обсязі при заданих витратах економічних, енергетичних чи інших ресурсів.

Для чисельної оцінки ефективності необхідний критерій ефективності (KE). Значення KE визначається процесом функціонування системи і може представлено у вигляді деякого функціонала

$$\Psi = \Psi(\mathbf{K}, \mathbf{V}, \mathbf{X}), \quad (2.84)$$

де \mathbf{K} – вектор параметрів, що визначають стан системи, \mathbf{V} – вектор параметрів, що характеризують вплив зовнішнього середовища, \mathbf{X} – вектор параметрів вимірюваних величин.

Ефективність комп'ютерно-інтегрованих систем має ряд складових, з них найбільш важливою є надійність. Надійність характеризує поведження технічного засобу в часі і є узагальненим поняттям, що включає в себе безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і зберігаємість.

Другою складовою ефективності є точність одержання інформації.

Крім того, на ефективність систем впливають помилки, допущені при їх проектуванні, якщо не враховуються реально існуюча неточність і неповнота апіорної інформації про фізико-хімічні властивості процесів, що мають місце об'єкті управління. У цьому випадку будемо говорити про надійність проектування.

Для обліку всіх аспектів ефективності системи необхідний узагальнюючий критерій, який можна отримати на основі системно-інформаційного аналізу ефективності керуючих систем. Уведемо наступні основні визначення.

Критерієм мети функціонування системи будемо називати кількісно визначену в просторі його станів область значень його величин, що характеризують, відповідному нормальному функціонуванню системи. Ціль буде вважатися досягнутою, якщо вектор параметрів критерію мети \mathbf{X} знаходиться в границях цієї області. Розташування границь може мати випадковий характер, наприклад, у випадку застосування інтервальних оцінок для параметрів критерію мети.

Для оцінки ступеня досягнення мети функціонування системи будемо застосовувати поняття неупорядкованості і неорганізованості (п. 2.2.2).

Неупорядкованість функціонування у даному випадку є чисельною мірою відмінності вектора \mathbf{X} стосовно еталона $\mathbf{X}_{\text{до}}$, що наближається до нуля, якщо $\mathbf{X} \rightarrow \mathbf{X}_{\text{до}}$. Неупорядкованість може бути співвіднесена до границі області досягнення мети $\xi(\mathbf{X})$ і в загальному випадку є функцією чотирьох аргументів: \mathbf{X} , $\mathbf{X}_{\text{до}}$, $\xi(\mathbf{X})$ і часу t . Неорганізованість будемо оцінювати формулою невизначеності Бонгарда (2.61).

У тому випадку, якщо критерій мети оцінюється інтервальною оцінкою, то існують тільки два варіанти: чи значення параметра мети накривається довірчим інтервалом Δ , чи ні. Причому імовірність першої ситуації оцінюється як β (довірча імовірність), імовірність другої – як $(1-\beta)$. У цьому випадку

$$D = \beta \log \frac{\beta}{\alpha} + (1 - \beta) \log \frac{1 - \beta}{1 - \alpha}, \quad (2.85)$$

де α – апіорна (до одержання інтервальної оцінки) довірча імовірність; β – апостеріорна довірча імовірність. Для апіорної довірчої імовірності може бути обране значення, що звичайно застосовується в технічних розрахунках: $\alpha = 0,95$.

Як уже було сказано вище, надійність є однією зі складових ефективності системи. Міра неорганізованості дозволяє досить просто оцінювати вплив різних складових ефективності. Проілюструємо це прикладом урахування технічної надійності і надійності проектування. Нехай функція перетворення системи має вигляд $y = f(K, x)$, де y – результат виміру, x – вимірювана величина, K – деякий невизначений параметр. Значення величини y знаходиться в довірчому інтервалі Δ_y з імовірністю β_y . Розглянемо дві події. Подія A полягає в тому, що довірчий інтервал не накриває значення величини y внаслідок наявності невизначеності K . Імовірність події $P(A) = 1 - \beta_y$. Подія B полягає в тому, що значення величини y не попадає в довірчий інтервал унаслідок технічної відмови системи. Імовірність такої події дорівнює

імовірності відмови P_o . Розглянемо також третю результуючу подію R , що складається в тім, що y не знаходиться в довірчому інтервалі з кожної з причин, чи то внаслідок події A , чи то внаслідок події B . Подія R є диз'юнкція подій A та B . Відповідно ймовірність події R :

$$P(R) = P(A \vee B) = P(A) + P(B) + P(A) \cdot P(B). \quad (2.86)$$

При цьому довірна ймовірність для довірчого інтервалу Δ_y з урахуванням впливу обох факторів буде

$$\beta = 1 - P(R) = \beta_y + \beta_y \cdot P_o. \quad (2.87)$$

Обчислене за допомогою (2.85) і (2.87) значення неорганізованості буде враховувати вплив характеристик технічної надійності і надійності проектування. Приведені викладення можна розширити і для інших складових ефективності комп'ютерно-інтегрованих систем.

Завдяки адитивним властивостям інформації загальний інформаційний критерій ефективності (з урахуванням усіх факторів, що впливають на ефективність) може бути отриманий як сума окремих складових, відповідних статистично незалежним джерелам неорганізованості, таким як неточність інформації, відмови технічних і програмних засобів, неточність і неповнота знань проєктантів.

Методика розрахунку значень загального інформаційного критерію ефективності полягає в наступному.

Будемо використовувати топологічну модель системи у виді графа аналізу ефективності (ГАЕ), що відображає ієрархію цілей функціонування системи (рис. 2.21). Цілі функціонування зображуються вершинам графа, зв'язки між цілями - дугами. На верхньому рівні розташовується вершина, що відповідає глобальній меті функціонування системи, на більш низькому рівні - вершини підцілей, виконання яких є необхідним для виконання вищестоящої цілі і т.д. до найнижчих "незалежних" вершин.

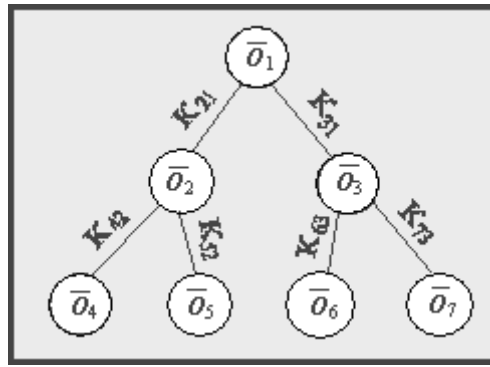


Рис. 2.21 - Приклад ГАЕ

Кожній вершині ГАЕ ставиться у відповідність значення неорганізованості функціонування у відношенні до $\bar{O}_i = \sum K_{ij} \bar{O}_j$ даної мети.

Крім таких основних вершин уводяться також додаткові вершини, що відповідають тим чи іншим джерелам неорганізованості. Далі розв'язується система рівнянь вершин графа

$$\bar{O}_i = \sum K_{ij} \bar{O}_j \quad (2.88)$$

де індекс j відповідає підцілям i -тої мети функціонування, K_{ij} – коефіцієнт передачі дуги, що зв'язує j -ту вершину з i -тою. У найпростішому випадку коефіцієнти передачі дуг приймаються рівними одиниці.

У матричному виді система рівнянь вершин ГАЕ представляється в такий спосіб:

$$[A] \times [\bar{O}] = [B] \quad (2.89)$$

Тут $[A]$ – квадратна матриця розмірності $n \times n$, де n – число «залежних» вершин ГАЕ, тобто вершин, що мають вхідні дуги. Елементи матриці $[A]$ розраховуються в такий спосіб:

$$a_{ij} = -K_{ij} \text{ при } i \neq j;$$

$$a_{ij} = -K_{ij} + 1 \text{ при } i=j,$$

де i – номер рядка, j – номер стовпця.

$[B]$ – стовпець розмірності n , елементи його визначаються виразом

$$b_i = \sum_{k=n+1}^m \bar{O}_k K_{ki} + \sum_{l=m+1}^N \bar{O}_l^* K_{li} \quad (2.90)$$

де N – загальне число вершин графа; m – число основних вершин («залежних» і «незалежних» разом); $m-n$ – число «незалежних» вершин, що не мають вхідних дуг; $N-m$ – число додаткових вершин \bar{O}_l^* .

Значення неорганізованості для «незалежних» вершин вважаються відомими і незалежними від функціонування даної системи. У найпростішому випадку їх можна вважати рівними нулю. Якщо ж треба враховувати зовнішні фактори, то повинні бути визначені значення неорганізованості відповідних «незалежних» вершин. Неорганізованість додаткових вершин може бути розрахована, наприклад, за значеннями ймовірностей відмов за допомогою виразів типу (2.85).

2.4 Контрольні тестові питання до розділу 2

2.4.1 Найбільш компактне представлення числа дає:

- унітарний одноканальний код;
- унітарний позиційний код;
- двійковий код;
- одинично-десятковий код;
- двійково-десятковий код;
- десятковий код.

2.4.2 Інформаційна ентропія це:

- математична міра невизначеності знань про який-небудь об'єкт;
- математична міра зменшення невизначеності знань про який-небудь об'єкт;
- кількість енергії, яку можна перетворити в теплоту;
- функція стану термодинамічної системи;
- кількість інформації у повідомленні.

2.4.3 Потужність шуму квантування – це

- СКВ похибки квантування;
- СКВ квантованого сигналу;

- дисперсія похибки квантування;
- дисперсія квантованого сигналу;
- спектральна щільність похибки квантування;
- спектральна щільність квантованого сигналу.

2.4.4 Функція дискретизації у часі це:

- ступінчаста функція;
- функція, що описується ступінчастою кривою;
- дельта-функція;
- послідовність тактових імпульсів;
- послідовність імпульсів нульової тривалості.

2.4.5 Ентропія неперервної вимірюваної величини ϵ :

- постійною величиною;
- нескінченно малою величиною;
- нескінченно великою величиною;
- рівною щільності ймовірностей похибки вимірювання;
- рівною нулю.

2.4.6 Абсолютна похибка ідеального квантувача досягає значення:

- номінального ступеня квантування;
- $1/2$ номінального ступеня квантування;
- $1/(M-1)$, де M – число можливих різних кодів квантувача;
- X_{\max}/M , де M – число можливих різних кодів квантувача;
- середньоквадратичного відхилення.

2.4.6 Диференціальна ентропія визначається:

- похибкою розрізнення значень сигналу;
- похибкою вимірювання значень сигналу;
- щільністю ймовірностей значень сигналу;
- діапазоном значень сигналу;
- спектром сигналу.

2.4.7 Квантуванням сигналу називається :

- процес заміни значень сигналу числами;
- процес заміни значень сигналу миттєвими значеннями у визначені моменти;
- процес заміни значень сигналу значеннями іншої величини, функціонально з нею пов'язаними;
- процес заміни значень сигналу найближчими дозволеними значенням;
- процес відновлення значень сигналу із заданою погрішністю.

2.4.8 Випадковий сигнал називають стаціонарним, якщо

- він має сталі значення;
- він має значення, що лежить в обмеженій зоні;
- він має спектр дисперсій з обмеженою смугою частот;
- створений стаціонарно розміщеним пристроєм;
- створений переносним пристроєм;
- має рівномірний закон розподілу;
- має закон розподілу, що не залежить від часу.

2.4.9 Пропускною спроможністю каналу називається:

- властивість ентропії приймати максимальне значення, коли всі результати рівновірогідні;
- продуктивність джерела вимірювальної інформації;
- невизначеність значень сигналу на виході каналу
- міра швидкості створення інформації;
- верхня границя швидкості створення інформації.

2.4.10 Відновити усі значення дискретизованого за Котельниковим сигналу можна за допомогою

- фільтру низьких частот;
- аналого-цифрового перетворювача;
- цифро-аналогового перетворювача;
- дискретного перетворення Фур'є;
- інтегрального перетворення Фур'є;
- використання функції дискретизації.

3 ВСТУП У ТЕХНОЛОГІЮ РОЗПОДІЛЕНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

3.1 Визначення розподіленої інформаційної системи

За особливостями територіального розміщення й організації взаємодії частин інформаційної системи розрізняють такі типи систем: зосереджені та розподілені.

Увесь комплекс устаткування зосереджених інформаційних систем розміщений в одному місці, а зв'язок між окремими пристроями забезпечується стандартними інтерфейсами без використання каналів зв'язку.

Загальна тенденція удосконалення автоматизованих систем управління — це децентралізація структури АСУ, яка ґрунтується на розподільній (децентралізованій) обробці інформації. Розподілені інформаційні системи (РІС) являють собою територіально розосереджені системи, що складаються із взаємодіючих між собою обчислювальних пристроїв і терміналів, зв'язаних між собою каналами передачі даних. Це дає змогу наблизити відповідне устаткування до місць виникнення і використання інформації, розподілити його за окремими функціональними сферами діяльності.

Принципово можливі чотири підходи до організації технології обробки даних в АСУ: централізоване зберігання й обробка інформації за умови централізованого управління економіко-виробничими об'єктами (традиційні АСУ); централізоване зберігання й обробка інформації за умови децентралізованих або незалежних систем управління (наприклад, обчислювальних центрів колективного використання); розподільне зберігання та обробка інформації при централізованому управлінні; розподільне зберігання й обробка інформації при децентралізованому управлінні.

Структурно розподілена обробка інформації реалізується у вигляді мереж обчислювальних машин.

3.2 Технології оброблення інформації в розподілених системах

Для оброблення інформації в розподілених системах використовують три основні технології:

- а) “хазяїн-слуга” (master-slave);
- б) “клієнт-сервер”;
- в) рівнорангову (peer-to-peer).

У технології “хазяїн-слуга” головний процес оброблення інформації (“master”) ініціює і керує будь-яким діалогом з іншими підлеглими інформаційними процесами (“slave”). Підлеглі процеси відповідають на команди центрального процесу тільки на його запит. Процес “master” реалізується центральним комп'ютером, до якого через канали зв'язку під'єднуються периферійні пристрої, які реалізують процеси типу “slave”.

Сервером називається абонент (вузол) мережі, який надає свої ресурси іншим абонентам, але сам не використовує ресурси інших абонентів, тобто служить тільки мережі. Серверів в мережі може бути декілька, і зовсім не обов'язково сервер – це наймогутніший комп'ютер. Виділений сервер – це сервер, що займається тільки мережевими завданнями. Невиділений сервер може займатися крім обслуговування мережі і іншими завданнями. Специфічний тип сервера – мережевий принтер.

Клієнтом називається абонент мережі, який тільки використовує мережеві ресурси, але сам свої ресурси в мережу не віддає, тобто мережа його обслуговує. Комп'ютер-клієнт також часто називають робочою станцією.

Під сервером і клієнтом часто розуміють не самі комп'ютери, а програмні засоби, що працюють на них, а також процеси, що ними реалізуються. За технологією “клієнт-сервер” процес-клієнт виступає замовником деякого обслуговування. Це обслуговування забезпечує один чи кілька процесів, званих серверами. після закінчення обслуговування вони посилають відповідь клієнту. Такий режим називають режимом “запит-відповідь”. На відміну від технології

“хазяїн-слуга” процеси клієнта і сервера рівноправні, але виконують різні функції.

У невеликих мережах кожен обчислювальний пристрій може бути конфігурований і як клієнт, і як сервер одночасно. Такий частковий випадок технології “клієнт-сервер” називають рівноранговою технологією. В рівнорангових мережах всі абоненти рівноправні і можуть виконувати однакові функції. Такі системи дешевші, але мають більш низьку продуктивність, яка різко падає зі збільшенням числа абонентів у мережі.

3.3 Еталонна модель взаємодії відкритих систем

Обмін інформацією потребує принаймі двох партнерів, що розуміють один одного. Такий обмін може відбутися тільки в тому разі, якщо партнери дотримуються деяких правил. З метою створення єдиної концепції обміну даними Міжнародна організація зі стандартизації ISO розробила еталонну модель взаємозв'язку відкритих систем OSI (Open Systems Interconnection), що має сім ієрархічних рівнів (рис. 3.1).



Рис. 3.1

Набір правил організації взаємодії між сусідніми рівнями в цій моделі називається інтерфейсом, а правила взаємодії між однаковими рівнями в різних системах, що обмінюються інформацією, називаються протоколами.

Фізичний рівень стосується передавання бітів інформації по фізичних каналах зв'язку, таких, як, наприклад, телефонний чи радіоканал. На цьому рівні визначаються характеристики сигналів, типи конекторів і призначення кожного контакту конектора. Фізичний рівень забезпечує встановлення, підтримання і розрив фізичного з'єднання між двома комп'ютерними системами.

Канальний рівень керує передаванням даних по каналу зв'язку. Якщо на фізичному рівні просто передаються біти, то на каналному виконуються функції перевірки доступності передавального середовища, виявлення та коректування помилок. Для цього дані розбиваються на порції, звані кадрами (frames). Канальний рівень забезпечує коректність передавання кожного кадру, розміщуючи спеціальну послідовність бітів у початок і кінець кожного кадру для його відокремлення, обчислює контрольну суму і вставляє її в кадр. Контрольна сума – це сума всіх бітів або байтів даних кадру. Коли кадр отримує приймач інформації, він також обчислює контрольну суму та порівнює її з переданою контрольною сумою. Якщо вони не збігаються, фіксується помилка. Канальний рівень може виправляти помилки, повторюючи передавання ушкоджених кадрів.

Мережевий рівень забезпечує встановлення і підтримку зв'язку між двома конкретними абонентами у багатовузловій мережі. Також здійснюється *маршрутизація* даних. Щоб передати повідомлення від відправника до одержувача, потрібно пройти кілька транзитних вузлів, щоразу вибираючи оптимальний маршрут. Дані, що передаються на мережевому рівні, також поділяються на порції, звані пакетами, причому кожний пакет може передаватись по своєму маршруту.

На шляху від відправника до одержувача пакети можуть бути спотворені або загублені, іноді можуть з'являтися їх дублікати. Для керування потоком даних, запобігання втрати чи переповнення даних застосовується *транспортний рівень*.

Протоколи фізичного, каналного, мережевого та транспортного рівнів зорієнтовані на передачу даних і називаються протоколами нижніх рівнів на відміну від протоколів трьох верхніх рівнів, які забезпечують зв'язок з прикладними задачами контролю чи керування.

Сеансовий рівень забезпечує встановлення, підтримання і закінчення сеансу зв'язку, а також поновлення перерваного сеансу через аварію.

Рівень подання даних визначає форму подання даних таким чином, щоб дані, передані прикладним рівнем одного абонента мережі були зрозумілими прикладному рівню іншого абонента. Крім того, на цьому рівні виконується шифрування та розшифрування даних, їх ущільнення для збільшення швидкості передачі і відповідна розпаковка на приймальній стороні.

Прикладний рівень забезпечує послуги для прикладних задач. У випадку АСК ТП це задачі контролю та керування. У корпоративних мережах та Інтернеті прикладними задачами є обмін файлами, електронна пошта і т.п. Прикладний рівень визначає доступність прикладних задач до зв'язку, синхронізує взаємодіючі прикладні задачі, загальне керування мережею. Одиницю даних, з якою керує прикладний рівень, називають повідомленням (message).

Отже, кожен рівень має взаємодіяти з аналогічним рівнем іншого абонента мережі і обслуговувати більш високий рівень свого абонента. Для того, щоб однакові рівні різних абонентів могли правильно взаємодіяти, перед даними додається керувальна інформація, звана заголовком, а в кінці даних – службова інформація, звана кінцевиком. Кожен рівень передавача додає свій заголовок і свій кінцевик. Коли повідомлення надходить до адресата, воно приймається його фізичним рівнем і переміщується вгору з рівня на рівень. Кожен рівень аналізує свої заголовки та кінцевик, виконує свої функції і, після видалення цих заголовка і кінцевика, передає дані на більш високий рівень.

3.4 Основні компоненти розподілених інформаційних систем

3.4.1 Устаткування розподілених інформаційних систем

Розподілені інформаційні системи містять такі основні компоненти:

- а) кінцеве устаткування даних DTE (Data Terminal Equipment);
- б) устаткування закінчення каналу даних DCE (Data Circuit-terminal Equipment);
- в) устаткування комутації та маршрутизації даних DSE (Data Switchin Equipment);
- г) передавальне середовище.

Кінцеве устаткування даних DTE – це узагальнене поняття, використовуване для опису системи кінцевого користувача. Таким може бути комп'ютер, контролер, робоча станція або будь-який пристрій введення-виведення інформації.

Основна функція DCE полягає в тому, щоб забезпечити доступ кінцевого устаткування до передавального середовища. Прикладом DCE є модем, що виконує перетворення цифрової інформації в аналогову форму для передачі по телефонних каналах.

Основна функція DSE – передавання даних, комутація та маршрутизація у мережі від джерела до одержувача. Прикладом такого устаткування є концентратор (рис. 3.2, а), що має n входів та один вихід. На входи надходять дані з декількох джерел, а на виході є канал, у який передається сумарний потік даних. Другий приклад – комутатор (рис. 3.2, б), що має n входів та m виходів і переспрямовує вхідні потоки даних по різних каналах залежно від адресата.

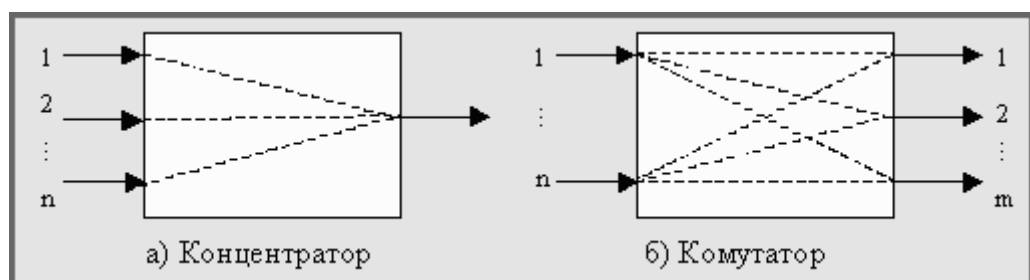


Рис. 3.2

DTE разом з DCE утворюють вузли мережі, а передавальне середовище разом з DSE називають мережею передавання даних.

3.4.2 Типи і характеристики передавальних середовищ

Основні типи передавальних середовищ, використовуваних в інформаційних мережах:

- а) аналогові телефонні канали загального користування;
- б) цифрові телефонні канали;
- в) дротові кабельні канали;
- г) наземні радіоканали і супутникові канали зв'язку;
- д) волоконно-оптичні канали зв'язку.

Основні характеристики каналів зв'язку:

- а) ширина смуги пропускання – різниця частот верхньої f_2 і нижньої f_1 границь смуги пропускання:

$$W = f_2 - f_1;$$

- б) відношення сигнал-шум S/N у децибелах, де S – середня потужність сигналу, N – середня потужність шуму;

- в) максимальна швидкість згідно формули Шеннона:

$$C = W \log_2(1+S/N);$$

- г) середня ймовірність помилки.

Найбільше поширення в інформаційних мережах АСК ТП знайшли кабелі, які можна розділити на три великі групи:

- кабелі на основі витих пар проводів (twisted pair), які діляться на екрановані (shielded twisted pair, STP) і неекрановані (unshielded twisted pair, UTP);
- коаксіальні кабелі (coaxial cable);
- оптоволоконні кабелі (fiber optic).

Кожен тип кабелю має свої переваги і недоліки, так що при виборі типу кабелю треба враховувати як особливості вирішуваної задачі, так і особливості конкретної мережі, у тому числі і використовувану топологію. В даний час діє стандарт на кабелі EIA/TIA 568 (Commercial Building Telecommunications Cabling Standard), що прийнятий в 1995 році і замінив всі фірмові стандарти, що діяли раніше.

Виті пари проводів використовуються в найдешевших і на сьогоднішній день, мабуть, найпопулярніших кабелях. Кабель на основі витих пар є декількома попарно скрученими ізольованими мідними проводами в єдиній діелектричній (пластиковою) оболонці. Він досить гнучкий і зручний для прокладки.

Зазвичай в кабель входить дві (рис. 3.3) або чотири виті пари.

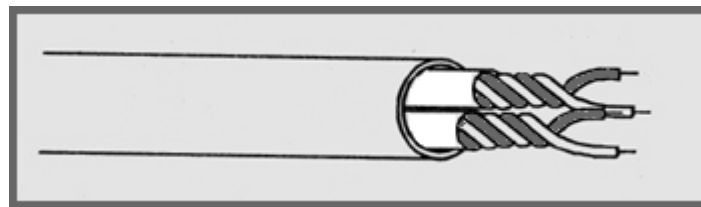


Рис. 3.3

Неекрановані виті пари характеризуються слабкою захищеністю від зовнішніх електромагнітних завад, а також слабкою захищеністю від підслуховування з метою, наприклад, промислового шпигунства. Перехоплення передаваної інформації можливе як за допомогою контактного методу (за допомогою двох голочок, увіткнених в кабель), так і за допомогою безконтактного методу, що зводиться до радіоперехоплення випромінюваних кабелем електромагнітних полів. Для усунення цих недоліків застосовується екранування.

Зазвичай провід у витій парі має діаметр 0,6 мм, загасання 40 дБ/км на частоті 10 МГц та опір 100 Ом на частоті 1 МГц.

У разі екранованої виті пари STP кожна з витих пар поміщується в металеву оплітку-екран для зменшення випромінювань кабелю, захисту від зовнішніх електромагнітних завад і зниження взаємного впливу пар проводів один на одного (crosstalk - перехресні наведення). Природно, екранована вита

пара набагато дорожча, ніж неекранована, а при її використанні необхідно застосовувати і спеціальні екрановані конектори, тому зустрічається вона значно рідше, ніж неекранована вита пара.

Основні достоїнства неекранованих витих пар - простота монтажу конекторів на кінцях кабелю, а також простота ремонту будь-яких пошкоджень в порівнянні з іншими типами кабелю. Решта всіх характеристик у них гірша, ніж у інших кабелів. Наприклад, при заданій швидкості передачі загасання сигналу (зменшення його рівня у міру проходження по кабелю) у них більше, ніж у коаксіальних кабелів. Якщо врахувати ще низьку завадозахисність, то стає зрозумілим, чому лінії зв'язку на основі витих пар, як правило, досить короткі (зазвичай в межах 100 метрів). В даний час вита пара використовується для передачі інформації на швидкостях до 100 Мбіт/с і ведуться роботи по підвищенню швидкості передачі до 1000 Мбіт/с.

4-х парний кабель CAT5 (смуга частот 100 МГц), завдяки високій швидкості передачі, до 100 Мбіт/с при використанні 2-х пар і до 1000 Мбіт/с, при використанні 4-х пар, є найпоширенішим мережевим носієм, що використовується в комп'ютерних мережах. При прокладці нових мереж користуються дещо вдосконаленим кабелем CAT5e (смуга частот 125 МГц), який краще пропускає високочастотні сигнали. Обмеження на довжину кабелю між пристроями 100 м.

Коаксіальний кабель складається з центрального дроту і металеві оплетки, розділених між собою шаром діелектрика (внутрішній ізоляції) і поміщених в загальну зовнішню оболонку (рис. 3.4).



Рис. 3.4

Коаксіальний кабель до недавнього часу був поширений найширше, що пов'язане з його високою заводо захищеністю (завдяки металевій оплетці), а також вищими, ніж у разі виті пари, допустимими швидкостями передачі даних (до 500 Мбіт/с) і великими допустимими відстанями передачі (до кілометра і вище). До нього важче механічно підключитися для несанкціонованого прослуховування мережі, він також дає помітно менше електромагнітних випромінювань зовні. Проте монтаж і ремонт коаксіального кабелю істотно складніші, ніж виті пари, а вартість його вища (він дорожче приблизно в 1,5–3 рази в порівнянні з кабелем на основі витих пар). Складніше і установка конекторів на кінцях кабелю. Тому його зараз застосовують рідше, ніж виту пару.

Основне застосування коаксіальний кабель знаходить в мережах з топологією типу "шина". Рідше коаксіальні кабелі застосовуються в мережах з топологією "зірка".

Існує два основні типи коаксіального кабелю:

- тонкий (thin) кабель, що має діаметр близько 0,5 см, гнучкіший;
- товстий (thick) кабель, що має діаметр близько 1 см, значно жорсткіший. Він є класичним варіантом коаксіального кабелю, який вже майже повністю витиснений сучаснішим тонким кабелем.

Тонкий кабель використовується для передачі на менші відстані, чим товстий, оскільки в нім сигнал затухає сильніше. Зате з тонким кабелем набагато зручніше працювати: його можна оперативнo прокласти до кожного комп'ютера, а товстий вимагає жорсткої фіксації на стіні приміщення. Підключення до тонкого кабелю (за допомогою конекторів BNC байонетного типу) простіше і не вимагає додаткового устаткування, а для підключення до товстого кабелю треба використовувати спеціальні досить дорогі пристрої, оболонки, що проколюють його, і що встановлюють контакт як з центральною жилою, так і з екраном. Товстий кабель приблизно удвічі дорожче, ніж тонкий. Тому тонкий кабель застосовується набагато частіше.

В даний час вважається, що коаксіальний кабель застарілий, в більшості випадків його цілком може замінити вита пара або оптоволоконний кабель. Нові стандарти на кабельні системи вже не включають його в перелік типів кабелів.

Оптоволоконний (він же волоконно-оптичний) кабель - це принципово інший тип кабелю в порівнянні з розглянутими двома типами електричного або мідного кабелю. Інформація по ньому передається не електричним сигналом, а світловим. Головний його елемент – це прозоре скловолокно, по якому світло проходить на величезні відстані (до десятків кілометрів) з незначним ослабленням.

Структура оптоволоконного кабелю дуже проста і схожа на структуру коаксіального електричного кабелю (рис. 3.5), тільки замість центрального мідного дроту тут використовується тонке (діаметром близько 1–10 мкм) скловолокно, а замість внутрішньої ізоляції - скляна або пластикова оболонка, що не дозволяє світлу виходити за межі скловолокна. В даному випадку ми маємо справу з режимом так званого повного внутрішнього віддзеркалення світла від межі двох речовин з різними коефіцієнтами заломлення (у скляної оболонки коефіцієнт заломлення значно нижчий, ніж у центрального волокна). Металева оплетка кабелю зазвичай відсутня, оскільки екранування від зовнішніх електромагнітних завад тут не потрібне, проте іноді її все-таки застосовують для механічного захисту від навколишнього середовища (такий кабель іноді називають броньовим, він може об'єднувати під однією оболонкою декілька оптоволоконних кабелів).

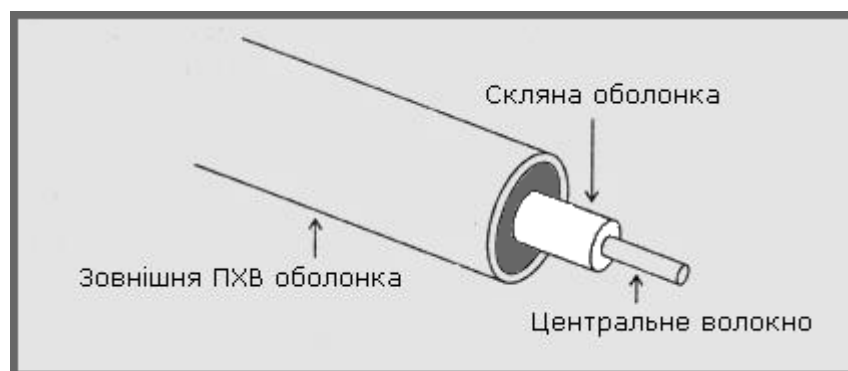


Рис. 3.5

Оптоволоконний кабель володіє винятковими характеристиками по завадозахищеності і секретності передаваної інформації. Ніякі зовнішні електромагнітні завади в принципі не здатні спотворити світловий сигнал, а сам цей сигнал принципово не породжує зовнішніх електромагнітних випромінювань. Підключитися до цього типу кабелю для несанкціонованого прослуховування мережі практично неможливо, оскільки це вимагає порушення цілісності кабелю. Теоретично можлива смуга пропускання такого кабелю досягає величини 10¹² ГГц, що незрівнянно вище, ніж у будь-яких електричних кабелів. Вартість оптоволоконного кабелю постійно знижується і зараз приблизно є рівною вартості тонкого коаксіального кабелю. Проте в даному випадку необхідне застосування спеціальних оптичних приймачів і передавачів, що перетворюють світлові сигнали в електричні і навпаки, що деколи істотно збільшує вартість мережі в цілому.

Застосовують оптоволоконний кабель тільки в мережах з топологією "зірка" і "кілеце".

В майбутньому цей тип кабелю, ймовірно, витіснить електричні кабелі всіх типів або, в усякому разі, сильно потіснить їх. Запаси міді на планеті виснажуються, а сировини для виробництва скла більш ніж достатньо.

Проте оптоволоконний кабель має і деякі недоліки.

Найголовніший з них - висока складність монтажу (при установці конекторів необхідна мікронна точність, від точності зколу скловолоконна і ступеня його полірування сильно залежить загасання в конекторі). Для установки конекторів застосовують зварку або склеювання за допомогою спеціального гелю, що має такий же коефіцієнт заломлення світла, що і скловолоконно. У будь-якому випадку для цього потрібна висока кваліфікація персоналу і спеціальні інструменти. Тому найчастіше оптоволоконний кабель продається у вигляді наперед нарізаних шматків різної довжини, на обох кінцях яких вже встановлені конектори потрібного типу.

Хоча оптоволоконні кабелі і допускають розгалуження сигналів (для цього випускаються спеціальні розгалужувачі на 2–8 каналів), як правило, їх

використовують для передачі даних тільки в одному напрямі, між одним передавачем і одним приймачем. Адже будь-яке розгалуження неминуче сильно ослабляє світловий сигнал, і якщо розгалужень буде багато, то світло може просто не дійти до кінця мережі.

Оптоволоконний кабель менш міцний, чим електричний, і менш гнучкий (типова величина допустимого радіусу вигину складає близько 10–20 см). Чутливий він і до іонізуючих випромінювань, із-за яких знижується прозорість скловолокна, тобто збільшується загасання сигналу. Чутливий він також до різких перепадів температури, в результаті яких скловолокно може тріснути.

Оптоволоконні кабелі чутливі також до механічних дій (удари, ультразвук) – так званий мікрофонний ефект. Для його зменшення використовують м'які звукопоглинальні оболонки.

Існують два різні типи оптоволоконних кабелів:

- багатомодовий, або мультимодовий, кабель, дешевший, але менш якісний;
- одномодовий кабель більш дорогий, але має кращі характеристики.

Основні відмінності між цими типами пов'язані з різним режимом проходження світлових променів в кабелі.

У одномодовому кабелі практично всі промені проходять один і той же шлях, внаслідок чого всі вони досягають приймача одночасно, і форма сигналу практично не спотворюється. Одномодовий кабель має діаметр центрального волокна близько 1,3 мкм і передає світло тільки з такою ж довжиною хвилі (1,3 мкм). Дисперсія і втрати сигналу при цьому дуже незначні, що дозволяє передавати сигнали на значно більшу відстань, чим у разі застосування багатомодового кабелю. Для одномодового кабелю застосовуються лазерні приймачі-передавачі, що використовують світло виключно з необхідною довжиною хвилі. Такі приймачі-передавачі поки що порівняно дорогі і не дуже довговічні. Проте в перспективі одномодовий кабель повинен стати основним завдяки своїм прекрасним характеристикам.

У багатомодовому кабелі траєкторії світлових променів мають помітний розкид, внаслідок чого форма сигналу на приймальному кінці кабелю спотворюється. Центральне волокно має діаметр 62,5 мкм, а діаметр зовнішньої оболонки – 125 мкм (це іноді позначається як 62,5/125). Для передачі використовується звичайний (не лазерний) світлодіод, що знижує вартість і збільшує термін служби приймачів-передавачів в порівнянні з одномодовим кабелем. Довжина хвилі світла в багатомодовому кабелі рівна 0,85 мкм. Допустима довжина кабелю досягає 2–5 км. В даний час багатомодовий кабель - основний тип оптоволоконного кабелю, оскільки він дешевший і доступніший.

Волоконно-оптичні канали, незважаючи на їх підвищену вартість порівняно з іншими видами зв'язку, набувають дедалі більшого поширення завдяки високій якості зв'язку.

Окрім кабельних, в комп'ютерних мережах іноді використовуються також безкабельні канали.

Радіоканал використовує передачу інформації по радіохвилях, тому може забезпечити зв'язок на сотні і навіть тисячі кілометрів. Швидкість передачі може досягати десятків мегабіт в секунду (тут багато що залежить від вибраної довжини хвилі і способу кодування). Проте в локальних мережах радіоканал не набув широкого поширення із-за досить високої вартості передавальних і приймальних пристроїв, низької завадозахисної, повної відсутності секретності передаваної інформації і низької надійності зв'язку. А ось для глобальних мереж радіоканал часто є єдиною можливим рішенням, оскільки дозволяє за допомогою супутників-ретрансляторів порівняно просто забезпечити зв'язок зі всім світом. Використовують радіоканал і для зв'язку двох локальних мереж, що знаходяться далеко одна від одної, в єдину мережу.

Існує декілька стандартних типів радіопередачі інформації. Зупинимося на двох з них.

- Передача у вузькому спектрі (або одночастотна передача) розрахована на обхват площі до 46 500 м². Радіосигнал в даному випадку не проникає через

металеві і залізобетонні завади, тому навіть в межах однієї будівлі можуть бути серйозні проблеми із зв'язком. Зв'язок в даному випадку відносно повільний (близько 4,8 Мбіт/с).

- Передача в розсіяному спектрі для подолання недоліків одночастотної передачі припускає використання деякої смуги частот, розділеної на канали. Всі абоненти мережі через певний часовий інтервал синхронно переходять на наступний канал. Для підвищення секретності використовується спеціальне кодування інформації. Швидкість передачі при цьому невисока - не більше 2 Мбіт/с, відстань між абонентами - не більше 3,2 км на відкритому просторі і не більше 120 м усередині будівлі.

Окрім вказаних типів, існують і інші радіоканали, наприклад стільникові мережі, що будуються за тими ж принципами, що і стільникові телефонні мережі (вони використовують рівномірно розподілені за площею ретранслятори), а також мікрохвильові мережі, що застосовують вузьконаправлену передачу між наземними об'єктами або між супутником і наземною станцією.

Інфрачервоний канал також не вимагає сполучних проводів, оскільки використовує для зв'язку інфрачервоне випромінювання.

Інфрачервоні канали діляться на дві групи:

- Канали прямої видимості, в яких зв'язок здійснюється на променях, що йдуть безпосередньо від передавача до приймача. При цьому зв'язок можливий тільки за відсутності перепон між комп'ютерами мережі. Протяжність каналу прямої видимості може досягати декількох кілометрів.

- Канали на розсіяному випромінюванні, які працюють на сигналах, відбитих від стін, стелі, підлоги і інших перепон. Перепони в даному випадку не страшні, але зв'язок може здійснюватися тільки в межах одного приміщення.

Гранична швидкість передачі інформації по інфрачервоному каналу не перевищує 5–10 Мбіт/с. Головна його перевага в порівнянні з радіоканалом – нечутливість до електромагнітних завад, що дозволяє застосовувати його, наприклад, у виробничих умовах. Правда, в даному випадку потрібна досить

висока потужність передачі, щоб не впливали ніякі інші джерела теплового (інфрачервоного) випромінювання. Погано працює інфрачервоний зв'язок і в умовах сильної запиленості повітря.

Секретність передаваної інформації, як і для радіоканалу, також не досягається. Як і у разі радіоканалу потрібні порівняно дорогі приймачі і передавачі. Все це призводить до того, що застосовують інфрачервоні канали досить рідко.

Супутникові канали зв'язку є оптимальним, а іноді і єдиним засобом для вирішення багатьох завдань.

Всі сучасні мережі супутникового зв'язку із значним об'ємом трафіку реалізуються на сучасних геостаціонарних супутниках, розташованих в різних екваторіальних позиціях. Щоб уникнути інтерференції вони розташовуються на відстані в 2° один від одного (всього 180 місць). Для впорядкування процесу були прийняті ряд міжнародних угод з питання використання ділянок орбіт і частотних діапазонів. При цьому використовуються також малі наземні станції типу VSAT (Very Small Aperture Terminal) без системи наведення антени на супутник.

Відмітними особливостями мереж на основі супутникових каналів зв'язку є великий час проходження сигналу в каналі (250–300 мс проти 3 мкс/км в оптоволоконне), ефект Доплера, що виявляється із-за руху супутника по орбіті, і висока якість каналу. Вони знаходяться поза конкуренцією у важкопрохідній місцевості і там, де необхідне ширококомовлення.

Можливе створення різних конфігурацій супутникових мереж і застосування різних протоколів інформаційних потоків.

Новий виток у використанні супутників наступив з реалізації проекту створення мережі низькоорбітальних супутників типа Iridium. Суть цього і йому подібних проектів полягає в спробі покрити поверхню землі множиною осередків від точкових променів низькоорбітальних супутників (у проекті Iridium 66 супутників повинні в сукупності забезпечити 1628 осередків), що дозволить надати універсальні послуги в будь-якій точці земної кулі.

3.4.3 Методи передачі даних на фізичному рівні

Коли ми хочемо передати дані, використовуючи аналогові телефонні лінії, ми повинні конвертувати електричні сигнали від DTE у форму прийнятну для суспільних телефонних мереж. Оскільки спочатку телефонні мережі призначалися тільки для мовних комунікацій і їх смуга пропускання була встановлена від 400 до 3400 Гц.

Внаслідок цього по телефонних лініях неможливо передавати ступінчасті сигнали 0 і 1. Необхідно перетворити початковий сигнал на сигнал з допустимого діапазону. Така операція називається модуляцією (див. п. 2.1.7). Операція відновлення початкового сигналу з модульованого називається демодуляцією. Пристрій, який виконує операцію модуляції і демодуляції на обох сторонах каналу, називається модем.

Класичні методи модуляції за інших рівних умов істотно відрізняються між собою по ступеню стійкості до завад. У високошвидкісних модемах для подальшого поліпшення завадостійкості (при незмінному відношенні сигнал-шум в лінії) використовуються зазвичай комбінації з класичних методів модуляції, зокрема, різні варіанти амплитудно-фазової модуляції.

Зв'язок за допомогою модемів вимагає якісних телефонних каналів. Якнайкращі результати забезпечує використання виділених ліній

Wi-Fi (скорочення від Wireless Fidelity, з англ. – бездротова точність) – технологія бездротової передачі даних (діапазон 2,4 ГГц і 5 ГГц). Підтримку Wi-Fi можна зустріти в ноутбуках, кишенькових персональних комп'ютерах (КПК), мобільних телефонах, тому їх легко під'єднати до бездротової Wi-Fi мережі.

Є два варіанти побудови Wi-Fi Мережі:

- Infrastructure Wi-Fi, коли комп'ютери сполучені в радіомережу з використанням точки доступу (Access Point Wi-Fi), яка управляє мережею і до якої підключаються клієнтські ПК.
- Ad-hoc Wi-Fi або computer-to-computer, коли немає спеціального пристрою керівника мережею (точки доступу), і всі пристрої в мережі рівні між

собою. Підключення ad-hoc не вимагає спеціального пристрою – достатньо лише наявності двох і більше приладів з модулем Wi-Fi, що дозволяє організувати з'єднання в бездротову мережу декількох ПК, ноутбуків, КПК з мінімумом витрат.

Зазвичай схема Wi-Fi мережі містить не менше однієї точки доступу і не менше одного клієнта. Точка доступу (вона ж Access Point – AP). Access Point – це пристрій, який і дозволить всім комп'ютерам бездротової мережі «бачити» один одного, неначебто вони були сполучені проводами. Точка доступу передає свій ідентифікатор мережі (SSID) за допомогою спеціальних сигнальних пакетів на швидкості 0.1 Мбіт/с кожні 100 мс. Знаючи SSID мережі, клієнт може з'ясувати, чи можливе підключення до даної точки доступу. При попаданні в зону дії двох точок доступу з ідентичними SSID, приймач може вибирати між ними на підставі даних про рівень сигналу.

Технологія Wi-Fi надає свободу переміщення, як в межах однієї кімнати, так і по всьому світу, з високошвидкісним доступом до всіх ресурсів локальної мережі офісу і Інтернет з КПК, ноутбука, кишенькового комп'ютера, Web-камери або бездротового IP-телефону в зоні покриття мережі Wi-Fi. При цьому, при зміні точок доступу відбувається короткочасний розрив зв'язку.

Перспективною є технологія WIMAX (скорочення з англ. Worldwide Interoperability for Microwave Access) – технологія бездротової передачі даних, розроблена на основі стандарту IEEE 802.16. Дозволяє створювати мережі з радіусом до 70–100 км при роботі однієї точки доступу (максимальна швидкість до 70 Мбіт/с). Тобто порівняно з технологією Wi-Fi, точка доступу WIMAX створює значно більшу зону стабільного прийому сигналу.

3.5 Інформаційні мережі

3.5.1 Типи інформаційних мереж

Інформаційні мережі поділяються на локальні та глобальні.

Локальні мережі (Local Area Network – LAN) зазвичай встановлюються в межах одного підприємства. Як передавальне середовище використовуються коаксіальний кабель, вита пара або волоконно-оптичний кабель.

Невеликі відстані між вузлами, передавальне середовище, що забезпечує малу ймовірність помилок, дозволяють підтримувати високі швидкості обміну (від 1 Мбіт/с до 1 Гбіт/с).

Можна сформулювати наступні відмітні ознаки локальної мережі:

- а) висока швидкість передачі, велика пропускна спроможність;
- б) низький рівень помилок передачі, допустима ймовірність помилок передачі даних повинна бути близько $10^{-7} - 10^{-8}$;
- в) ефективний, швидкодіючий механізм управління обміном;
- г) обмежене, точно визначене число комп'ютерів, що підключаються до мережі.

Якісна локальна мережа дозволяє користувачам не помічати зв'язку. Комп'ютери, зв'язані локальною мережею, об'єднуються, по суті, в один віртуальний комп'ютер, ресурси якого можуть бути доступні всім користувачам, причому цей доступ не менш зручний, чим до ресурсів, що входять безпосередньо в кожен окремий комп'ютер.

Польова шина (fieldbus) являє собою локальну мережу для приладів, використовуваних в автоматичному керуванні технологічним процесом і розміщених в умовах промислового виробництва.

Глобальні мережі (Wide Area Network, WAN), на відміну від локальних, охоплюють значно більші території і навіть більшість регіонів земної кулі. Як передавальне середовище використовуються аналогові та цифрові дротові канали, а також супутникові канали зв'язку. Відповідно є характерними обмежена швидкість передавання і відносно низька надійність, що вимагає використання на нижчих рівнях ефективних протоколів виявлення і виправлення помилок. Це істотно знижує швидкість обміну даними у глобальних мережах порівняно з локальними. Основні стандарти в глобальних мережах – протоколи мережі Інтернет.

Глобальні мережі відрізняються від локальних тим, що розраховані на необмежене число абонентів і використовують, як правило, не дуже якісні канали зв'язку і порівняно низьку швидкість передачі, а механізм управління обміном в них в принципі не може бути гарантовано швидким. У глобальних мережах набагато важливіше не якість зв'язку, а сам факт її існування.

Нерідко виділяють ще один клас комп'ютерних мереж – міські мережі (Metropolitan Area Network – MAN), які зазвичай бувають ближчими до глобальних мереж, хоча іноді мають деякі риси локальних мереж –наприклад, високоякісні канали зв'язку і порівняно високі швидкості передачі. В принципі міська мережа може бути дійсно локальною, зі всіма її перевагами.

Правда, зараз вже не можна провести чітку і однозначну межу між локальними і глобальними мережами. Більшість локальних мереж мають вихід в глобальну мережу, але характер передаваної інформації, принципи організації обміну, режими доступу до ресурсів усередині локальної мережі, як правило, сильно відрізняються від тих, що прийняті в глобальній мережі. І хоча всі комп'ютери локальної мережі в даному випадку включені також і в глобальну мережу, специфіки локальної мережі це не відмінняє. Можливість виходу в глобальну мережу залишається всього лише одним з ресурсів, що розділяються користувачами локальної мережі.

3.5.2 Технічна організація мереж

Схема, за якою вузли мережі з'єднуються між собою, називається топологією мережі (від грецького “топос” – місце і “логія” – наука).

Використовуються такі найбільш поширені схеми з'єднання:

а) з'єднання "точка-точка", коли мережа складається лише з двох вузлів, безпосередньо з'єднаних між собою (рис. 3.6, а);

б) шинна топологія, коли всі вузли мережі под'єднуються до одного незамкнутого каналу, званого шиною (рис. 3.6, б);

в) зіркоподібна, коли всі вузли мережі під'єднуються до одного центрального вузла, званого хостом (host) (рис. 3.6, в);

г) кільцева, коли всі вузли мережі під'єднуються до одного замкнутого кільцевого каналу (рис. 3.6, г).

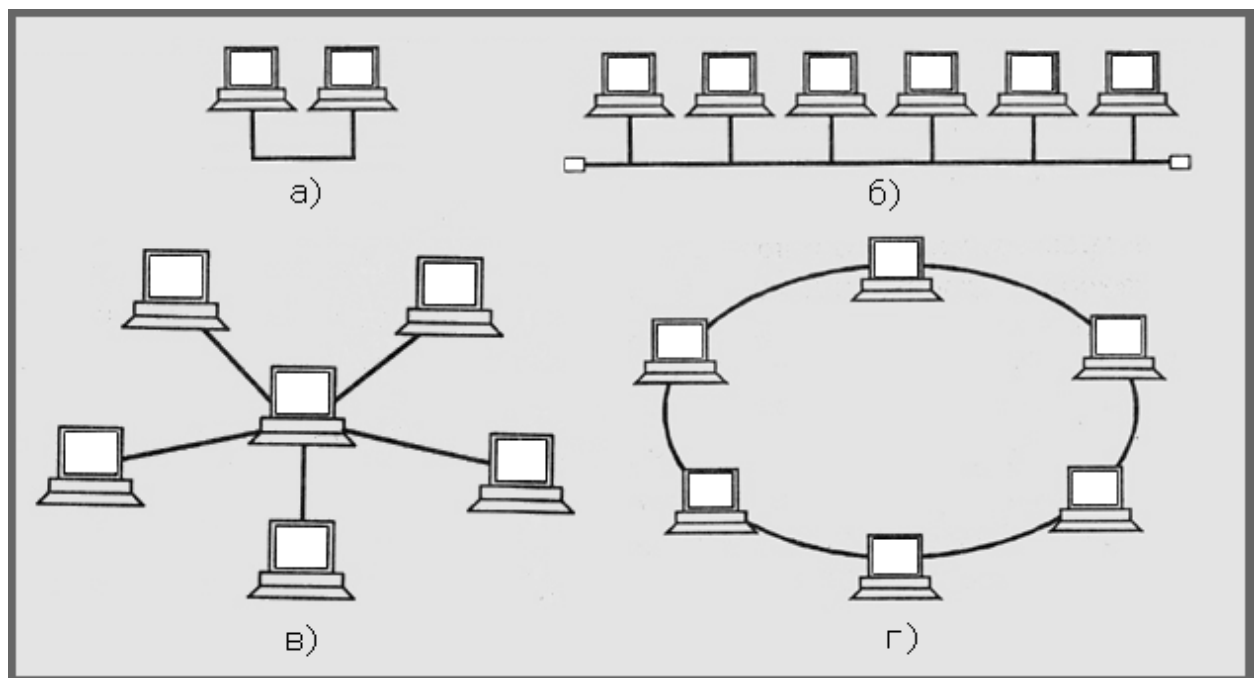


Рис. 3.6 – Схеми з'єднання вузлів мережі: а – з'єднання "точка-точка"; б) – шина; в) зірка; г – кільце

Мережі можуть бути також змішаної топології, коли окремі частини мають різну топологію. Наприклад, основні вузли під'єднуються до одного замкнутого кільцевого каналу, а до них за зіркоподібною технологією – інші вузли.

Топологія "шина" (bus) або, як її ще називають, "загальна шина", самою своєю структурою припускає ідентичність мережевого устаткування комп'ютерів, а також рівноправ'я всіх абонентів. При такому з'єднанні комп'ютери можуть передавати тільки по черзі, оскільки лінія зв'язку єдина. Інакше передавана інформація спотворюватиметься в результаті накладення (конфлікту, колізії). Таким чином, в шині реалізується режим напівдуплексного (half duplex) обміну (у обох напрямках, але по черзі, а не одночасно).

У топології "шина" відсутній центральний вузол, через якого передається вся інформація, що збільшує її надійність. Додавання нових вузлів в шину досить просто і зазвичай можливо навіть під час роботи мережі. В більшості

випадків при використанні шини потрібна мінімальна кількість сполучного кабелю в порівнянні з іншими топологіями.

Оскільки вирішення можливих конфліктів в даному випадку лягає на мережеве устаткування кожного окремого вузла, апаратура мережевого адаптера при топології "шина" виходить складніше, ніж при інших топологіях. Проте із-за широкого розповсюдження мереж з топологією "шина" (Ethernet, Arcnet) вартість мережевого устаткування виходить не дуже високою.

Шині не страшні відмови окремих комп'ютерів, оскільки решта всіх комп'ютерів мережі може нормально продовжувати обмін. Може здатися, що шині не страшний і обрив кабелю, оскільки в цьому випадку ми отримаємо дві цілком працездатні шини. Проте із-за особливостей розповсюдження електричних сигналів по довгих лініях зв'язку необхідно передбачати включення на кінцях шини спеціальних пристроїв, що погоджують, - термінаторів, показаних на рис. 3.1/ у вигляді прямокутників. Без включення термінаторів сигнал відбивається від кінця лінії і спотворюється так, що зв'язок по мережі стає неможливим. Отже при розриві або пошкодженні кабелю порушується узгодження лінії зв'язку, і припиняється обмін навіть між тими комп'ютерами, які залишилися сполученими між собою. Коротке замикання в будь-якій точці кабелю шини виводить з ладу всю мережу. Будь-яку відмову мережевого устаткування в шині дуже важко локалізувати, оскільки всі адаптери включені паралельно, і зрозуміти, який з них вийшов з ладу, не так-то просто.

При проходженні по лінії зв'язку мережі з топологією "шина" інформаційні сигнали ослабляються і ніяк не відновлюються, що накладає жорсткі обмеження на сумарну довжину ліній зв'язку, крім того, кожен вузол може отримувати з мережі сигнали різного рівня залежно від відстані до вузла, що передає. Це пред'являє додаткові вимоги до приймальних вузлів мережевого устаткування. Для збільшення довжини мережі з топологією "шина" часто використовують декілька сегментів (кожний з яких є шиною),

сполучених між собою за допомогою спеціальних відновлювачів сигналів – репітерів, або повторювачів.

Проте таке нарощування довжини мережі не може продовжуватися нескінченно, оскільки існують ще і обмеження, пов'язані з кінцевою швидкістю розповсюдження сигналів по лініях зв'язку.

"Зірка" (star) - це топологія з явно виділеним центром, до якого підключається решта всіх вузлів. Весь обмін інформацією йде виключно через центральний комп'ютер, на який таким чином лягає дуже велике навантаження, тому нічим іншим, окрім мережі, він займатися не може. Зрозуміло, що мережеве устаткування центрального вузла повинне бути істотно складнішим, ніж устаткування периферійних вузлів. Про рівноправ'я вузлів в даному випадку говорити не доводиться. Як правило, саме центральний комп'ютер є наймогутнішим, і саме на нього покладаються всі функції по управлінню обміном. Ніякі конфлікти в мережі з топологією "зірка" в принципі неможливі, оскільки управління повністю централізоване, конфліктувати нічому.

Якщо говорити про стійкість зірки до відмов комп'ютерів, то вихід з ладу периферійного комп'ютера ніяк не відбивається на функціонуванні частини мережі, що залишилася, зате будь-яку відмову центрального комп'ютера робить мережу повністю непрацездатною. Обрив будь-якого кабелю або коротке замикання в нім при топології "зірка" порушує обмін тільки з одним комп'ютером, а решта всіх комп'ютерів може нормально продовжувати роботу.

На відміну від шини, в зірці на кожній лінії зв'язку знаходяться тільки два вузли: центральний і один з периферійних. Найчастіше для їх з'єднання використовується дві лінії зв'язку, кожна з яких передає інформацію тільки в одному напрямі. Таким чином, на кожній лінії зв'язку є тільки один приймач і один передавач. Все це істотно спрощує мережеве устаткування в порівнянні з шиною і позбавляє від необхідності застосування додаткових зовнішніх термінаторів. Проблема загасання сигналів в лінії зв'язку також вирішується в "зірці" простіше, ніж в "шині", адже кожен приймач завжди отримує сигнал одного рівня.

Серйозний недолік топології "зірка" полягає в жорсткому обмеженні кількості вузлів. Зазвичай центральний вузол може обслуговувати не більше 8-16 периферійних вузлів. Якщо в цих межах підключення нових вузлів досить просте, то при їх перевищенні воно просто неможливе. Правда, іноді в зірці передбачається можливість нарощування, тобто підключення замість одного з периферійних вузлів ще одного центрального вузла (в результаті виходить топологія з декількох сполучених між собою зірок).

Зірка, показана на рис. 3.6, носить назву активної, або істинної, зірки. Існує також топологія, звана пасивною зіркою. У центрі мережі з даною топологією поміщається не комп'ютер, а концентратор, або хаб (hub), що виконує ту ж функцію, що і репітер. Він відновлює сигнали, що приходять, і пересилає їх в інші лінії зв'язку. Хоча схема прокладки кабелів подібна до дійсної або активної зірки, фактично ми маємо справу з шинною топологією, оскільки інформація від кожного комп'ютера одночасно передається до решти всіх комп'ютерів, а центрального вузла не існує. Природно, пасивна зірка виходить дорожче за звичайну шину, оскільки в цьому випадку обов'язково потрібний ще і концентратор. Проте вона надає цілий ряд додаткових можливостей, пов'язаних з перевагами зірки. Саме тому останнім часом пасивна зірка все більше витісняє дійсну шину, яка вважається малоперспективною топологією.

Велика перевага зірки (як активною, так і пасивною) полягає в тому, що всі точки підключення зібрані в одному місці. Це дозволяє легко контролювати роботу мережі, локалізувати несправності мережі шляхом простого відключення від центру тих або інших вузлів (що неможливе, наприклад, у разі шини), а також обмежувати доступ сторонніх осіб до життєво важливих для мережі точок підключення. До кожного периферійного вузла у разі зірки може підходити як один кабель (по якому йде передача в обох напрямках), так і два кабелі (кожний з них передає в одному напрямі), причому друга ситуація зустрічається частіше.

Загальним недоліком для всіх топологій типу "зірка" є значно більша, ніж при інших топологіях, витрата кабелю. Наприклад, якщо комп'ютери розташовані в одну лінію, то при виборі топології "зірка" знадобиться у декілька разів більше кабелю, чим при топології "шина". Це може істотно вплинути на вартість всієї мережі в цілому.

"Кільце" (ring) - це топологія, в якій кожен комп'ютер сполучений лініями зв'язку тільки з двома іншими: від одного він тільки отримує інформацію, а іншому тільки передає. На кожній лінії зв'язку, як і у разі зірки, працює тільки один передавач і один приймач. Це дозволяє відмовитися від застосування зовнішніх термінаторів. Важлива особливість кільця полягає в тому, що кожен комп'ютер ретранслює (відновлює) сигнал, що приходить до нього, тобто виступає в ролі репітера, тому загасання сигналу у всьому кільці не має ніякого значення, важливе тільки загасання між сусідніми комп'ютерами кільця. Чітко виділеного центру в даному випадку немає, всі комп'ютери можуть бути однаковими. Проте досить часто в кільці виділяється спеціальний абонент, який управляє обміном або контролює обмін. Зрозуміло, що наявність такого абонента, що управляє, знижує надійність мережі, оскільки вихід його з ладу відразу ж паралізує весь обмін. Підключення нових абонентів в "кільце" зазвичай абсолютно безболісно, хоч і вимагає обов'язкової зупинки роботи всієї мережі на час підключення. Як і у разі топології "шина", максимальна кількість абонентів в кільці може бути досить велика (до тисячі і більше). Кільцева топологія зазвичай є найстійкішою до перевантажень, вона забезпечує упевнену роботу з найбільшими потоками передаваної по мережі інформації, оскільки в ній, як правило, немає конфліктів (на відміну від шини), а також відсутній центральний абонент (на відміну від зірки). Оскільки сигнал в кільці проходить через всі комп'ютери мережі, вихід з ладу хоч би одного з них (або ж його мережевого устаткування) порушує роботу всієї мережі в цілому. Так само будь-який обрив або коротке замикання в будь-якому з кабелів кільця робить роботу всієї мережі неможливою. Кільце найуразливіше до пошкоджень кабелю, тому в цій топології зазвичай передбачають прокладку двох (або

більш) паралельних ліній зв'язку, одна з яких знаходиться в резерві. В той же час крупна перевага кільця полягає в тому, що ретрансляція сигналів кожним абонентом дозволяє істотно збільшити розміри всієї мережі в цілому (деколи до декількох десятків кілометрів). Кільце в цьому відношенні істотно перевершує будь-які інші топології.

У шинних та кільцевих мережах всі вузли можуть бути рівноправними. В цьому випадку кажуть, що мережа має однорангову архітектуру. Зіркоподібна мережа характеризується наявністю центрального вузла комутації – мережевого сервера, через який надсилаються всі повідомлення. Відповідно мережа має назву серверної. Устаткування інших вузлів називається робочими станціями. На мережевий сервер можуть бути покладені додаткові функції з узгодження швидкостей робочих станцій і перетворення протоколів обміну, що дозволяє об'єднувати в одній мережі різнотипні робочі станції.

Останнім часом великого поширення набули локальні мережі деревоподібної технології (рис. 3.7).

У ролі вузлів комутації тут виступають високошвидкісні концентратори (хаби). Порівняно з шинними і кільцевими мережами деревоподібні мають вищу живучість. Вихід з ладу однієї з ліній не впливає на роботу тієї частини, що залишилась.

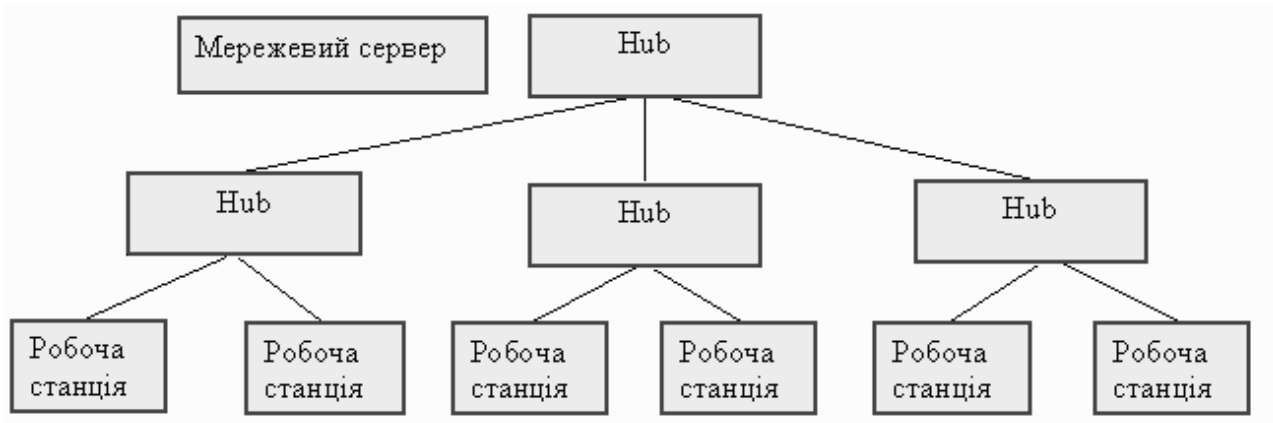


Рис. 3.7

3.5.3 Технологія клієнт-сервер

Технологія клієнт-сервер – це особливий спосіб взаємодії комп'ютерів у мережі, коли один з вузлів (сервер) віддає свої ресурси іншому вузлу (клієнту).

Ресурсами можуть бути пам'ять, зовнішні пристрої (друк, накопичувачі інформації і т.п.) або обчислювальні потужності процесора.

При одноранговій архітектурі кожна робоча станція може виконувати функції клієнта і сервера. У цьому випадку робоча станція виділяє частину своїх ресурсів у спільне користування всім робочим станціям мережі.

У серверних мережах здійснюється чіткий розподіл функцій між устаткуванням. *Мережевий сервер* є спеціалізований комп'ютер, орієнтований на виконання основного обсягу функцій керування мережею. Цей сервер працює під керуванням мережевої операційної системи. *Файловий сервер* має основною функцією зберігання і передачу файлів даних. Він не опрацьовує і не змінює файлів які зберігаються чи передаються. Усі зміни у файлах даних здійснюються з клієнтських робочих станцій. *Принт-сервер* – це друкувальний пристрій, який підключається до передавального середовища і обслуговує заявки на друк від усіх серверів і робочих станцій. Існують також поштові сервери для опрацювання повідомлень електронної пошти і Web-сервери для взаємодії з мережею Інтернет. Сервер баз даних зберігає та накопичує дані.

3.5.4 Розгалужені мережеві топології

Для створення великих мереж використовуються додаткові мережеві пристрої, що дозволяють збільшити протяжність мережі і реалізувати складну мережеву топологію.

Повторювачем (репітером) називається пристрій, що застосовується для об'єднання окремих сегментів мережі як з однаковими, так і різними характеристиками фізичного середовища передачі даних. Повторювач виконує відновлення значень сигналів, що загасають на кінцях кабелів, а також забезпечує узгодження параметрів кабелів різних типів.

Концентратор (хаб) – пристрій, який забезпечує радіальне підключення мережевих вузлів. Концентратори бувають пасивні та активні. Пасивним концентратором є розподільний пристрій, що. Пасивний концентратор не посилює сигналів, тому він дозволяє під'єднати до одного кабелю два-три мережевих вузла і використовується на невеликих відстанях. Активний

концентратор відновлює форму і рівень сигналів, що передаються. Існують також інтелектуальні концентратори, які аналізують потік інформації й управляють ним. Внутрішня логічна структура концентратора може мати шинну або кільцеву топологію. В першому випадку інформація одночасно видається на всі виходи, в другому випадку концентратор послідовно опитує вузли мережі на предмет наявності маркера.

Пристрої типу репітер та хаб використовуються для об'єднання компонентів локальних обчислювальних мереж на фізичному рівні еталонної моделі OSI (рис. 3.8).

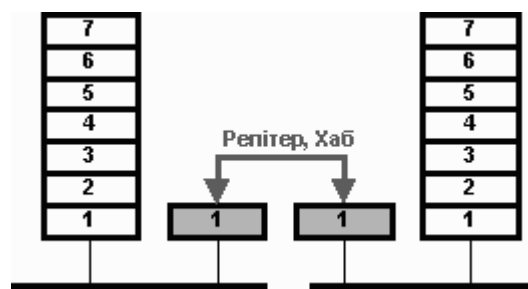


Рис. 3.8

Міст (брідж) – пристрій для об'єднання різнорідних мереж. Характерною особливістю моста є спроможність здійснювати фільтрацію, тобто вибіркочу трансляцію блоків даних з однієї мережі в іншу. За допомогою моста можна поділити мережу на два сегменти. Коли моста немає, навантаження на канал дорівнює сумі всіх інформаційних потоків. Міст дозволяє розділити інформаційні потоки так, що в кожній підмережі буде своє інформаційне навантаження, менше за сумарне. Мости також застосовуються для об'єднання мереж з різною швидкістю, оскільки вони можуть здійснювати проміжне запам'ятовування інформації, що передається від більш швидкої мережі до більш повільної.

Пристрій типу міст використовується для об'єднання компонентів локальних обчислювальних мереж каналному рівні еталонної моделі OSI:

Маршрутизатори (роутери) призначені для вибору оптимального напрямку передачі інформації у розгалужених мережах. Маршрутизатор має

кілька входів і виходів, з'єднаних з різними вузлами, а також містить таблицю шляхів між вузлами і може вибрати оптимальний маршрут передачі даних.

Пристрій типу маршрутизатор використовується для об'єднання компонентів локальних обчислювальних мереж мережевому рівні еталонної моделі OSI (рис. 3.9).

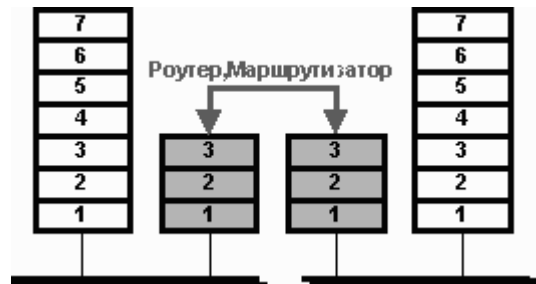


Рис. 3.9

На прикладному рівні функцію об'єднання обчислювальних мереж виконує пристрій типу шлюз (рис. 3.10).

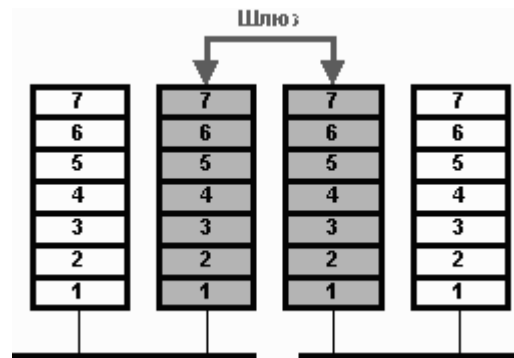


Рис. 3.10

На відміну від пристроїв, які були описані вище, шлюзи реалізуються тільки програмним способом.

3.6 Інтерфейси і протоколи

3.6.1 Загальна характеристика інтерфейсів та протоколів нижнього рівня

На фізичному рівні стандартизуються електричні сигнали і режими передавання.

Канал передавання даних може працювати в одному з трьох режимів:

- а) симплексному (передаванні даних тільки в одному напрямі);
- б) півдуплексному (передавання в обох напрямках, але по черзі);

в) дуплексному (одночасне передавання в обох напрямках).

Для передачі можуть використовуватись двопровідні та чотирипровідні канали. У чотирипровідному каналі одну пару проводів використовують для передачі в одному напрямі, другу – у зворотному.

Дані можуть передаватись у синхронному або асинхронному режимах. У разі синхронного передавання використовують додаткові канали синхронізації для того, щоб забезпечити одночасну синхронну роботу передавача і приймача. Такий режим забезпечує більш високі швидкості, але вимагає складного апаратного оформлення.

В асинхронному режимі передавач може починати передачу в будь-який момент часу. Для того, щоб приймач підготувався для приймання інформації, кожному байту інформації передують стартові імпульси, в кінець даних додаються стопові імпульси. Після одержання стопових імпульсів приймач припиняє приймання до наступного стартового імпульсу.

На каналному рівні стандартизуються розміри і формати кадрів, що передаються по каналу, а також процедури оброблення помилок.

Протоколи та інтерфейси фізичного і каналного рівнів істотно залежать від використовуваного передавального середовища.

На мережевому рівні визначаються методи керування потоком даних між вузлами, а також методи комутації. Використовуються три технології комутації.

- Комутація каналів дозволяє за допомогою комутаторів установити пряме з'єднання між вузлами мережі.
- У випадку комутації повідомлень комутаторами виступають комп'ютери, які збирають повідомлення і розсилають їх відповідно до заданої системи маршрутизації.
- За пакетної комутації дані розбиваються на менші порції – пакети, причому кожний пакет передається незалежно.

На транспортному рівні визначається організація обміну даними між прикладними процесами в різних вузлах. Забезпечуються перевірка отриманих

даних щодо помилок і правильне збирання даних з різних пакетів, переданих на мережевому рівні, зокрема, повторне передавання загублених пакетів.

З стандартних інтерфейсів загального призначення найбільш широке застосування знайшов інтерфейс RS-232. Цей інтерфейс був розроблений в 1969 році як стандарт для з'єднання комп'ютерів і різних периферійних пристроїв. Йому відповідає вітчизняний аналог ІРПС (інтерфейс радіальний послідовний), введений ГОСТ 18145-81.

Інтерфейс RS-232 має обмеження на довжину з'єднувального кабелю (до 15 м при швидкості передачі 20 Кбіт/с. Високошвидкісну передачу на великих відстанях забезпечують більш нові стандарти, наприклад, RS-422 та RS-485.

3.6.2 Інтерфейс RS-485

Інтерфейс RS-485 є промисловим стандартом, що найбільш широко використовується. Він підтримує багатоточкові з'єднання, забезпечуючи створення мереж з кількістю вузлів до 32 і передачу на відстань до 1200 м при швидкості передачі 10 Мбіт/с. Використання повторювачів RS-485 дозволяє збільшити відстань передачі ще на 1200 м або додати ще 32 вузли. Для передачі і прийому даних досить однієї скрученої пари провідників, в той час як кабель RS-232 містить 9 провідів.

Незважаючи на те, що RS-485 може успішно здійснювати передачу з використанням різних типів передавальної середовища, він повинний використовуватися з проводкою, звичайно називаної "вита пари".

Використання передавача, що відповідає вимогам специфікації RS-485, з кабелем на основі витої пари, зменшує два головних джерела проблем для проектувальників швидкодіючих територіально розподілених мереж, а саме випромінювані електромагнітні завади і індуковані електромагнітні завади (наведення). Передача корисного сигналу здійснюється зміною напрямку протікання струму (1 – у прямому напрямку, 0 – у зворотному).

Часова діаграма передачі байта інтерфейсом RS485 показана на рис. 3.11



Рис. 3.11

При реалізації інтерфейсу RS485 існує головний пристрій, іменований хостом і пристрої, якими він керує – клієнти. Кожному клієнту привласнюється унікальна адреса. Клієнти постійно знаходяться в стані приймання. Хост посилає в мережу команду, на початку якої вказується адреса клієнта, якому команда призначається. Команда виконується тільки тим клієнтом, для якого збігається адреса з адресою, зазначеною в команді. Інші пристрої знаходяться в пасивному стані.

Стандарт RS485 визначає тільки електричні і фізичні характеристики інтерфейсу. Програмна ж реалізація визначається конкретним застосуванням.

Передача корисного сигналу здійснюється зміною напрямку протікання струму ("1" – в прямому напрямі, "0" – в зворотному). У неактивному стані передавач переводиться в третій стан з високим імпедансом. Зазвичай вхід приймача і вихід передавача об'єднані разом і зв'язок здійснюється по двох проводах (витій парі). Крім того, прокладається і третій провід, так званий дренажний провідник, який приєднується до сигнальних земель кожного пристрою (рис. 3.12). Допускається безпосереднє приєднання сигнальної землі до точок з нульовим потенціалом (корпусна земля) на пристрої, але тільки у разі гарантованої рівності потенціалів землі в місцях розміщення устаткування системи.

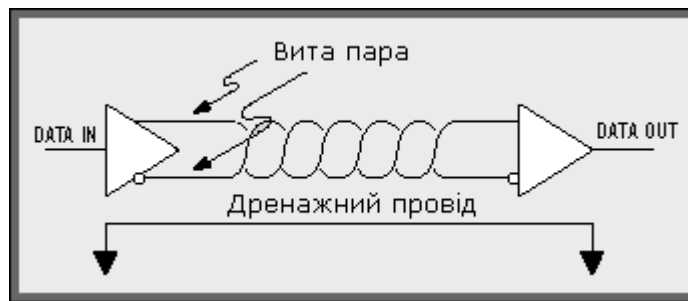


Рис. 3.12

Для більшої заводо захищеності проводи рекомендується помістити в екран. Не слід використовувати екран як дренажний провід.

Можливе збільшення дальності передачі числа пристроїв до 256 при застосуванні півторювачів.

3.6.3 HART-протокол

Стандарт передачі аналогових сигналів значеннями струму в діапазоні 4–20 мА широко використовується при створенні АСУ ТП у багатьох галузях промисловості. Однак при створенні нового покоління інтелектуальних приладів і датчиків з’явилась потреба поряд з передачею аналогової інформації передавати і цифрові дані.

HART – це гібридний протокол обміну даними, що передбачає одночасне використання цифрового сигналу, в основному для передачі службової інформації, і аналогового сигналу 4–20 мА. Обидва сигнали – аналоговий і цифровий – можуть одночасно передаватися по тому самому проводу.

Протокол HART використовується в двох режимах підключення. Один являє собою з’єднання “точка”-“точка”, і застосовується в системах з одним веденим пристроєм і максимум двома ведучими (основним і вторинним) пристроями. Ведучим пристроєм може бути пристрій зв’язку з об’єктом або програмований логічний контролер. У якості вторинного – або HART-термінал, або будь-який інший пристрій з HART-модемом (рис. 3.13). Передача інформації може здійснюватися в обох напрямках, причому передача аналогової інформації з цього ж каналу не переривається.

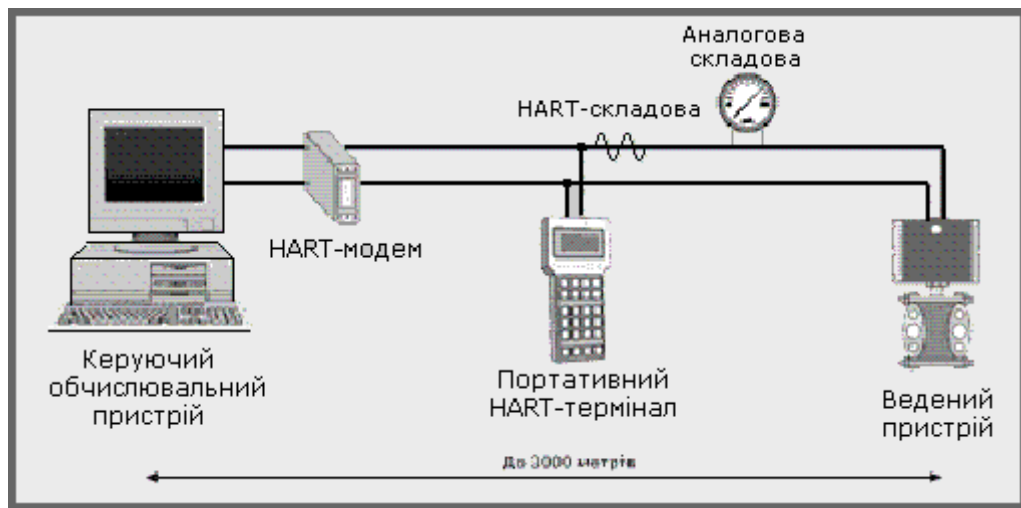


Рис. 3.13

Другий тип підключення – “шина” – дозволяє з’єднання один з одним до 15 ведених пристроїв з тими ж двома ведучими пристроями (рис. 3.14). У цьому випадку передбачається обмін тільки даними в цифровій формі. У колі контролерів передбачене додаткове джерело струму, що забезпечує по 4 мА на кожного споживача.

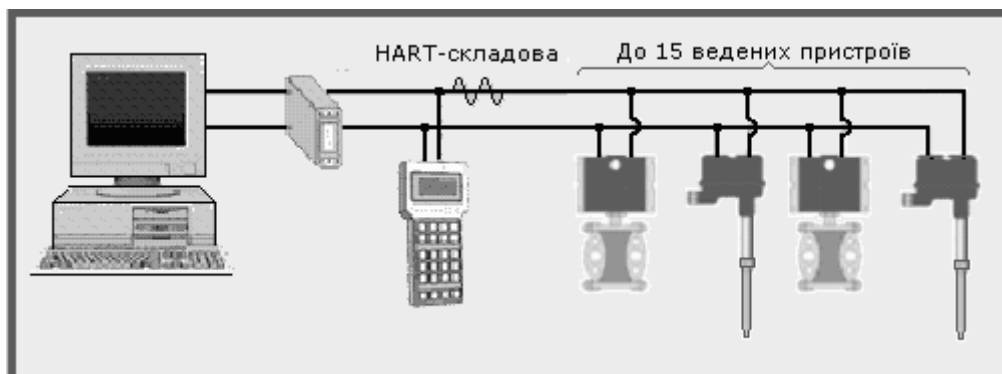


Рис. 3.14

Зазвичай в аналоговій АСУТП присутні багато інтелектуальних польових приладів, що працюють в режимі 4–20 мА плюс HART. В цьому випадку видалена настройка і конфігурація датчиків за допомогою HART-комунікатора або HART-модему вимагає послідовного підключення комунікаційного пристрою до кожної лінії 4–20 мА, що йде від відповідних приладів. Для вирішення поставленого завдання використовують HART-мультиплексор. При такому підході прилади продовжують передавати вимірювальну інформацію в систему по струмовому виходу 4–20 мА, а їх конфігурація може бути змінена з

одного цифрового виходу системи, що управляє. Зв'язок мультиплексора з системою управління здійснюється по інтерфейсу RS485 або RS232. При цьому можна об'єднати в мережу близько 500 приладів (наприклад, 30 мультиплексорів сполучених по RS485, 16 каналів кожен). Структурна схема роботи мультиплексора в аналоговій системі представлена на рис. 3.15 (лінії 2, 3, ..., n).

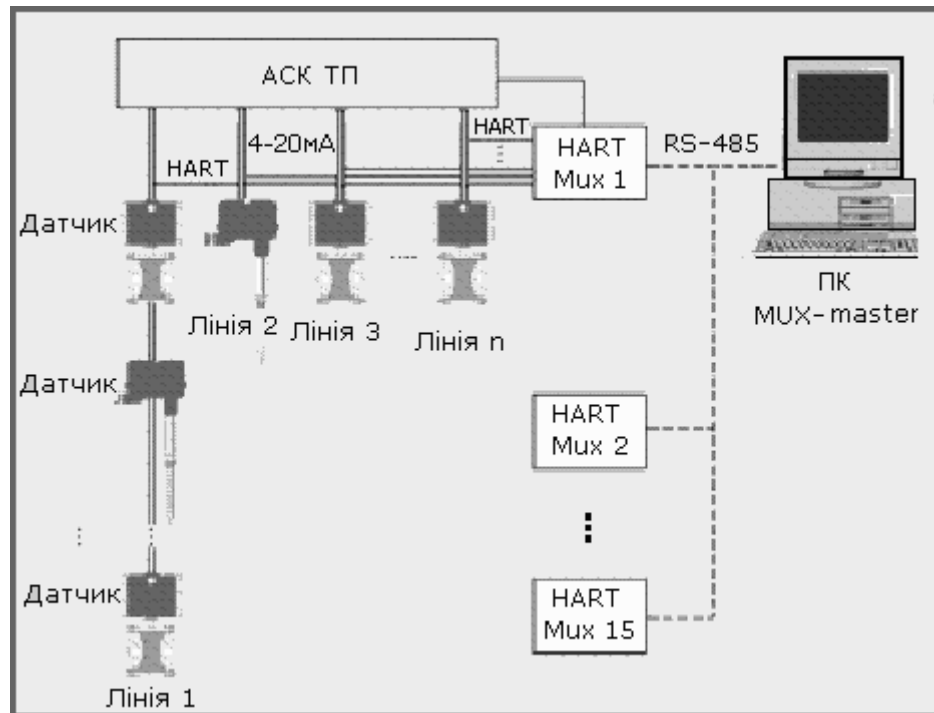


Рис. 3.15

Існує можливість побудови за допомогою мультиплексора цифрової системи збору і візуалізації інформації. В цьому випадку кожен канал мультиплексора може опитувати до 15 датчиків, підключених до однієї струмової петлі. При такому підключенні витрати на кабельну продукцію істотно знижуються (рис. 3.15, лінія 1).

Для передачі цифрової інформації HART-протокол використовує принцип частотної модуляції. Цифрова інформація передається частотами 1200 Гц (логічна “1”) і 2200 Гц (логічний “0”), що накладаються на аналоговий струмовий сигнал.

Частотно-модульований сигнал є двохполярним і при застосуванні відповідної фільтрації не впливає на основний аналоговий сигнал 4–20 мА, оскільки середнє значення синусоїди дорівнює нулю. HART-складова має

невелику амплітуду (порядку 1 мА). Безпосередньо перед використанням аналогового сигналу HART-складова може бути легко вилучена з нього за допомогою простого фільтра нижніх частот. Швидкість передачі цифрових даних для HART складає 1,2 кбіт/с.

3.6.4 Інтерфейс USB

USB (Universal Serial Bus – універсальна послідовна шина) є промисловим стандартом розширення архітектури комп'ютерів. Специфікація USB 1.0 була опублікована в січні 1996. У 2000 р. опублікована специфікація USB 2.0.

Архітектура USB визначається наступними критеріями:

- розширення периферії комп'ютерів, що легко реалізовується;
- дешеве рішення, що підтримує швидкість передачі до 480 Мбіт/с;
- повна підтримка в реальному часі передачі даних;
- гнучкість протоколу;
- інтеграція в технологію пристроїв, що випускаються;
- відкриття нових класів пристроїв, що розширюють РС.

USB забезпечує обмін даними між хост-комп'ютером і безліччю одночасно доступних периферійних пристроїв. Розподіл пропускнуої спроможності шини між підключеними пристроями планується хостом і реалізується їм за допомогою посилки маркерів. Шина дозволяє підключати, конфігурувати, використовувати і відключати пристрою під час роботи хоста і самих пристроїв – динамічне ("гаряче") підключення і відключення.

Пристрої (Device) USB можуть бути хабами, "функціями" або їх комбінацією. Хаб (Hub) забезпечує додаткові точки підключення пристроїв до шини. "Функції" (Function) USB надають системі додаткові можливості - наприклад підключення до ISDN, цифровий джойстик, акустичні колонки з цифровим інтерфейсом і так далі Пристрій USB повинен мати інтерфейс USB, що забезпечує підтримку протоколу USB, виконання стандартних операцій і стандартне представлення інформації, що описує пристрій. Багато пристроїв, що підключаються до USB, мають в своєму складі і "функції" і хаби. Роботою

всієї системи USB управляє хост-контролер, що є програмно-апаратною підсистемою хост-комп'ютера. Фізичне з'єднання пристроїв здійснюється по топології багатоярусної зірки. Центром кожної зірки є хаб, кожен кабельний сегмент сполучає дві точки – хаб з іншим хабом або хаб з "функцією". У системі USB є лише один хост-контроллер, розташований у вершині піраміди пристроїв і хабів USB. Хост-контроллер інтегрується з кореневим хабом (root hub), що забезпечує одну або декілька точок підключення – портів. Контроллер USB, що входить до складу чіпсетів багатьох сучасних системних плат, зазвичай має двох- або чотирьохпортовий хаб. "Функції" є пристроями USB, здатними приймати або передавати дані або керуючу інформацію по шині. Фізично в одному корпусі може бути декілька "функцій" зі вбудованим хабом, що забезпечує їх підключення до одного порту.

Кожна "функція" надає конфігураційну інформацію, що описує її можливості і вимоги до ресурсів. Перед використанням функція має бути конфігурована хостом – їй має бути виділена смуга в каналі передачі, вибрані специфічні опції конфігурації. Хаб – ключовий елемент системи Plug-and-Play в архітектурі USB. Хаб є кабельним концентратором, точки підключення називаються портами хаба. Кожен хаб перетворює одну точку підключення в їх множинич.

Архітектура передбачає можливість з'єднання декількох хабів. В кожного хабу є один висхідний порт (upstream port), призначений для підключення до хосту або до хабу верхнього рівня. Останні порти є низхідними (downstream) і призначені для підключення функцій і хабів нижнього рівня. Хаб може розпізнати підключення або відключення пристроїв до цих портів і управляти подачею живлення на їх сегменти. Кожен з цих портів індивідуально може бути дозволений або заборонений і конфігурований на повну або обмежену швидкість обміну.

Хаб забезпечує ізоляцію сегментів з низькою швидкістю від високошвидкісних. Хаби можуть мати можливість управління подачею

живлення на низхідні порти, передбачена керована установка обмеження на струм, споживаний кожним портом.

Система USB розділяється на три рівні з певними правилами взаємодії. Пристрій USB ділиться на інтерфейсну частину, частину пристрою і функціональну частину. Хост теж ділиться на три частини - інтерфейсну, системну і ПЗ пристроїв. Кожна частина відповідає лише за певний круг завдань, взаємодія між ними показана на рис. 3.16.

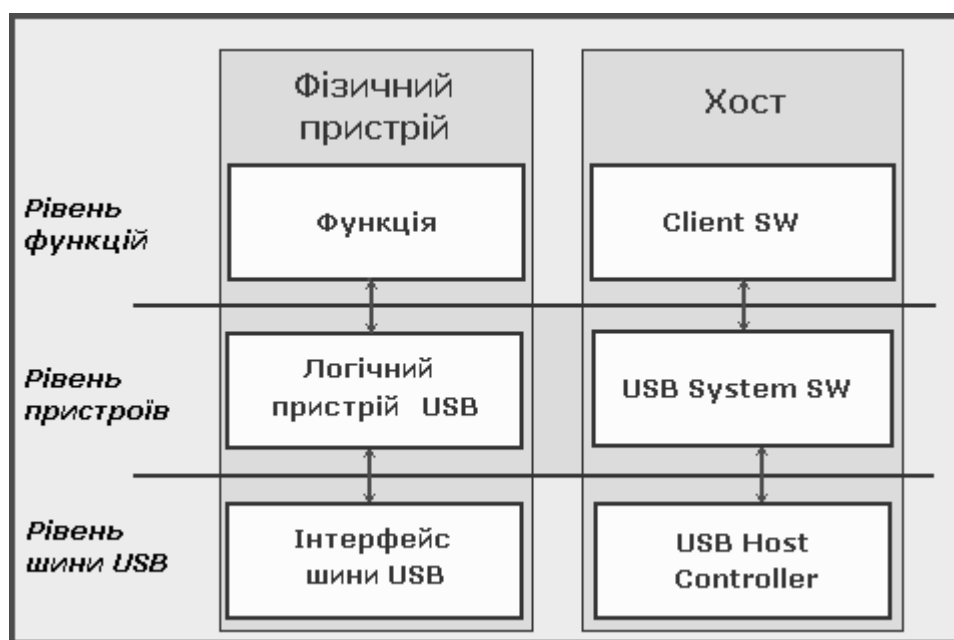


Рис. 3.16

С точки зору користувача основними перевагами USB є:

- простота кабельної системи підключень;
- ізоляція подробиць електричних підключень від користувача;
- периферія, що самоідентифіцируються, автоматичний зв'язок пристроїв з драйверами і конфігурація;
- можливість динамічного підключення і реконфігурування периферії.

3.7 Мережі та вузли нижніх рівнів АСУ ТП

3.7.1 Локальна мережа Ethernet

Локальна мережа Ethernet базується на міжнародному стандарті IEEE 802.3, що визначає фізичний рівень та так званий підрівень MAC, який формує кадри для передавання і керує прийманням кадрів.

Для позначення типу протоколу фізичного рівня використовується позначення, яке складається з трьох компонентів:

- Швидкість передачі даних
- Тип протоколу лінійного кодування
- Тип використовуваного середовища передачі даних або максимальна довжина сегменту в 100 метрових квантах

Наприклад, умовне позначення 10Base2 розшифровується так

- швидкість передачі даних: 10 Мбіт/сек;
- тип протоколу лінійного кодування: Base band - без використання модуляції;
- тип використовуваного середовища передачі даних: тонкий коаксіальний кабель.

Інші типи протоколів зведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Типи протоколів фізичного рівня мережі Ethernet

Характеристика	Ethernet	10Base5	10Base2	10BaseT	10BaseFL
Швидкість (Мбіт/с)	10	10	10	10	10
Метод кодування	Baseband	Baseband	Baseband	Baseband	Baseband
Тип середовища	ТВКК	ТВКК	ТНКК	ВП	ОК
Топологія мережі	ЗШ	ЗШ	ЗШ	Зірка	ТТ

Умовні позначення в таблиці: ТВКК - товстий коаксіальний кабель; ТНКК – тонкий коаксіальний кабель; ВП – неекранована вита пара; ОК – волоконно-оптичний кабель; ЗШ - топологія мережі "загальна шина"; ТТ – топологія мережі точка-точка

На каналному рівні технології Ethernet визначаються наступні параметри кадру:

- максимальна довжина кадру
- мінімальна довжина кадру
- розмір і зміст службових і обов'язкових полів кадру
- розмір і зміст факультативних полів кадру

Інформаційна взаємодія на каналному рівні мереж стандарту Ethernet розділена на додаткові рівні, які не передбачені моделлю OSI. Ці рівні називаються LLC(Logical Link Control) і MAC(Media Access Control).

Для передачі даних по мережі Ethernet використовуються блоки даних каналного рівня - кадри. Для позначення кадрів застосовуються наступні терміни:

- RUNT - (коротун) кадр, розмір якого менше 64 байтів (512 битий)
- LONG - (довгий) - кадр, розмір якого лежить в межах від 1518 до 6000 байтів
- GIANT - (гігант) - кадр, розмір якого перевищує 6000 байтів
- DRIBBLE - кадр такого типу утворюють два послідовні кадри, які були помилково сприйняті як один кадр.

Формат кадру Ethernet показаний у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Формат кадру Ethernet

Preamble Преамбула	DA Адрес призначення	SA Адрес відправника	Type Тип	Data Дані	CRC Контрольна сума
8 байтів	6 байтів	6 байтів	2 байти	46–1500 байтів	4 байти

Поле преамбули не призначене для передачі корисній інформації, наявність цього поля у кадрі пояснюється необхідністю встановлення надійної взаємної синхронізації тактових генераторів передавача і приймача даних. Поле Тип займає 2 байти в пакеті Ethernet II і містить інформацію про тип корисного навантаження даного пакету.

Особливість технології Ethernet полягає в тому, що вона дозволяє реалізувати передачу даних за принципом "один для всіх" – "широкомовлення" (broadcasting). Для ідентифікації одержувача інформації в технологіях Ethernet використовуються 6-ти байтові MAC-адреси.

Формат MAC-адреси забезпечує можливість використання специфічних режимів багатоадресної адресації в мережі Ethernet і, одночасно, виключити можливість появи в межах однієї локальної мережі двох станцій які мали б однакову адресу.

Фізична адреса мережі Ethernet складається з двох частин:

- а) ідентифікатор виробника устаткування (Vendor codes);
- б) індивідуальний ідентифікатор пристрою.

Кожен абонент мережі перевіряє адресу, що міститься у переданому по мережі кадрі. Якщо кадр адресований цьому абонентові він обробляє його, інакше передає наступному абонентові. Якщо канал передачі вільний, будь-яка станція може почати передавання даних.

Використовують такі конфігурації :

- а) шинну топологію на коаксіальному кабелі з максимальною довжиною сегмента до 185 м;
- б) зіркоподібну топологію на витій парі з довжиною сегмента до 100 м;
- в) зіркоподібну топологію на волокно-оптичному кабелі з довжиною сегмента до 2000 м.

Для з'єднання робочої станції з локальною мережею використовують мережеві адаптери, які мають конектори для під'єднання кабелю. У випадку використання зіркоподібної топології застосовують концентратори (хаби), які підключаються до центрального вузла мережі.

Стандарт Ethernet з використанням коаксіального кабелю забезпечує швидкість передачі 10 Мбіт/с. Стандарт Fast Ethernet з витю парою розрахований на швидкість 100 Мбіт/с. Для високошвидкісного зв'язку використовують стандарт 10Gigabit Ethernet, що передбачає використання оптоволоконного кабелю і швидкість до 10 Гбіт/с.

Ethernet – це неофіційний світовий стандарт адміністративних і обчислювальних мереж, що дозволяє забезпечити потреби у високошвидкісній передачі даних в локальній мережі при відносно низьких витратах на телекомунікаційне устаткування.

3.7.2 Локальна мережа Token Ring

Локальна мережа Token Ring базується на міжнародному стандарті IEEE 802.35, що визначає фізичний рівень та підрівень MAC для реалізації маркерного доступу в локальних мережах кільцевої топології.

Маркер (token) – це кадр певного формату, що безупинно циркулює між станціями мережі і має два стани: вільний чи зайнятий. Якщо яка-небудь станція має дані для передавання і визначає, що маркер вільний, вона захоплює маркер, додає до нього свої дані і пересилає наступній станції кільця. Станції пересилають кадр одна одній, але тільки станція-адресат зчитує дані з маркера. Коли маркер обійде кільце і повернеться до станції, що його захопила, та звільняє маркер і знову передає далі.

Швидкість передавання даних становить 4,16 Мбіт/с, максимальна кількість станцій 250.

Для збільшення швидкості передавання до 10 Мбіт/с розроблена нова технологія 100VGAnyLAN.

3.7.3 Локальні радіомережі

Стандартом IEEE 802.11 передбачане використання радіозв'язку для передачі даних на частотах від 2,4 до 2,483 ГГц.

Згідно цього стандарту можливі два режими функціонування. У першому всі станції мережі оснащені безпроводними адаптерами і безпосередньо взаємодіють одна з одною. У другому режимі станції взаємодіють не прямо, а через точку доступу, що виконує роль концентратора. Точки доступу різних мереж можуть з'єднуватись кабельними каналами. Швидкість передачі – 1 або 2 Мбіт/с.

На базі цього стандарту будуються локальні Wi-Fi (див. п. 3.5.3).

Для нових версій стандарту (802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n) швидкість передачі даних і радіус дії мережі помітно відрізняються. Наприклад, поширений зараз стандарт 802.11g забезпечує роботу на відстані до 100 м (в межах прямої видимості) з каналною швидкістю 54 Мбіт/с (реально 8-16 Мбіт/с). Підвищення швидкості досягається використанням нових спеціальних методів кодування інформації.

На малих відстанях (до 10 м) для безпроводного зв'язку використовується технологія Bluetooth. Застосовуються радіочастоти у смузі 2400...4483,5 МГц.

Локальна мережа Bluetooth складається з окремих пікомереж, в яку входять один пристрій-“хазяїн” і до семи пристроїв-“слуг”. Кожна пікомережа працює на окремій радіочастоті.

Одна з найважливіших особливостей Bluetooth – автоматичне установлення з'єднання. Кожен пристрій здійснює пошук у радіоефірі інших пристроїв. Якщо один пристрій з'єднався з іншим, вони домовляються між собою про фізичні параметри з'єднання і формат передачі даних. Далі пристрій з'ясовує імена всіх доступних пристроїв і визначає прикладні задачі, які вони виконують. Для цього використовується спеціальний протокол виявлення сервісу.

Таким чином для введення в локальну мережу нового пристрою достатньо піднести його на відстань менше 10 м до іншого пристрою.

3.7.4 Польові шини

3.7.4.1 Modbus

Протокол Modbus був розроблений для збору даних контролерами Modicon з первинних (підлеглих) приладів. Структура протоколу надзвичайно сильно оптимізована для використання в програмованих логічних контролерах (ПЛК).

Фізичний рівень – RS-232.

Тип обміну : "Master-контролер" – запит, "slave-контролер" – відповідь. Підтримується до 247 адресованих "slave-контролера". Можлива передача циркулярного запиту (адреса – 0).

Можливі два режими протоколу: RTU і ASCII. RTU – команди і дані передаються в бінарному вигляді. ASCII – команди і дані передаються в ASCII кодах.

Протокол надзвичайно простий для реалізації.

3.7.4.2 Modbus Plus

Специфікація Modbus Plus стала радикальною переробкою протоколу Modbus. (Специфікація – точне і докладне визначення дій, які має виконувати та чи інша система).

Основне призначення Modbus Plus організація мереж із пристроїв кількістю до 64 одиниць з можливістю об'єднання цих мереж через мости.

Швидкість передачі даних по мережі до 1000000 біт/сек.

Мережна шина використовує або одиночний або подвійний кабель (для поліпшення надійності системи).

Як кабель використовується екранована вита кручена пара.

До 32 вузлів може бути підключене до кабелю мережі безпосередньо на дистанції 450 метрів. Може використовуватися повторювач для подовження кабелю до 1800 метрів і збільшення кількості вузлів до 64. Мережі можуть з'єднуватися між собою мостами. При цьому повідомлення з вузла в одній мережі можуть бути передані (маршрутизовані) до вузла в іншій мережі.

Передача даних усередині мережі спирається на механізм делегування маркера. У кожен конкретний момент передачу запитів здійснює тільки один вузол. Вузол, що одержав маркер, відразу відправляє підтвердження в його одержанні. Після завершення сеансу опитування вузлів активний вузол передає маркер наступному вузлу і т.д.

Самі запити, як і у випадку з Modbus, спираються на реєстрову структуру ПЛК.

3.7.4.3 CAN

Специфікація CAN була розроблена BOSCH для інтегрування різноманітних датчиків автомобільної електроніки в рамках однієї цифрової мережі. На даний момент це дуже розповсюджена технологія і в інших галузях.

Специфікація CAN визначає тільки два рівні: фізичний (бітове кодування, декодування, синхронізація) і канальний. Причому фізичний рівень не визначає параметри передавача, приймача і середовища передачі сигналу.

Природно багато виробників скористалися таким положенням речей і доповнюючи специфікацію CAN рівнями, що залишилися, OSI створили свої власні стандарти.

Основу специфікації CAN складає принцип адресування повідомлень. На відміну від інших специфікацій повідомлення в CAN передаються не конкретному вузлу, а циркулярно з використанням унікального ідентифікатора повідомлення. Кожен вузол вибирає з мережі повідомлення тільки з визначеними ідентифікаторами.

Існують дві специфікації CAN: 1.2 і 2.0. У CAN 1.2 ідентифікатор містить 11 біт, що дозволяє використовувати до 2^{11} повідомлень. У CAN 2.0 ідентифікатор містить 29 біт.

Визначений досить оригінальний метод розв'язування конфліктів виходу різних вузлів на загальну шину.

Багато виробників мікросхем випускають CAN контролери, при цьому фізична реалізація середовища передачі залишається на совісті розроблювача.

Розглянемо особливості окремих протоколів верхнього рівня технології CAN.

3.7.4.3.1 DeviceNet

Походження: Allen-Bradley, 1994 р. Підтримуюча організація: Open DeviceNet Vendor Association.

Максимальне число вузлів: 64.

Швидкість передачі даних: 125, 250 і 500 Кбіт/с.

Особливо широкого поширення дана шина набула в автомобільній і напівпровідниковій галузях промисловості. Живляча напруга для пристроїв автоматики подається по мережевому кабелю, загальне число використовуваних кабелів і складність розводки мінімальні.

3.7.4.3.2 Interbus

Походження: Phoenix Contact, 1984 р.

Максимальне число вузлів: 256.

Довжина з'єднання: 400 м на сегмент, в сумі до 12,8 км.

Швидкість передачі: 500 Кбіт/с (також можлива швидкість 2 Мбіт/с).

Може застосовуватися разом з підмережами SensorLoop і AS-I. Фізично Interbus нагадує звичайну мережу з багатовідвідними з'єднаннями, проте насправді є послідовним кільцем на базі зсувових регістрів. Завдяки незвичайній мережевій топології Interbus має дві додаткові переваги. По-перше, кільцева топологія дає головному пристрою можливість самому себе конфігурувати, причому в деяких випадках даний процес не вимагає втручання з боку користувача. По-друге, точність відомостей про мережеві відмови і місце їх виникнення значно спрощує процес пошуку і усунення відмов.

3.7.4.3.3 AS-I (Actuator Sensor Interface)

Походження: консорціум AS-I Consortium, 1993 р. Підтримуюча організація: AS-I Trade Organization.

Максимальне число вузлів: 31 підлеглий, 1 головний.

Довжина з'єднання: 100 м; з ретрансляторами до 300 м.

Швидкість передачі: 167 Кбіт/с.

Нова специфікація AS-I, що недавно вийшла, допускає підключення 62 (замість 31) підлеглих пристроїв з 4 входами і 3 виходами кожне. Зараз дану специфікацію підтримує мале число виробників, що проте задовольняють їй нові пристрої можуть використовуватися нарівні із старими.

3.7.4.4 Foundation FieldBus

Специфікація розробляється асоціацією Foundation Fieldbus.

Параметри:

- швидкість передачі 31,25 кбіт/сек;
- довжина мережі – до 2000 м;
- топологія мережі – шина;
- кабель – вита пара;

У вузлів – 240/сегмент, 65535 сегментів усього;

Основні особливості:

а) логічна організація мережі дозволяє вузлам організовувати однорангову взаємодію;

б) кожному типу вузла може бути створений т.з. профіль пристрою, що є повним описом усіх функціональних особливостей. Це дозволяє використовувати різні пристрої в існуючій мережі без розробки спеціального програмного забезпечення;

в) доступ до мережі здійснюється не тільки з боку інженерної станції, але і з боку самих пристроїв.

Цифрова мережа Fieldbus покликана замінити що широко використалася до недавнього часу централізовану аналогову 4–20 мА технологію з метою зниження витрат на розробку і підвищення якості і ефективності кінцевої системи.

Foundation Fieldbus – це відкритий міжнародний стандарт для відповідальних систем управління технологічними процесами і безпечних умов експлуатації. Типові області застосування: розподілені системи управління, управління безперервними процесами, періодичні технологічні процеси.

3.7.4.5 INTERBUS-S

В основі топології Interbus лежить кільцева система, тобто всі пристрої активно інтегровані в замкнутий передатний контур. Кожен вузол підсилює прийнятий сигнал і передає далі, що дозволяє використовувати високі швидкості передачі даних на великі відстані. Система master/slave Interbus дозволяє поєднувати до 512 пристроїв у 16 підмережах.

- Топологія: активне кільце
- Master/slave, пакети фіксованої довжини
- Усі вузли на кільці є повторювачами
- Швидкість передачі: 500 kbps
- Максимум 4096 точок уведення-виведення
- Загальна довжина між двома віддаленими вузлами до 13 км

3.7.4.5 PROFIBUS

Група з 13 компаній і 5 інститутів Німеччини працювали над специфікацією відкритої промислової мережі, що отримала назву PROFIBUS (PROcess Field BUS), на основі моделі міжмережевої взаємодії OSI.

У квітні 1991 року PROFIBUS отримав статус національного стандарту DIN19245 і був оголошений відкритим рішенням - ніхто не володіє ліцензійним правом на нього.

Архітектура складників протоколу PROFIBUS приведена на рис. 3.17.

PROFIBUS (EN50170 Vol2)			
Profibus-FMS		Profibus-DP	PROFIBUS-PA
Рівень моделі OSI	Функції		
7 (прикладний)	Fieldbus Message Specification (FMS)	Немає	Немає
3...6	Не використовуються		
2 (канальний)	Fieldbus Data Link (FDL)		
1 (фізичний)	RS485/ Fibre Optic		IEC1158-2

Рис. 3.17

Всі три типи протоколу використовують загальний канальний рівень (протокол доступу до середовища, що передає).

PROFIBUS-FMS протокол з'явився першим і вважається універсальним з високим ступенем функціональності. FMS-протокол допускає гібридну архітектуру взаємодії вузлів, засновану на таких поняттях, як віртуальний пристрій мережі, об'єктний словник пристрою (змінна, масив, запис, область пам'яті, подія і ін.), логічна адресація і т.д.

PROFIBUS-FMS визначає рівні 1, 2 і 7 і надає користувачеві широкий вибір комунікаційних функцій. Підрівень 7-го рівня LLI (Lower Layer Interface) реалізує частина функцій отсутствующих 3-6 рівнів і робить можливим доступ до рівня 2 різних FMS-пристроїв різних виробників.

PROFIBUS-DP. У DP-протоколі існують три типи пристроїв:

- майстер Класу-2 (DPM2) – може виконувати функції конфігурації і діагностики пристроїв мережі;
- майстер Класу-1 (DPM1) – програмовані контролери (PLC, PC), в оперативному режимі виконуючі функції провідного вузла в мережі;
- ведені пристрої (DP Slave) – пасивні пристрої з аналоговим/дискретним введенням/виведенням.

PROFIBUS-DP використовує 1-й і 2-й рівні OSI та реалізує набір функцій, що забезпечують інтерфейс до прикладної завдачі користувача. Відсутність рівня 7 забезпечує швидку і ефективну технологію передачі за рахунок прямого доступу до функцій канального рівня.

PROFIBUS-PA є розширенням DP-протоколу в частині фізичного середовища передачі, заснованої на реалізації IEC1158-2 стандарту для організації передачі у вибухонебезпечних середовищах. Він може бути використаний як заміна старій 4–20 мА технології зв'язку. Перехід на PA дозволяє скоротити витрати на організацію мережі приблизно на 40% (для комутації датчиків потрібна всього одна вита пара з можливістю живлення пристроїв по цьому ж каналу).

На одному фізичному каналі одночасно можуть працювати пристрої всіх трьох типів PROFIBUS. Перехід з одного фізичного середовища в інше реалізується на основі відповідних пристроїв – трансиверів.

Передавальне середовище в PROFIBUS, як правило, будується на основі інтерфейсу RS-485. Ця технологія передачі має ще назву H2. Мережеві рішення на цій основі дозволяють будувати системи з невеликими витратами на організацію середовища передачі, з одного боку, і забезпечувати передачу даних на великих швидкостях, з іншого боку.

Основні характеристики H2-технології наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Основні характеристики H2-технології

Режим передачі даних	Напівдуплексний, асинхронний
Мережева топологія	Лінія, "дерево"
Середовище передачі	Екранована вита пара
Число вузлів	32 вузли на сегмент без повторювачів (всього до 127)
Робочі швидкості передачі, kbit/sec (відстань, м)	9.6, 19.2, 93.75 (1200); 187.5 (1000); 500 (400); 1500 (200); 12000 (100)
Доступ до шини	Естафетне маркерне кільце з режимом доступу Master/Slave

У хімічній і нафтохімічній індустрії використовується технологія передачі, що забезпечує використання пристроїв у вибухонебезпечних середовищах з можливістю живлення цих пристроїв безпосередньо по комунікаційній шині. Ця технологія має назву H1 і використовується в PROFIBUS-PA (Process Automation). Посилані по шині сигнали модулюються струмом ± 9 мА від базового струму в 10 мА.

Крім перерахованих H2 і H1 технологій передачі існує можливість використання оптичного кабелю як фізичного середовища. Ця технологія знаходить застосування в умовах, де присутній сильний електромагнітний вплив або є необхідність у високій швидкості передачі на великі відстані в порівнянні з RS-485.

3.7.5 Вибір типу мережі

У 1950 році асоціація ISA організувала комітет SP50 з розробки стандарту на інтерфейс польових пристроїв (field-пристроїв). У 1961 році був створений стандарт аналогового інтерфейсу 4–20 мА. На цифрові засоби зв'язку єдиного стандарту немає досі. Виробники розробляють власні цифрові комунікаційні стандарти і випускають продукцію на їх основі. Сьогодні в світі існує більше 60 таких стандартів для мереж рівня датчиків, польових пристроїв

і управління і більше 5000 пристроїв для цих мереж. На рис. 3.18 показана порівняльна діаграма об'ємів виробництва таких пристроїв.

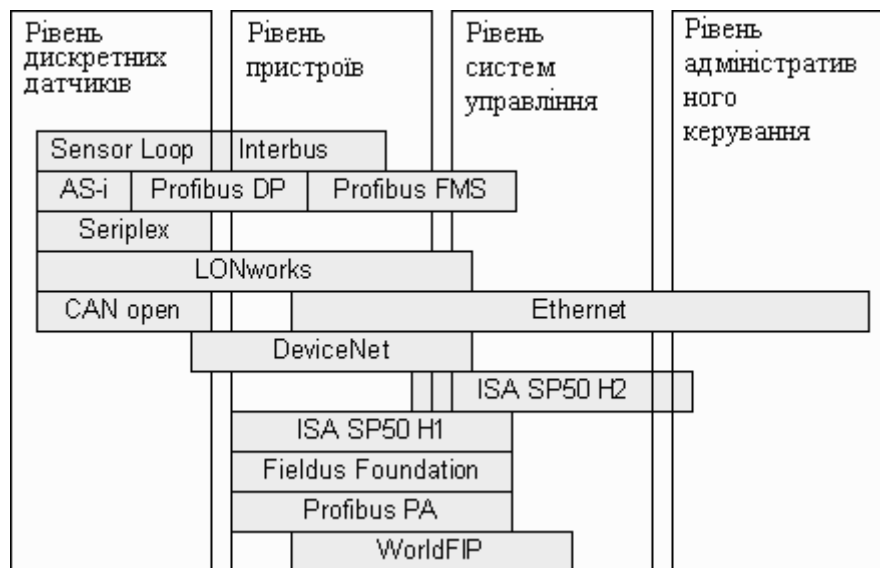


Рис. 3.18

Схвалений в кінці 1999 року більшістю голосів стандарт IEC 61158 допускає вісім різних несумісних протоколів, кожен з яких претендує на відповідність стандарту.

Останніми роками значних успіхів добилися Ethernet і технології Internet. Ethernet вважається найперспективнішою мережею для обміну інформацією між системами, що управляють, і окремими пристроями.

Ethernet це тільки фізичне середовище, кабель, що сполучає пристрої. Необхідний ще і прикладний рівень, покликаний забезпечити спосіб обміну інформацією і взаємодії по мережі різних продуктів різних виробників. Кожна промислова шина реалізує в комунікаційному стеку власний прикладний інтерфейсний рівень. Отже якщо підвищена безпека і/або подача напруги живлення в підключений пристрій не потрібна, то промислові шини типа Foundation Fieldbus, Profibus і DeviceNet цілком можуть функціонувати на базі фізичних Ethernet-кабелів.

Мережева структура, що представляє в загальному вигляді місце існуючих класів мереж на всіх рівнях промислового підприємства, показана на рис. 3.19.

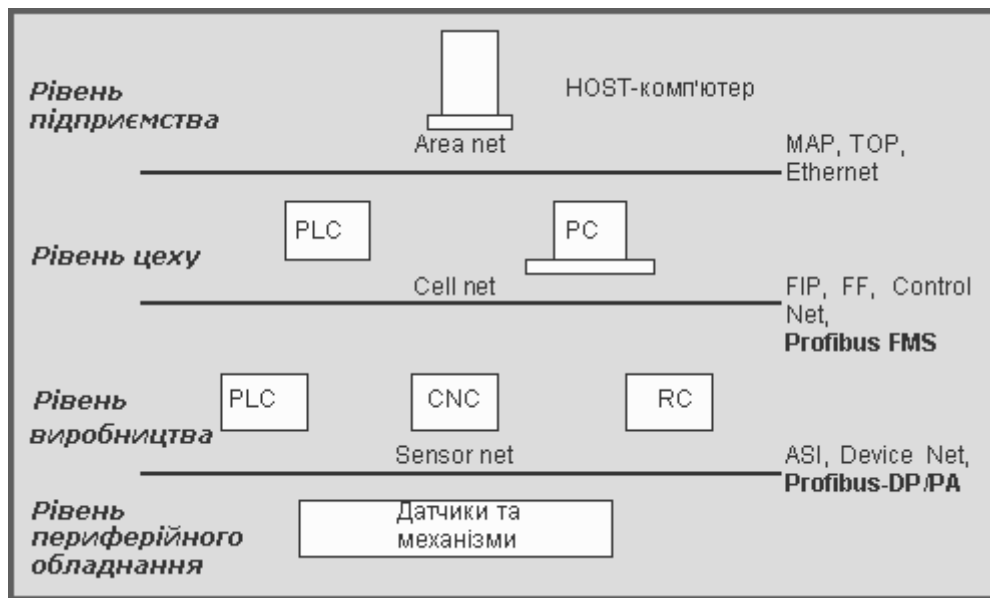


Рис. 3.19

Ці і інші технології в поєднанні один з одним можуть служити основою створення широко розподіленої високоінтелектуальної архітектури систем, що управляють, з централізацією управління безпосередньо на виробничій ділянці (field-центричне управління). Приклад показаний на рис. 3.20.

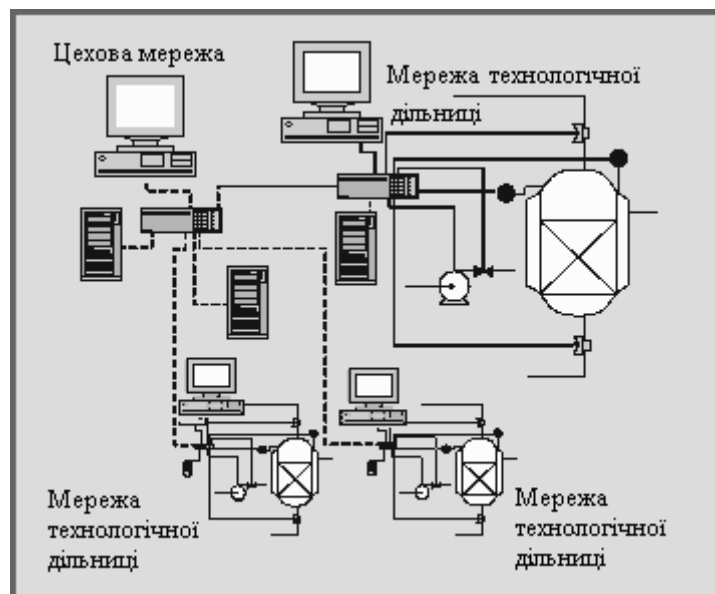


Рис. 3.20

Виробниче устаткування (реактори, колони, казани, центрифуги і т.д.) об'єднуються відповідною мережею (process unit network), можливо, Ethernet, а можливо, і ні, що дозволяє цьому устаткуванню взаємодіяти одне з одним незалежно від типу вбудованої в нього операційної системи. До цих мереж підключаються цільові (built-for-purpose – BFP) інтелектуальні прилади типу

датчиків, вентилів, двигунів, контролерів і т.д. Всі апаратні мережі об'єднуються в одну цехову мережу (process cell network). Як цільові прилади, підключені до цієї мережі, можуть виступати пристрої підтримки архівів, менеджери складів сумішей, безперервні оптимізатори процесу і інформаційні пристрої. Далі по ієрархії мереж йдуть загальнозаводські мережі. На цьому рівні цільовими приладами є автоматизовані довідкові системи, системи оперативного моделювання, архіви даних і оптимізатори процесів.

3.7.6 Вузли нижніх рівнів АСУ ТП

3.7.6.1 Програмовані контролери

Програмований контролер – це комбінація керуючого обчислювального пристрою і пристрою зв'язку з об'єктом (ПЗО). Вони поділяються на програмовані логічні контролери (PLC) та універсальні IBM PC сумісні контролери. Перші призначені тільки для дискретного логічного керування, другі є вільно програмованими і можуть виконувати різні функції, в тому числі і реалізацію ПД-регуляторів.

Типова конфігурація промислового контролера показана на рис. 3.21.

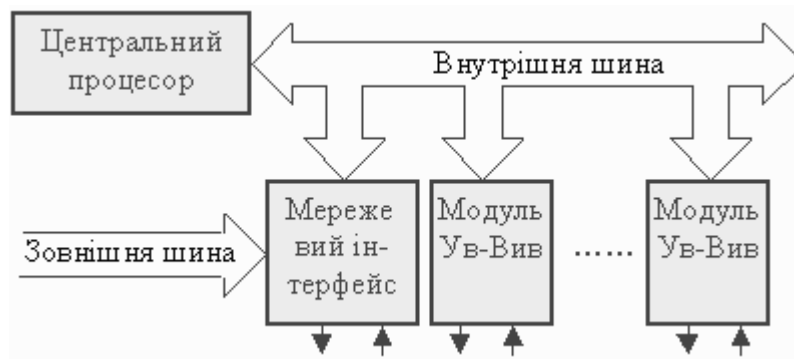


Рис. 3.21

За такою схемою побудовані практично всі PLC і IBM PC сумісні контролери. Як ПЗО в таких системах використовуються спеціальні модулі введення-виведення, що мають з одного боку інтерфейс із внутрішньою шиною, а з іншого боку — кілька (звичайно кратно восьми) каналів для підключення зовнішніх сигналів. Незважаючи на широке поширення такого рішення, у нього є недоліки. Головний з них полягає в тому, що центральний

процесор змушений займатися не тільки задачами керування і мережної взаємодії, але і введення-виведення.

На рис. 3.22 показана структура системи з використанням віддалених ПЗО, з'єднаних з контролером за допомогою одного з відомих промислових мережних інтерфейсів (PROFIBUS, CAN, INTERBUS, MODBUS, і т.д.).

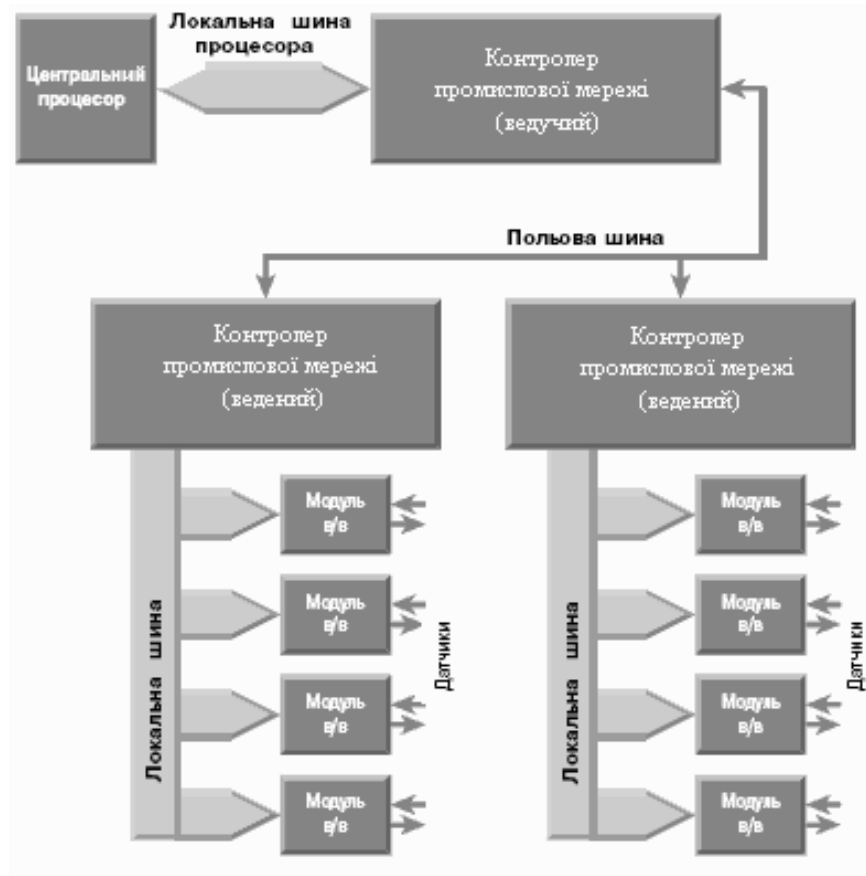


Рис. 3.22

До переваг такої конфігурації відносяться масштабованність і можливість використання ПЗО різних виробників. Процес уведення-виведення здійснюється контролером віддаленого ПЗО. Далі, як правило, стан каналів уведення-виведення кожного з контролерів ПЗО відображається в єдиному вікні двохпортової пам'яті адаптера мережі, встановленої в центральному контролері. Таким чином, процесор здійснює керування каналами введення-виведення через вікно пам'яті, користуючись так званим образом процесу.

3.6.6.2 Промислові комп'ютери

Промислові комп'ютери призначені для автоматичного управління технологічним устаткуванням у несприятливих умовах: запиленості, вологості, вібраціях, грязі, ударах, коливаннях енергії і навколишньої температури. Застосовані в них конструктивні рішення забезпечують підвищену стійкість до промислового середовища. На відміну від персонального комп'ютера промисловий комп'ютер не має материнської плати з процесором, в яку вставляють модулі. Процесорний модуль, як і решту модулів, вставляють в кросс-плату з кількістю гнізд (слотів) до 20. Це дозволяє швидко замінювати модулі, оскільки простої технологічного устаткування під час ремонту пристроїв автоматики приносять великі збитки. Передбачена установка різноманітних плат зв'язку з датчиками і виконавчими пристроями. Для захисту від пилу в системному блоці створюють надмірний тиск за допомогою вентиляторів. Повітря всмоктується через змінні фільтри. Шасі, корпус і плати розширення захищають від вібрації амортизуючими підвісками. У клавіатурі передбачають захист від пилу і вологості за допомогою плівкової технології. Для моніторів застосовують сенсорні екрани, чутливі до торкання. Часто промислові комп'ютери разом з монітором і клавіатурою вбудовують у вертикальну панель прямо на робочому місці. Технічні рішення, орієнтовані на екстремальні умови експлуатації, приводять до збільшення вартості промислових комп'ютерів в два-три рази в порівнянні з персональними комп'ютерами такого ж класу. Проте для багатьох практичних завдань автоматизації досить вельми обмежені характеристики промислових комп'ютерів.

Окрім конструктивних особливостей, промислові комп'ютери відрізняються від персональних поряд функціональних властивостей. Вони повинні управляти об'єктом в режимі реального часу, тому цикл управління не повинен перевищувати інтервал між змінами параметрів об'єкту. У комп'ютер

вбудовують розвинені пристрої зв'язку з датчиками і виконавчими пристроями об'єкту управління. Звичайне для персонального комп'ютера зависання може привести до катастрофічних наслідків для устаткування, керованого промисловим комп'ютером. Тому в промисловий комп'ютер вводять сторожовий таймер, що автоматично перезавантажує комп'ютер при зупинці програми. Для скорочення збитків від простоїв виробництва при відмові автоматики введено багатократне резервування, захисні блокування і автоматичну діагностику відмов. Передбачені програми і пристрої зв'язку з промисловими шинами верхнього і нижнього рівнів.

3.6.6.3 Інтелектуальні прилади

В останні роки усе більш широке поширення у світі одержують нові класи засобів сприйняття і вимірювання, оснащені мікропроцесором. Такі засоби прийнято називати “інтелектуальними датчиками”. Під цим терміном розуміють різні за можливостями класи приладів і найчастіше будь-який датчик, що має у своєму складі мікропроцесор, незалежно від виконуваних цим мікропроцесором функцій, називається інтелектуальним. Однак правильним буде відносити до інтелектуальних тільки такі прилади, що є багатофункціональними програмованими вимірювальними засобами і мають зв'язки зі стандартними польовими мережами.

Інтелектуальні датчики складаються з двох взаємозалежних модулів: модуля сенсора (чутливого елемента) і модуля електроніки (перетворювача). Перетворювач комплектується з програмувального мікропроцесора з оперативним і постійним модулями пам'яті, аналого-цифрового перетворювача, цифро-аналогового перетворювача, мережевого контролера зв'язку з типовими польовими мережами.

Крім звичайних функцій сприйняття вимірюваної величини і перетворення сигналу, сучасні інтелектуальні датчики виконують ряд інших функцій, що істотно розширюють їхні можливості і поліпшують їхні технічні характеристики.

Функції перетворення. Датчик перетворює електричну величину на виході сенсора і здійснює її вимірювання; при цьому він виконує корекцію сигналу по супутнім поточним показникам стану вимірюваного середовища (наприклад, по температурі і/або по тиску), у випадку, якщо показання датчика залежать і від них. У датчику відбувається необхідне перетворення вимірювальної інформації: посилення сигналів сенсора, стандартизація діапазонів вихідних аналогових сигналів, лінеаризація і фільтрація, розрахунок вихідних значень по заданих алгоритмах, аналого-цифрове перетворення значень вимірюваної величини.

Функції самодіагностики. Датчики виконують аналіз своєї роботи: при виникненні різних збоїв, порушень і несправностей визначають їхнє місце виникнення і причину, фіксують вихід погрішності приладу за встановлене значення, аналізують роботу бази даних датчика, розглядають правильність обліку факторів, що коректують вихідні показання датчика. Звичайно інформація, що видається датчиком про його несправності, поділяється на два типи:

а) некритична інформація, коли датчик вимагає деякого обслуговування, але вимірювані ним значення можуть використовуватися для керування;

б) критична інформація, коли вихідні дані датчика невірні і, або потрібно негайне втручання оператора по припиненню використання його показань, або сам датчик переводить свій вихід у постійне безпечне для керування процесом значення, і повідомляє про необхідність термінового обслуговування приладу.

Інформаційні функції. Датчики зберігають у своїй пам'яті і на запит користувача видають усі дані, що визначають властивості, характеристики, параметри даного конкретного приладу: його тип, заводський номер, технічні показники, можливі діапазони виміру, установлену на даний момент шкалу, версію програмного забезпечення, архів проведених метрологічних повірок, термін проведення наступної повірки датчика і т.п.

Функції конфігурування. Дистанційне формування чи модифікація користувачем основних настроєчних параметрів датчика: установлення нуля,

вибір заданого діапазону виміру, вибір методів фільтрації поточних значень, вибір найменування одиниць виміру і т.п.

Функції форматування. Автоматичний аналіз змін вимірюваної величини і поточного стану середовища виміру: визначення виходів значень вимірюваної величини за задані межі, видача різних повідомлень про зміни значень вимірюваної величини.

Керуючі функції. Усе більше число додаткових функцій, безпосередньо зв'язаних з керуванням, покладаються на інтелектуальні датчики. Для реалізації цих функцій у пам'яті мікропроцесора датчика прошивається відповідний набір типових програмних модулів, а їхня ініціалізація і параметризація проводяться дистанційно за допомогою графічного конфігуратора. Як типові програмні модулі використовуються найпростіші арифметичні і логічні операції, таймер, елемент чистого запізнювання, інтегратор, варіанти регуляторів: П, І, ПІ, ПД, ПІД і т.п. функції, з яких легко набираються різні алгоритми керування технологічними процесами.

Сучасні інтелектуальні датчики підтримують три стандарти польових мереж: мережа з HART-протоколом, мережа Profibus, мережа Foundation Fieldbus.

HART-протокол націлений на зв'язок інтелектуальних приладів з контролером і має два варіанти такого зв'язку.

При першому варіанті реалізується зв'язок кожного приладу з контролером по окремій парі проводів (стандартний варіант), по якій можуть проходити як аналоговий, так і цифрові сигнали. Цифрові сигнали містять додаткову інформацію про роботу приладу: діапазон і одиниці виміру, дату калібрування, результати самодіагностики.

При другому варіанті зв'язку реалізується з'єднання ряду приладів з контролером по одній парі проводів (багаточечний варіант), у цьому випадку по парі проводів можуть проходити тільки цифрові сигнали.

Кожне повідомлення від приладу може містити інформацію двох типів: поточні дані і статус приладу, що визначає його оперативний стан.

3.6.6.4 Сервери

Сервер – це комп'ютер або пристрій в мережі, який керує мережевими ресурсами. За своєю потужністю сервери ділять на три групи:

- а) сервери початкового рівня мають у своєму складі від 2 до 16 процесорів;
- б) сервери середнього рівня мають від 16 до 64 процесорів;
- в) високорівневі сервери мають понад 64 процесори.

Сервери мають і інші конструктивні особливості:

- а) резервування окремих компонентів;
- б) використання технологій підвищеної надійності зберігання даних;
- в) можливість зміни конфігурації в процесі роботи без вимкнення живлення.

Дешеві сервери компонуються в корпусах того ж типу, що і для персональних комп'ютерів, тільки більшого розміру. Сервери більш високого класу компонуються в спеціальних стояках. Нова технологія копонування – технологія Blade (лезо) передбачає, що кожний компонент сервера має власні процесор, оперативну пам'ять, диски. Все це оформлюється як карта, що вставляється у стояк і являє собою окремих мікросервер з своїми характеристиками. Карти можуть функціонувати самостійно або бути об'єднані в групу, що має назву кластера. Кластери використовуються для розв'язання складних задач з розподіленням ресурсів даних між картами.

Для підвищення надійності зберігання даних вони записуються одночасно на два жорсткі диски. При відмові одного диска дані зчитуються з іншого. Видаляти чи замінювати компоненти, що вийшли з ладу, можна без зупинки роботи сервера.

3.8 Мережі та вузли верхніх рівнів АСУ ТП

Вузлами верхніх рівнів АСУ ТП є автоматизовані робочі місця (АРМ) планово-управлінського персоналу та сервери баз даних.

Згідно з ГОСТ 34.003-90 АРМ в АСУ — це програмно-технічний комплекс, призначений для автоматизації діяльності зазначеного виду. АРМ

можна застосувати при розв'язуванні комплексів задач управління в різних сферах діяльності і на різних рівнях управління.

За допомогою АРМ спеціаліст може автоматично обробляти тексти, надсилати і приймати повідомлення, брати участь в теленарадах, організовувати і вести особисті архіви документів на машинних носіях, проводити імітаційне моделювання для вивчення поведження системи, виконувати обчислення й діставати готові результати в табличній або графічній формі.

Оскільки процес прийняття рішень у процесі управління в цілому реалізується колективом, необхідна проблемна спеціалізація АРМ управлінського персоналу, яка відповідає різним управлінським ланцюгам і функціям, що реалізуються. Реалізація різноманітних фаз прийняття рішень (підготовка інформації для прийняття рішень, саме прийняття рішень; реалізація прийнятих рішень) має багато спільного з різними службами об'єкта управління (облікові, планові, збутові служби). Це дає змогу створювати гнучкі структури управління, підвищувати ефективність і оперативність роботи служб. Локальні мережі, на основі яких можуть функціонувати комплекси АРМ, як у рамках окремих підрозділів, так і на рівні суміжних функцій, виконуваних різними підрозділами, слугують базою для взаємозв'язку окремих АРМ у системі.

Створені на базі персональних комп'ютерів АРМ функціонально, фізично та органічно настроюються на конкретного користувача (персональне АРМ) або групу користувачів (групове АРМ).

Задачі організаційного управління, які розв'язуються в складі АРМ, можна умовно поділити на три класи.

До 1-го класу належать повністю формалізовані задачі (господарський та фінансовий облік, підготовка виробництва), для яких можна розробити структуризовані процедури вироблення рішень. Задачі можуть розв'язуватись на ЕОМ без участі людини за заздалегідь підготовленими алгоритмами, тобто алгоритм замінює людину.

Для 2-го класу задач характерні слабо структуровані процедури вироблення рішень в умовах неповної інформації. До цього класу належать задачі потокового й оперативного-календарного планування виробництва й управління запасами.

Задачі 3-го класу потребують застосування неструктурованих процедур вироблення рішень, творчого підходу, що ґрунтується на інформованості, класифікації, таланті та інтуїції людини.

Працівників організаційного управління можна поділити на три групи: керівники (директори, головні адміністратори), спеціалісти (начальники функціональних служб, головні спеціалісти), технічні працівники (секретарки, касири, комірники). Керівники вирішують, як правило, задачі 3-го класу, рідко — 1-го. Спеціалісти розв'язують задачі 2-го класу, технічні працівники — 1-го. Згідно з характером розв'язуваних задач можна виділити три класи типових АРМ: АРМ керівника (АРМ-К), АРМ спеціаліста (АРМ-С), АРМ технічного та допоміжного персоналу (АРМ-Т).

АРМ-К може мати розподільну та локальну структуру. При розподільній структурі дисплей встановлюється на столі керівника, а основна функціональна структура (з додатковим дисплеєм) — у секретаря або помічника. Локальна структура АРМ-К передбачає повну функціональну замкненість, яка забезпечує автономну роботу.

Вимоги до АРМ-К:

- наявність достатньо розвиненої бази даних, постійно доповнюваних оперативною інформацією;
- забезпечення керівника або його помічників оперативністю пошуку необхідної інформації в базі даних і наочністю подання інформації у формі, адаптованій до психологічних характеристик людини (за умови високого рівня її інтеграції на екрані незалежно від джерела даних);
- наявність діалогових програмних засобів, що забезпечують прийняття рішень з максимальною адаптацією і регулюють організаційно-адміністративну діяльність;

- забезпечення оперативного зв'язку з іншими джерелами інформації (у межах організаційної структури) та з безпосередніми помічниками;
- забезпечення можливості нагромадження в пам'яті АРМ досвіду роботи і раніше прийнятих рішень.

З урахуванням характеру й особливостей праці керівника програмне забезпечення АРМ-К містить підсистеми забезпечення та ділової діяльності (ПЗДД), прийняття рішень (ПЗПР), рутинних робіт (ПЗРР), комунікацій (ПЗК).

Одна з головних — підсистема ПЗДД, оскільки в середньому 47% робочого часу керівники перебувають у ділових контактах. До складу цієї підсистеми входить діловий пакет керівника. Головне меню пакета містить електронний записник, особистий архів, картотеку доручень. Модуль електронний записник, наприклад, містить електронний перекидний календар, куди керівник заносить щоденний особистий план (щоденник), щотижневий особистий план (щотижневик) з блоком найважливіших справ тижня й переліком найважливіших справ місяця.

При створенні АРМ-С необхідно виходити із того, що спеціаліст — це професіонал у конкретній галузі, тому АРМ має бути таким, аби давати йому змогу проводити аналітичну роботу з документами (на це в середньому в спеціаліста витрачається 54% робочого часу), використовуючи різноманітну інформацію.

Його професійна орієнтація зумовлює вимоги до програмного і технічного забезпечення АРМ-С. Спеціалісту надається можливість працювати з персональною і центральною базами даних, вести комунікаційні діалоги з допоміжними джерелами інформації.

Автоматизоване робоче місце спеціаліста містить системи забезпечення ділової та професійної діяльності, забезпечення рутинних робіт і підтримки комунікацій. Основа АРМ-С – підсистема забезпечення професійної діяльності. Вона, як правило, містить розвинену базу даних, засоби електронної обробки форм і ділової графіки, а також набір програмних засобів для проведення математичних розрахунків і моделювання.

Набір пакетів для математичних розрахунків і моделювання, експертні системи і бази знань використовуються в АРМ-С для підтримки рішень формалізованих і неформалізованих задач.

Автоматизовані робочі місця технічних працівників призначені для працівників, які виконують технічну роботу, що потребує певних професійних навичок. Для такої категорії службовців характерна робота з документами (68% усього робочого часу) і телефонні переговори (20% робочого часу). Основні їх функції — ввід інформації, оформлення документів (друк, тиражування, розсилання і т. ін.), ведення картотек і архівів, обробка вхідної та вихідної документації, контроль виконавчої діяльності. Ці роботи з високим ступенем ефективності можна автоматизувати, використовуючи різноманітні АРМ-Т на базі персональних ЕОМ.

Характер діяльності технічних працівників мало залежить від специфіки галузі, установи, організації. Тому можливий масовий випуск типових АРМ-Т: АРМ оператора текстових документів, АРМ архіваріуса, АРМ комірника, АРМ інспектора, АРМ секретаря. Основні вимоги до програмних і технічних засобів АРМ-Т:

- забезпечення максимальної ергономічності і «дружності» – зручне розміщення технічних засобів, висока якість візуальної інформації, клавіатура, що дає змогу швидко вводити інформацію,
- простий діалог з підказками в разі хибних дій користувачів,
- наявність технічних засобів для друкування і тиражування документів,
- можливість ведення архіву.

Подальший розвиток АРМ в організаційному управлінні пов'язаний з використанням робочих станцій управління (PCY) замість ПЕОМ. В основу концепції PCY покладено ідеї інтегрованого «інтелектуального» інтерфейсу користувача з маніпулюванням даними і широким доступом до розвинених обслуговуючих підсистем. Ці властивості PCY дають змогу використовувати їх базу для побудови персональних і групових АРМ. З погляду на те, що PCY –

універсальна система, необхідна певна функціональна спеціалізація цієї системи з трансформацією її в конкретне ділове автоматизоване робоче місце.

Сервери баз даних – це спеціалізовані пристрої, призначені для зберігання великих об'ємів інформації та обслуговування запитів значної кількості користувачів.

Базою даних (БД) називають форму представлення і організації даних, систематизованих так, щоб ці дані могли бути знайдені та оброблені комп'ютером. Дані зберігаються на сервері. Там же розміщується відповідне програмне забезпечення – система управління базами даних (СУБД). Користувачі на своїх АРМах формулюють запити, в яких вказують, яка інформація потрібна і в якій формі має бути подана. Запити є засобом вибірки даних з однієї або кількох таблиць БД. Сервер обробляє запит, формує вибірку даних і відправляє її на відповідний АРМ. З АРМів заноситься у БД і нова інформація. Подія, яка зумовлює або формування нового запису БД, або зміну чи вилучення наявного запису, називається транзакцією.

У розподіленій БД збереження даних і управління ними здійснюються на кількох серверах. Розбиття даних може досягатися збереженням різних таблиць даних на різних серверах або різних фрагментів однієї таблиці на них. Для користувача не повинно мати ніякого значення, в який спосіб дані розподілено між комп'ютерами.

З метою уніфікації формування запитів створена мова структурованих запитів Structured Query Language (SQL). Запити, записані мовою SQL, розпізнаються усіма сучасними СУБД.

3.9 Корпоративні обчислювальні мережі, Інтранет

3.9.1 Глобальні мережі. Призначення і послуги глобальних мереж

Глобальні мережі відрізняються від локальних як принципами роботи, так і термінологією.

Глобальні мережі створюються великими телекомунікаційними компаніями для надання платних послуг абонентам. Такі мережі називають

публічними. Прикладом є всесвітня глобальна мережа Інтернет. Іноді глобальну мережу створює яка-небудь велика корпорація для своїх власних проблем. У цьому випадку мережу називають корпоративною. Часто використовується проміжний варіант, коли корпоративна мережа користується послугами чи устаткуванням публічної мережі, але доповнює ці послуги чи устаткування своїми власними.

Працездатність глобальної мережі підтримується *оператором мережі*, в надання платних послуг забезпечується *провайдером*.

Основними видами послуг є електронна пошта та пересилання файлів, які можуть містити будь-яку інформацію: комп'ютерні дані, телефонні розмови, факси, телевізійне зображення.

В автоматизованих системах керування глобальні мережі застосовують для пересилання як технологічної, так і управлінської інформації на значну відстань, коли застосування локальних мереж або технічно неможливе, або економічно недоцільне.

3.9.2 Технології транспортування даних у глобальних мережах

X.25 – перша технологія, що з'явилась у 70-ті роки і розрахована на використання телефонних аналогових каналів;

ISDN – цифрова мережа з інтегрованим обслуговуванням, призначена для передавання будь-яких типів даних;

TCP/IP – нижні рівні мережі Інтернет, що використовуються як в локальних, так і в глобальних мережах.

Стандарт X.25 призначено для використання в глобальних телефонних мережах передавання даних у режимі комутації пакетів і є реалізацією трьох нижніх рівнів еталонної моделі OSI: фізичного, канального і мережевого.

На фізичному рівні можуть бути використані будь-які універсальні або спеціалізовані інтерфейси. Окрім стандартних для будь-яких мереж компонентів DTE, DCE і DSE (див. п. 3.5.1) використовується компонент PAD (packet assembler/disassembler), який є специфічним пристроєм мережі X.25. PAD призначений для забезпечення взаємодії будь-яких неспеціалізованих

терміналів з мережею, для перетворення потоку символів, який поступає від неспеціалізованого терміналу в пакети X.25 і виконання зворотного перетворення.

З'єднання "точка-точка" між кінцевим устаткуванням даних у мережі X.25 виконується за допомогою двонаправленого зв'язку, названого *віртуальним каналом*. Віртуальний канал дозволяє організувати постійний зв'язок між вузлами мережі через будь-яку кількість проміжних вузлів без закріплення фізичних ресурсів передавального середовища за цим каналом.

На мережевому рівні стандарт X.25 передбачає три режими:

- а) постійний віртуальний канал, аналогічний арендованій або виділеній телефонній лінії;
- б) комутований віртуальний канал, аналогічний телефонній лінії з набором номеру;
- в) виклик зі швидким вибором, використовуваний для обміну невеликим обсягом даних.

ISDN є глобальною мережею, яка для забезпечення передачі даних використовує ті ж ідеї, принципи і апаратні рішення, які покладені в основу побудови сучасної телефонної мережі.

Інформаційна взаємодія між компонентами мережі здійснюється на трьох рівнях, які функціонально відповідають фізичному, каналному і мережевому рівням моделі OSI.

Інтерфейс ISDN надає користувачеві два канали, звані каналами типу В, з пропускною спроможністю 64 Кбіт/с. Для передачі команд управління і каналної сигналізації використовується окремий канал типа D, який має пропускну спроможність 16 Кбіт/с.

Інформаційна взаємодія на фізичному рівні інтерфейсу ISDN здійснюється по чотирьохпроводній лінії за допомогою обміну інформаційними блоками (кадрами фізичного рівня). Кадр складається з 48 бітів і передається з частотою 4 кГц (період повторення 250 мс). До складу

кадрів входять 32 біти (4 байти) даних, які передаються в В-каналах, і чотири біта каналної сигналізації, які передаються D-каналом.

Управління процесами передачі даних по В-каналах мережі ISDN здійснюється шляхом встановлення викликів. Команди, які управляють організацією виклику, передаються по каналах D. Для того, щоб забезпечити передачу інформації виклику конкретному користувачеві з групи, ця інформація передається на двох рівнях моделі OSI: на каналному рівні і мережевому рівні.

Для передачі керуючої інформації на каналному рівні використовується протокол LAPD (Link Access Procedure D-channel). Він передбачає формування кадрів наступних типів:

Інформаційні кадри (I-кадри) призначені для безпосередньої передачі повідомлень наступного - мережевого рівня ISDN.

Керуючі кадри (S-кадри) призначені для управління процесом передачі I-кадрів і для вирішення проблем, які пов'язані з втратами кадрів в процесі передачі.

Ненумеровані кадри (U-кадри) призначені для встановлення і розривання логічного з'єднання, узгодження параметрів лінії і формування сигналів про виникнення неусувних помилок в процесі передачі даних I-кадрами.

Блоки даних мережевого рівня – пакети ISDN – призначені для безпосередньої передачі інформації сигналізації. Повідомлення мережевого рівня ISDN складається з двох основних частин - загальної частини і специфічної частини.

Загальна частина повідомлення призначена для визначення типу протоколу, який використовується для управління викликами. У загальній частині є також номер, який привласнюється кожному виклику для того, щоб забезпечити можливість використання каналу D для одночасного управління декількома викликами.

Специфічна частина пакету ISDN є полем змінної довжини. Інформація, яка розміщується в даній частині відповідного пакету ISDN, використовується

для визначення конкретних параметрів процедури управління викликом. Зокрема в специфічній частині пакету, який призначений для створення виклику, розміщуються поля ознак швидкості передачі даних для запрошеного виклику і адреси абонентів, що викликаються і викликають.

Треба відмітити, що найбільшого поширення знайшли мережі не за протоколом X.25 чи ISDN, а за протоколами Інтернет, оскільки:

а) вони однаково добре працюють як у глобальних, так і локальних мережах;

б) їх не орієнтовано на конкретну комп'ютерну платформу чи операційну систему;

в) для них стандартизовані протоколи всіх рівнів еталонної моделі.

3.9.3 Мережа Інтернет

Мережа Інтернет децентралізована. Не існує центрального органу, який керує мережею. Однак усі, хто під'єднуються до Інтернет, повинні дотримуватись певних стандартів. Ці стандарти затверджуються кількома добровільними організаціями. Наприклад, Рада з архітектури ІАВ розглядає і затверджує протоколи передачі і стандарти адресації.

Доступ до Інтернет можна отримати, встановивши з'єднання з провайдером послуг Інтернет. Провайдер виступає посередником, забезпечуючи під'єднання користувачів до Інтернет через маршрутизатор. Маршрутизатори – це пристрої, що виконують свої функції на мережевому рівні еталонної моделі, тобто передають пакети між мережами. Вони вибирають за визначеним алгоритмом маршрут проходження переданих через них пакетів.

Існує декілька варіантів під'єднання до Інтернет:

а) електронна пошта (Email) є найпоширенішою формою застосування Інтернет; вона не надає інших можливостей, крім обміну електронними листами між користувачами;

б) доменний доступ для організацій, які використовують Інтернет як для одержання загальної інформації, так і для проведення інтерактивних конференцій і досліджень;

в) клієнтський доступ, який використовується для запуску на робочих станціях спеціальних Інтернет-додатків, наприклад, для торгівлі акціями у режимі реального часу.

Зв'язок користувача з провайдером можливий за допомогою звичайної телефонної мережі через АТС (комутований доступ – dial-up) або за допомогою спеціальної лінії зв'язку (через виділені лінії – leased line).

Інтернет використовує сімейство протоколів TCP/IP. Протоколи TCP/IP відносяться до транспортного рівня і не залежать від протоколів інших рівнів. Інформація, що передається, розбивається на пакети – невеликі порції даних. Пакети пересилаються незалежно один від одного, а в пункті приймання збираються в потрібній послідовності. Такий принцип називається *дейтаграмним*, а порція даних – *дейтаграмою*. Розмір дейтаграми не перевищує 1500 символів.

Дейтаграма складається з двох частин:

- Заголовок дейтаграми (Datagram Header)
- Поле даних дейтаграми (Datagram Data Area)

Інформація користувача розміщується в полі даних дейтаграми. У це поле можуть бути поміщені зокрема блоки даних протоколів верхніх рівнів. У заголовку дейтаграми розміщується інформація, яка необхідна для того, щоб доставити вміст корисного навантаження в необхідний вузол призначення мережі.

Для перевірки правильності передачі даних використовується контрольна сума – число, що обчислюється для всіх символів за спеціальним алгоритмом і вставляється у заголовок дейтаграми. Заголовок також містить номер дейтаграми. Формує заголовок протокол TCP, після чого дейтаграма обробляється протоколом IP, який додає до дейтаграми адресний заголовок, що включає в себе адреси відправника і одержувача інформації.

Далі використовується протокол PPP (Point-to-Point), який розміщує дейтаграму в кадр даних і відправляє у мережу.

Поки кадр даних подорожує у Інтернеті, він проходить кілька IP-маршрутизаторів. Кожен маршрутизатор читає адресу і вибирає наступний маршрутизатор. Різні кадри можуть проходити через різні маршрутизатори.

IP-адреса складається з чотирьох чисел в інтервалі від 1 до 254, розділених крапками, наприклад, 10.4.89.102. Ці числа називаються октетами, бо для їх представлення використовують 8 двійкових розрядів. Октети послідовно деталізують адресу від мережі вищого рівня до підмережі нижчого рівня. Останній октет характеризує конкретний сервер або робочу станцію.

Октети 0 та 255 зарезервовані. Число 255 використовується для спрямування дейтаграми усім комп'ютерам мережі чи підмережі. Число 0 використовується для спеціального зазначення підадреси. Наприклад, для вищенаведеної адреси підадреса 10.4.89.0 позначає підмережу, а 0.0.0.102 – тільки один вузол мережі.

Для кращого запам'ятовування адрес застосовується система доменних імен DNS (Domen Name System). Домен – це група комп'ютерів, до якої можна звертатись за допомогою унікального ідентифікаційного імені, що складається з серії символів, розділених крапками, наприклад, *usuce.dp.ua*. Права частина імені домену – найбільший домен, до якого належить конкретна адреса. В нашому випадку домен *ua* означає, що ця адреса належить Україні. Піддомен *dp* означає Дніпропетровську область, а піддомен *usuce* – УДХТУ.

Між доменним іменем і IP-адресою є однозначний зв'язок. Бази даних імен доменів і відповідні їм IP-адреси зберігаються на *серверах імен*.

Для зв'язку з Інтернет використовується спеціальна програма – браузер. Найбільш популярними браузерами є ІЕ та Netscape Navigator.

Для того, щоб з допомогою браузера звернутись до сервера, що має певну IP-адресу, треба ввести повне доменне ім'я цього сервера. Наприклад, щоб зв'язатись з УДХТУ, треба ввести у відповідне вікно браузера текст:

http://usuce.dp.ua

В цьому разі браузер буде виконувати протокол передачі гіпертексту HTTP, який забезпечує передачу на комп'ютер користувача текстів, графічних зображень та звуку і формує на екрані так звану WEB-сторінку. Комплект WEB-сторінок, що належить якомусь власникові, називається сайтом.

Інтернет-портал (від англ. portal "головний вхід; ворота") – веб-сайт, що надає користувачу можливість подальшого отримання інформації з інших сайтів, іншими словами, що містить велику кількість зовнішніх (тобто таких, що ведуть на інші ресурси) посилань. Як правило, портали також надають користувачеві ряд додаткових можливостей по вибору і структуризації інформації, що відповідає його інтересам.

Існують також сервери, призначені для зберігання файлів різноманітних даних і програм. Вони називаються FTP-серверами. Для отримання таких файлів браузер використовує FTP-протокол (File Transfer Protocol). Ознаку цього треба вказувати перед доменним ім'ям, наприклад:

ftp://trifle.net

Запис, що включає тип протоколу і доменне ім'я називають універсальним локатором ресурсу URL.

Для обміну електронними листами існують поштові сервери. Кожний абонент електронної пошти має унікальну адресу, що складається з імені абонента та доменного імені, розділених знаком @. Наприклад, Ви можете писати авторам цього підручника на електронну адресу

bsoft@a-teleport.com

Отримавши листа з подібною адресою, поштовий сервер визначає IP-адресу одержувача і пересилає лист. При цьому використовується простий протокол передачі пошти (Simple Mail Transfer Protocol – SMTP). До листів можна приєднувати будь-які файли даних. Протоколи TCP/IP розраховані на пересилання символічних даних. Якщо до листа приєднуються не текстові файли, то перед пересиланням двійкові дані перетворюються у символи формату ASCII за допомогою багатоцільового розширення Інтернет-пошти (Multipurpose Internet Mail Extension – MIME).

Якщо поштові скриньки користувачів зберігаються на сервері провайдера, то для такого віддаленого доступу до електронної пошти використовується протокол POP3 (Post Office Protocol v.3).

3.9.4 Intranet

Intranet – це корпоративна мережа, що використовує технології Інтернет для обміну інформацією.

З технічної точки зору інтранет – це внутрішній корпоративний web-портал, покликаний вирішувати задачі конкретної компанії; завдання, в першу чергу, по систематизації, зберіганню і обробці внутрішньокорпоративної інформації. Це сайт, доступний тільки в рамках локальної мережі компанії, включаючи видалені філіали, (*intranet*) або як портал в мережі Інтернет, що невидимий в пошукових системах і вимагає авторизації при вході (*extranet*). Доступ до сторінок порталу здійснюється через web-браузер, що дозволяє користуватися послугами інтранет-систем людям з мінімальною комп'ютерною підготовкою. Оновлення інформації здійснюється відповідальними співробітниками за допомогою спеціальних інтерфейсів, робота з якими практично ідентична роботі з офісними програмами.

В мережах Intranet або взагалі нема підключення до Інтернет, або це підключення контрольоване з доступом обмеженого кола користувачів. В Intranet використовуються стандартні для Інтернет служби і протоколи HTML, TCP/IP, SMTP, FTP, система доменних імен і браузери. Intranet-технології забезпечують зв'язок електронною поштою, проведення телеконференцій, збирання, збереження і відновлення інформації з мінімальними витратами на керування мережею і високим рівнем захисту від несанкціонованого доступу.

В Intranet використовуються набори форм, звані сторінками, які є аналогом web-сторінок. Це текстові файли, що містять інструкції для збирання і збереження інформації в різних форматах – текстовому, графічному чи звуковому. Браузери робочих станцій звертаються до серверів, одержують і відображають ці сторінки відповідно до інструкцій, що записані в тексті сторінок за допомогою мови формування гіпертексту HTML.

Для пошуку необхідної сторінки застосовується пошукова машина. Це спеціальна програма, яка має базу даних про всі сторінки на всіх серверах корпоративної мережі. Пошук проводиться за допомогою ключових слів. В результаті пошуку на екран користувача виводиться перелік посилань на сторінки, які містять введені користувачем ключові слова.

Крім того, у корпоративних мережах використовують і інше специфічне програмне забезпечення.

- Програми класу брандмауер (firewall) призначені для захисту корпоративної мережі або робочої станції від зовнішніх атак, вірусів, просочування конфіденційної інформації, а також для контролю роботи [додатків](#).

- Проксі-сервер дає можливість організувати централізований вихід в Інтернет з робочих станцій локальної мережі, а також прискорити з'єднання і зменшити трафік кешуванням запитаних web-сторінок.

Ключовим словом при описі intranet-систем є слово "єдиний":

- єдиний спосіб обробки, зберігання, доступу до інформації,
- єдине уніфіковане середовище роботи,
- єдиний формат документів.

Такий підхід дає співробітникам можливість найефективніше використовувати накопичені корпоративні знання, оперативно реагувати на події, що відбуваються, а підприємству в цілому надає нові можливості організації свого бізнесу.

Завдання, що вирішуються за допомогою интранет-систем:

- централізоване зберігання загальнокорпоративної інформації і організація оперативного доступу до неї;
- організація авторизованого доступу до службової документації компанії;
- своєчасне сповіщення співробітників про події усередині компанії;

- оперативний доступ до інформації про структурні підрозділи компанії і персонал;
- стимулювання ділового спілкування між співробітниками;
- організація "зворотного зв'язку" між підрозділами компанії і керівництвом;
- централізація і автоматизація типових службових завдань;
- підвищення загальної інформаційної прозорості усередині компанії;

Типова структура інтранет-порталу припускає наявність розділів, наведених в табл. 3.4.

Таблиця 3.3 – Розділи інтранет-порталу

Інформація про компанію	Реквізити, схеми проходу/проїзду до офісів, організаційна структура компанії, статут, місія компанії, корпоративний стиль, посадові інструкції і т.д.
Інформація про співробітників	Довідник по співробітниках (телефони, e-mail адреси, ІСQ, підрозділ і посада, фотографії), особисті сторінки співробітників, дошка шанси
Оперативна інформація	Оголошення, накази і розпорядження, обов'язкові заходи (планерки, збори і т.д.), стягнення і подяки за наслідками звітного періоду, інформаційні огляди, зовнішні і внутрішні курси валют, погода і т.д.
Корпоративна база знань	Стандартні документи і шаблони, внутрішньокорпоративна довідкова інформація (каталог продукції і прайс-листи, повчальні матеріали), файловий архів (робоча інформація, дистрибутиви програм, музика) і т.д.
Сервісні механізми	Заявки в служби на закупівля товарів (витратні матеріали, оргтехніка, канцелярія), заявки на виконання робіт

3.9.5 Використання Інтернет у КІСУ

Інтернет дозволяє організувати диспетчеризацію практично будь-яких об'єктів незалежно від місця їх розташування. Диспетчерський пункт для роботи з одним або декількома територіально розосередженими об'єктами може знаходитися в будь-якому місці, де є доступ в Інтернет.

Використовують наступні способи підключення приладів до Інтернет.

- Виділена лінія через модем . Володіє високою швидкістю передачі даних і дозволяє одночасно підключити декілька пристроїв через маршрутизатор (роутер).

- Телефонна лінія через DSL-модем. Технологія DSL DSL (Digital Subscriber Line цифрова абонентська лінія) забезпечує високошвидкісне підключення. Весь діапазон передаваних по лінії частот ділиться на три частини. "Голосові" частоти (від 0 до 4 кГц) використовуються виключно для телефонних розмов. Частоти від 25 до 160 кГц, використовуються для передачі даних від користувача до провайдера. Діапазону від 240 кГц до 1,5 МГц несе інформацію у зворотний бік. Телефонна лінія залишається вільною для розмов. Багато моделей DSL-модемів мають вбудований маршрутизатор (роутер), що дає можливість підключення до Інтернет відразу декількох пристроїв.

- Стільниковий зв'язок через GSM-модем. GSM (Global System for Mobile Communications) – глобальний цифровий стандарт для мобільного стільникового зв'язку, з розділенням каналу за часом і високим ступенем безпеки. GSM-модем – це пасивний приймач-передавач, що використовує мережі операторів мобільною зв'язку GSM для передачі/прийому інформації. GSM-модеми можуть бути легко інтегровані в різне телеметричне, диспетчерське, охоронне і ін. устаткування.

- Мережа стільникового зв'язку GPRS через стільниковий модем. Доступність зв'язку практично по всій території країни (Білайн, Мегафон, МТС). Зміна оператора стільникового зв'язку шляхом заміни SIM-карти в модемі. Деякі моделі стільникових модемів мають вбудований маршрутизатор (роутер), що дає можливість підключення до Інтернет відразу декількох пристроїв. Рекомендовані моделі модемів: MT232 GPRS TCP/IP, WAVECOM 1206(1306), SIEMENS MC35i.

GPRS (General Packet Radio Service) – це своєрідна надбудова над звичайною GSM-мережею, яка дозволяє передавати дані на істотно вищих, ніж в звичайній GSM мережі (максимум 14,4 Кбіт/с), швидкостях – теоретичний

максимум в GPRS складає 171.2 Кбіт/с. GPRS – це пакетна система передачі даних, що функціонує аналогічно Internet: потік даних відправника розбивається на окремі пакети і потім доставляється одержувачеві, де всі пакети збираються воедино.

- Мережа стільникового зв'язку CDMA через стільниковий модем.

CDMA (англ. Code Division Multiple Access) – множинний доступ з кодовим розділенням. Канали трафіку при такому способі розділення середовища передачі створюються привласненням кожному користувачеві окремого числового коду, який "розпорошується" по всій ширині смуги частот каналу. Отже, всі абоненти одночасно використовують всю ширину каналу. Смуга частот каналу дуже широка, віщання абонентів накладається одне на одне, але, оскільки їхні коди відрізняються, вони можуть бути диференційовані на приймальній стороні. Технологія CDMA вимагає точної синхронізації роботи передавача і приймача.

CDMA – зона обхвату мережі SkyLink. Рекомендована модель модему: CDMA PCT-24.1.

Стільниковий зв'язок дає додаткові можливості розширення функцій управління, наприклад, SMS-диспетчеризацію через GSM-модем. Вона передбачає:

- Сповіщення у разі виникнення тривожної ситуації на об'єкті за ініціативою контролера.
- Відповідь за SMS-запит користувача з інформацією про значення параметрів і стан відмов.

Обмін даними за допомогою SMS-повідомлень раціонально застосовувати тоді, коли потрібно передавати обмежене число параметрів (як правило, число каналів в системі автоматизації не більше 10–12). В цьому випадку, пакет даних, що містить інформацію про значення атрибутів каналів, цілком вміщається в ліміт SMS-повідомлення – 160 символів. Сам механізм обміну в цьому режимі обміну даними нічим не відрізняється від звичайного - на запит (SMS-повідомлення) головної (Master) або підлеглої системи (Slave),

формується відповідь, що містить запрошену інформацію, і відправляється за допомогою такого ж SMS-повідомлення. Час зв'язку (від початку передачі SMS-запиту до приходу SMS-паketу із запитаними даними) сильно залежить від можливостей і завантаженості оператора зв'язку і варіюється від 5 до 20–25 с (у робочі дні, і до 1–2 діб в святкові дні).

Режим прямого з'єднання нічим не відрізняється від звичайної комутованої лінії, використовуваної в традиційних телефонних мережах, крім того GSM-мережі дозволяють передавати дані з швидкістю до 9600 бод. В цьому випадку зв'язок між двома вузлами не уривається до тих пір, поки не будуть передані всі запрошені дані. Цей режим, в порівнянні з SMS-повідомленнями має ряд особливостей:

- передача теоретично будь-якого об'єму інформації за одне з'єднання;
- вища швидкість передачі інформації (до 115 кбіт/с);
- володіє властивістю всіх комутованих ліній обривати зв'язок при збогах;
- встановлення зв'язку між вузлами займає якийсь час і складає 5–10 с.

Прикладом використання Інтернет може служити система диспетчеризації для програмно-технічного комплексу (ПТК) КОНТАР. Дане програмне забезпечення не розповсюджується серед користувачів, а встановлено на сервері розробника комплексу, виведено в мережу Інтернет і надано в загальне користування. Кожному користувачеві ПТК КОНТАР може бути виділений доступ в систему (ім'я користувача і пароль) для створення власного проекту диспетчеризації. Для роботи з системою ніяких спеціальних програм не потрібні, достатньо стандартного Інтернет-браузера, наприклад, Internet Explorer, що входить до складу Windows. Користувач може працювати з своїм проектом, ніяк не впливаючи на роботу інших користувачів. Доступ до системи може бути здійснений з будь-якого комп'ютера, підключеного до мережі Інтернет.

Означена система ідеально підходить для диспетчеризації видалених необслуговуваних об'єктів, наприклад, модульних котельних, невеликих

магазинів і ресторанів, заправних станцій і т.п. в умовах, коли недоцільно організувати окрему диспетчерську службу або відсутня необхідність безперервного спостереження за значеннями параметрів на об'єктах. В цьому випадку диспетчерським комп'ютером може стати будь-який комп'ютер, підключений до мережі Інтернет. При цьому слід мати на увазі, що система не призначена для безперервного цілодобового спостереження за об'єктами.

У NASA була розроблена web-технологія Tempest, що перетворює вбудований мікропроцесор на відкритий web-сайт. Технологія Tempest - це проста в установці, повністю документована комерційної якості технологія, яка може підтримувати нескладні графічні інтерфейси.

3.10 Контрольні тестові питання до розділу 3

3.10.1 Мережа для приладів, використовуваних в автоматичному керуванні технологічним процесом і розміщених в умовах промислового виробництва, називається:

- корпоративна мережа;
- цехова мережа;
- заводська мережа;
- польова мережа;
- мережа АСУ ТП;
- глобальна мережа;

3.10.2 Найбільші розміри локальної мережі забезпечує:

- з'єднання точка-точка;
- шинна топологія;
- зіркоподібна топологія;
- кільцева топологія;
- деревоподібна технологія.

3.10.3 В еталонній моделі OSI встановлення, підтримання і розрив фізичного з'єднання між двома абонентами забезпечує

- фізичний рівень;

- каналний рівень;
- мережевий рівень;
- транспортний рівень;
- сеансовий рівень;
- рівень подання даних;
- прикладний рівень.

3.10.4 Пристрій для об'єднання окремих сегментів мережі називається:

- репітером;
- хабом;
- бріджем;
- роутером;
- шлюзом.

3.10.5 Стандартом RS485 для передачі логічних 0 та 1 використовується:

- частотна модуляція;
- фазова модуляція;
- широтно-імпульсна модуляція;
- перемикання напряду струму;
- наявність або відсутність імпульсу.

3.10.6 HART-протоколом для передачі логічних 0 та 1 використовується:

- частотна модуляція;
- фазова модуляція;
- широтно-імпульсна модуляція;
- перемикання напряду струму;
- наявність або відсутність імпульсу.

3.10.7 Максимальна швидкість передачі даних в мережі Ethernet:

- 1 Мбіт/с;
- 10 Мбіт/с;
- 100 Мбіт/с;
- 1 Гбіт/с;

- 10 Гбіт/с;

3.10.8 Мережа Foundation FieldBus як передавальне середовище застосовує:

- виту пару;
- коаксіальний кабель;
- волоконно-оптичний кабель;
- радіозв'язок;
- супутниковий зв'язок.

3.10.9 Кільцева топологія використовується в мережі:

- Modbus;
- DeviceNet;
- Interbus;
- Foundation FieldBus;
- INTERBUS-S;
- PROFIBUS.

3.10.10 На якому з рівнів КІСУ не використовується мережа Ethernet:

- рівні дискретних датчиків;
- рівні пристроїв;
- рівні систем управління
- рівні адміністративного керування.

3.10.11 Останній октет IP-адреси характеризує:

- мережу;
- вузол мережі;
- домен;
- піддомен;
- ознаку циркулярного розсилання.

3.10.12 Чим Intranet відрізняється від Internet:

- протоколами;
- інтерфейсами;

- відсутністю електронної пошти;
- правами доступу;
- можливістю використання у КІСУ.

4 ПОБУДОВА ІЄРАРХІЧНО-РОЗПОДІЛЕНИХ АСУ

4.1 Загальні структура комп'ютерно-інтегрованої системи

Загальна схема процесу перебігу інформації у комп'ютерно-інтегрованій системі показана на рис. 4.1.

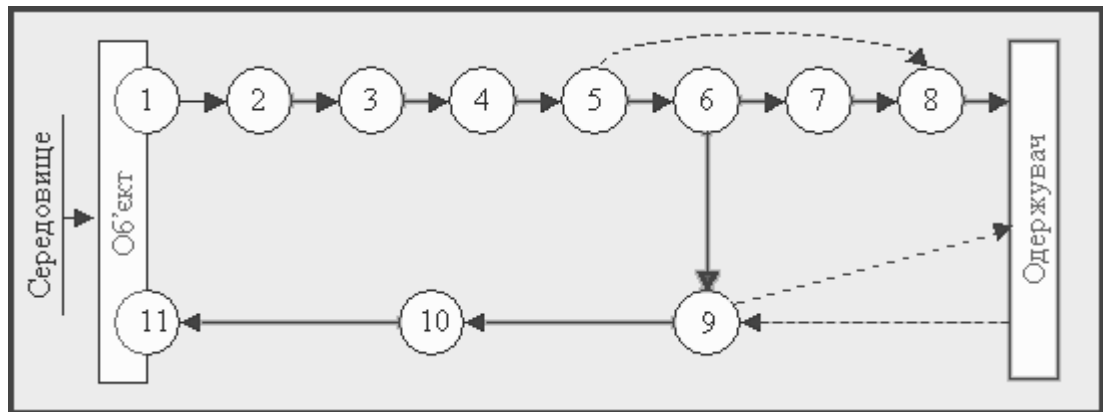


Рис. 4.1 – Схема процесу перебігу інформації: 1 – генерація; 2 – сприйняття; 3 – перетворення; 4 – передача; 5 – приймання; 6 – оброблення; 7 – зберігання; 8 – подання; 9 – формування; 10 – передача; 11 – вплив

На об'єкт управління впливає зовнішнє середовище, у результаті чого об'єкт змінює свої властивості. Виявлення цих змін чи генерація інформації (1) є початком перебігу інформації в системі. Це виявлення треба сприйняти системою. При сприйнятті (2) формується повідомлення чи сигнал про зміну стану об'єкта. Під перетворенням (3) розуміють операції нормалізації, квантування, модуляції та інші, які роблять повідомлення більш завадостійким і зручним для передачі.

Передача (4) повідомлень полягає в перенесенні їх по каналу передачі на відстань за допомогою сигналів різної фізичної природи. На другому боці каналу відбувається приймання (5) повідомлень.

Одержані повідомлення обробляються (6) за певними алгоритмами у засобах керування. Проміжним станом обробки повідомлень може бути зберігання (7) його в пам'яті. Подання (8) інформації одержувачу може відбуватись, як безпосередньо після приймання, так і після операцій оброблення чи зберігання.

На підставі одержаних даних формується (9) керуючий сигнал, який передається (10) для впливу (11) на об'єкт управління.

Для реалізації цих операцій використовуються різні пристрої, прилади чи підсистеми. До них відносяться:

- а) датчики - для генерації і сприйняття;
- б) перетворювачі;
- в) передавачі - для узгодження сигналів з лінією зв'язку;
- г) приймачі - для приймання сигналів з лінії зв'язку;
- д) пристрої оброблення інформації - регулятори, контролери та інші керуючі обчислювальні пристрої;
- е) запам'ятовуючі пристрої;
- ж) пристрої відображення інформації для подання її одержувачу;
- з) формувачі керуючих сигналів;
- і) виконавчі пристрої для впливу на об'єкт.

Всі складові структури комп'ютерно-інтегрованої системи можуть бути як аналоговими, так і цифровими. Чим більша доля цифрових приладів, пристроїв і підсистем, тим вищий ступінь комп'ютерної інтеграції системи.

Сучасні АСУ мають багаторівневу ієрархічну структуру. В залежності від задач, розв'язуваних системами керування, виділяються три рівні.

Перший рівень – оперативне управління процесом випуску продукції. Це може бути управління дільницею, робочим місцем, технологічним устаткуванням. Другий рівень – технічне або адміністративне управління на основі застосування методів моделювання. Це може бути управління цехом. На третьому рівні реалізується стратегічне управління, що є функцією вищого управлінського персоналу.

Кожен з рівнів може складатись з кількох підрівнів. Технічне оснащення рівнів та підрівнів, як правило, розподілене у просторі. Передача даних від одних технічних пристроїв до інших здійснюється через системи зв'язку, які мають різні назви: шини, мережі, інтерфейси. Всі ці назви часто вживаються як рівноправні, хоча кожна має свою специфіку. Так шиною (bus) називається

середовище передачі сигналів, до якого може паралельно під'єднуватись декілька компонентів обчислювальної системи і через яку здійснюється обмін даними. Мережа (network) – система, створена терміналами (кінцевими пристроями), вузлами та лініями зв'язку. мережа являє собою множину ресурсів, що використовуються для встановлення зв'язку і комутації ліній між її вузлами і терміналами. Інтерфейсом називається сукупність технічних і програмних засобів, що забезпечують обмін інформацією між окремими технічними пристроями, а також між технічними пристроями і оперативним персоналом.

Розглянемо типову структурну схему сучасного виробництва (рис. 4.2).

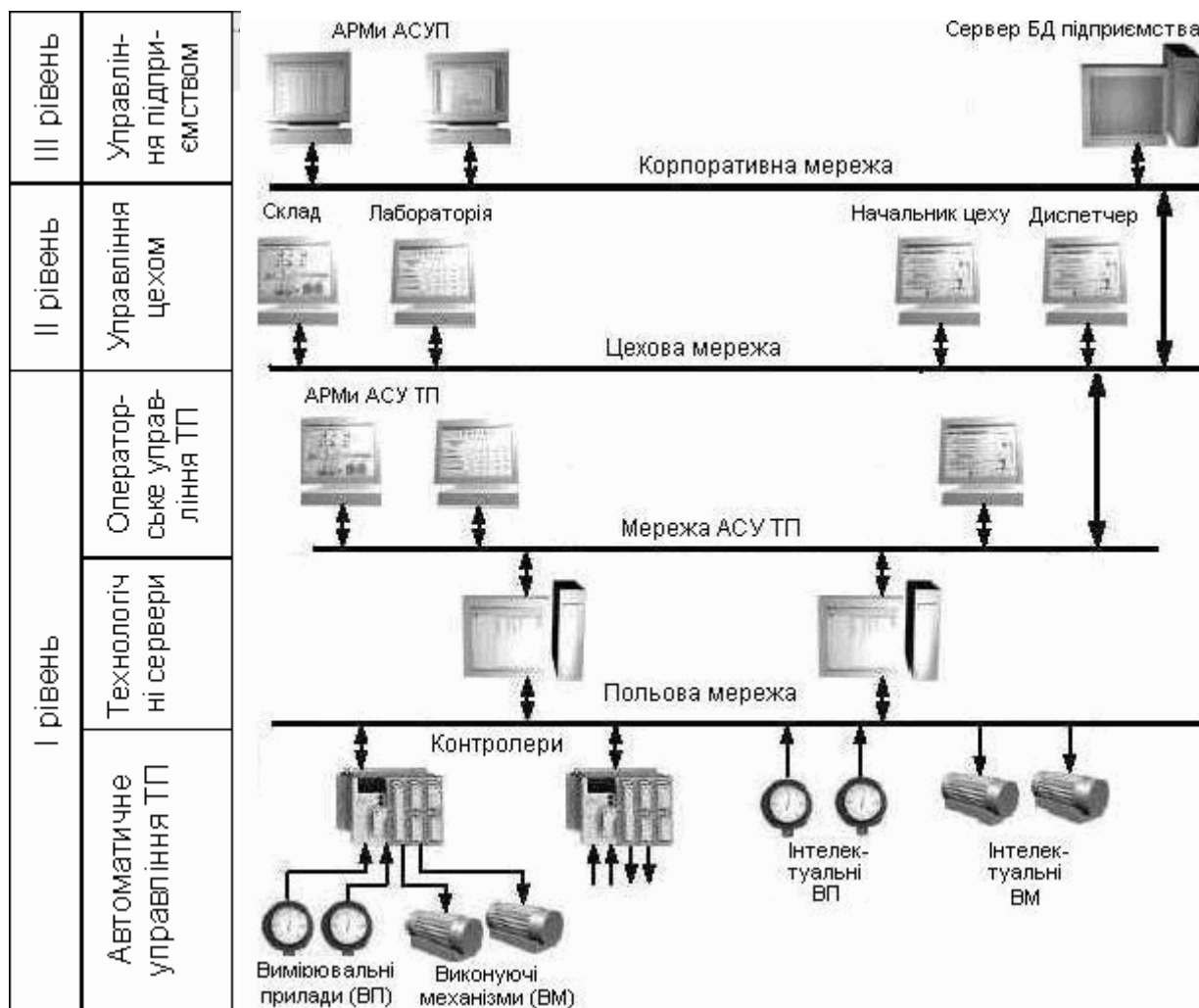


Рис. 4.2

Нижній рівень цієї схеми складають вимірювальні прилади і виконавчі механізми, що розміщуються на об'єкті управління і мають назву польових

приладів. На сьогоднішній день, вони можуть бути аналоговими чи цифровими (інтелектуальними). Аналогові представляють вимірювану величину у вигляді рівня напруги чи струму. Цифрові ж мають убудовані логічні схеми і представляють вимірювану величину у вигляді цифрового сигналу. Для обміну інформацією з приладами першого типу, необхідно використовувати Аналогово-цифрові/Цифро-аналогові перетворювачі (АЦП/ЦАП). З приладами другого типу можна обмінюватися інформацією безпосередньо по мережі передачі даних, яка носить назву “польова мережа”.

Наступний рівень схеми – контролери. Вони виконують функцію автоматичного керування технологічним процесом. Їх задачею є видача сигналів на виконавчі механізми в результаті обробки даних про стан технологічних параметрів за визначеними алгоритмами.

Сервери технологічних даних забезпечують зберігання технологічної інформації та обмін інформацією між технологічними пристроями і мережею АСУ ТП. Вони підтримують протокол роботи з технологічними пристроями і протокол роботи з мережею АСУ ТП. Дані про поточні параметри технологічного процесу можуть бути використані:

- а) для контролю стану технологічного процесу і керування ним з автоматизованих робочих місць операторів (АРМ);
- б) для архівації історії зміни технологічних параметрів;
- в) для формування сумарних звітних форм з метою надання інформації керівному персоналу.

На рівні управління цехом цехова мережа зв'язує між собою АРМ складів, лабораторій, диспетчера і начальника цеху. Інформація до цих АРМів надходить знизу з мережі АСУ ТП або зверху з мережі підприємства, що має назву корпоративної мережі. Ця мережа охоплює АРМ всіх служб підприємства.

На рівні управління підприємством використовується інформація як з нижчих рівнів управління, так і з баз даних, розміщених на сервері баз даних підприємства.

4.2 Класифікація і аналіз характеристик комп'ютерно-інтегрованих систем

Всі характеристики комп'ютерно-інтегрованої системи можна поділити на чотири класи (див. табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Класифікація характеристик комп'ютерно-інтегрованих систем

Найменування класу	Найменування характеристики
1 Функціональні	1.1 Призначення
	1.2 Повнота можливостей
	1.3 Універсальність
2 Експлуатаційні	2.1 Надійність
	2.2 Живучість
	2.3 Безпека
	2.4 Ергономічні характеристики
3 Економічні	3.1 Вартість
	3.2 Окупність
	3.3 Рентабельність
4 Технічні	4.1 Характеристики сигналів
	4.2 Завадостійкість
	4.3 Ефективність передачі інформації
	4.4 Швидкодія
	4.5 Енергопостачання
	4.6 Елементна база
	4.7 Умови, за яких система виконує свої функції

У *призначенні* системи вказуються:

- а) тип об'єкта, яким має управляти система;
- б) перелік режимів роботи системи (автоматичний, ручний, контрольний тощо);
- в) інтенсивність і склад інформаційних потоків;
- г) характер роботи (неперервний, циклічний);
- д) додаткові функції системи.

Під *повнотою можливостей* розуміється відношення обсягу автоматизації об'єктів, процесів, підсистем до загального обсягу об'єктів, процесів, підсистем.

Універсальність - це можливість використання однієї і тієї ж системи для управління різними об'єктами при незначних доробках.

Надійність, живучість і безпека є системними властивостями. Для їх визначення застосовуються такі поняття, як справність, працездатність, відмова та ін., які характеризують стан системи.

Усі стани системи діляться на три множини (рис. 4.3):

$S_{ППС}$ - множина повністю працездатних станів;

$S_{ЧПС}$ - множина частково працездатних станів;

$S_{НПС}$ - множина непрацездатних станів.

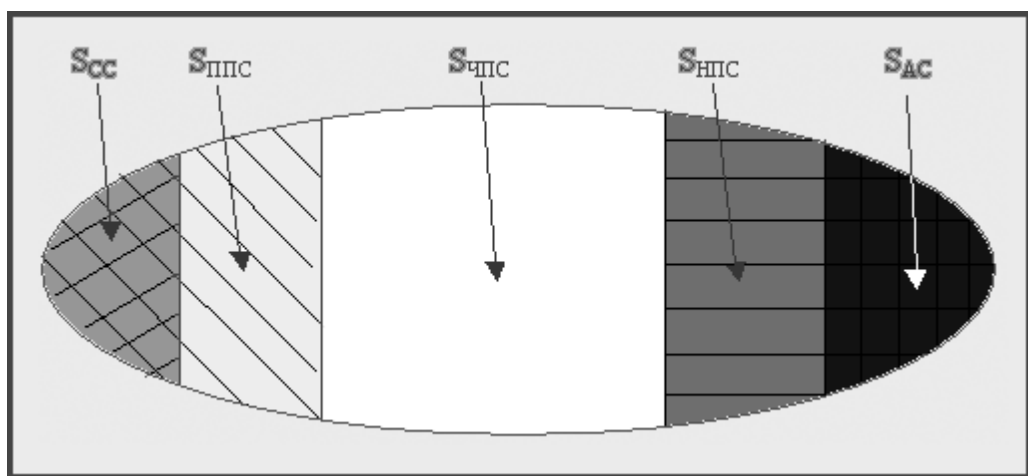


Рис. 4.3

Повністю працездатний стан - такий стан системи, при якому її основні параметри знаходяться в межах установлених нормативно-технічною документацією (НТД). При цьому другорядні параметри можуть бути або в межах норм, або ні.

У множині повністю працездатних станів виділяється підмножина S_{cc} справних станів. Це такий стан системи, в якому як основні, так і другорядні параметри системи усім вимогам НТД, крім того, немає дефектів у резервній апаратурі.

Непрацездатний стан - стан, коли вимогам не відповідає хоча б один основний параметр, а другорядні параметри можуть бути або в межах норм, або ні.

У множині непрацездатних станів виділяється підмножина S_{AC} аварійних станів, тобто таких, в яких система не може функціонувати, бо це може бути небезпечно для персоналу або навколишнього середовища.

Частково працездатний стан характеризується можливістю виконувати функції в деяких режимах (основних і допоміжних) При цьому деякі параметри відповідають вимогам НТД.

Технічний стан системи визначається сукупністю схильних до зміни параметрів. Межі зміни параметрів устанавлюються у НТД. Параметр може відповідати чи не відповідати вимогам НТД. Кожна така невідповідність являє собою дефект. Дефекти можуть бути наслідком природних процесів зношуваності та старіння, пошкодження, порушення правил і норм експлуатації, а також мають місце при розробці, виробництві і ремонті.

Параметри можуть бути основними і другорядними. Основні параметри визначають основні режими роботи системи, другорядні - роботу системи у допоміжних режимах.

Дамо визначення основним експлуатаційним характеристикам системи.

Надійність - властивість системи зберігати у часі та встановлених межах значення параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах роботи та умовах експлуатації. Одним з важливих параметрів надійності є час напрацювання на відмову. Відмовою називається подія, яка полягає у втраті працездатності.

Живучість - властивість системи зберігати і автоматично відновлювати повністю або частково працездатний стан при виникненні відмов.

Безпека системи полягає в її здатності протистояти переходу у множину аварійних станів.

До *ергономічних вимог* відносяться

а) забезпечення фізіологічних зручностей для роботи обслуговуючого персоналу, тобто забезпечення взаємодії людини і апаратури у зручних і допустимих формі і темпі;

б) створення умов для психологічного комфорту персоналу, тобто доступність для розуміння інформації, наявність засобів навчання, тренування тощо.

Економічні характеристики розглядаються при вивченні дисципліни "Економіка".

З технічних характеристик дамо визначення наступним.

Завадостійкість - це здатність системи протистояти шкідливій дії завад, при якій прийнята інформація буде відрізнитись від переданої.

Швидкодія системи - це швидкість реакції системи на збурення, що діють на об'єкт управління. Її можна оцінювати часом від моменту виникнення збурення до моменту початку виконання керуючої дії.

Кожна з описаних характеристик не є ізольованою, всі вони взаємопов'язані. У реальних умовах їх треба аналізувати комплексно.

4.3 Технічні аспекти використання сигналів у КІСУ

4.3.1 Типи сигналів, що використовуються в КІСУ

На практиці найчастіше використовуються електричні сигнали. При цьому носієм інформації є струм або напруга в електричному колі, що змінюються в часі. Електричні сигнали легше обробляти ніж інші, вони добре передаються на великі відстані. В КІСУ виділяють аналогові, дискретні і цифрові сигнали.

Аналоговий сигнал - сигнал, область визначення якого є безперервний простір. Приклади безперервних просторів і відповідних фізичних величин:

- пряма лінія: електрична напруга, електричний струм;
- коло: положення ротора, колеса, шестерні, стрілки аналогового приладу, або фаза несучого сигналу;
- відрізок: положення поршня, важеля управління, рідинного термометра або електричний сигнал, обмежений по амплітуді;
- різні багатовимірні простори: колір, квадратурно-модульований сигнал.

Аналогові сигнали часто використовують для представлення фізичних величин, що безперервно змінюються. Наприклад, аналоговий електричний сигнал, що знімається з термопари, несе інформацію про зміну температури.

Безпосередньо ввести аналоговий сигнал в комп'ютер і обробити його неможливо, оскільки на будь-якому інтервалі часу він має нескінченну множину значень, а для точного (без погрішності) представлення його значення потрібні числа нескінченної розрядності. Тому в КІСУ необхідно перетворити аналоговий сигнал так, щоб можна було представити його послідовністю чисел заданої розрядності.

В сучасних АСУ здебільшого використовується уніфікований струмовий сигнал 4–20 мА. Його призначення – передача інформації від віддаленого аналогового датчика, для чого потрібні тільки два дроти і джерело живлення датчика. Для живлення датчика використовується джерело напруги постійного струму 24 В. Послідовне з'єднання датчика, джерела живлення і опору навантаження R_n створює струмову петлю (рис. 4.4). Датчик змінює струм в петлі відповідно до зміряного параметра. На послідовному резисторі R_n цей струм перетвориться в напругу, яка далі може бути оброблена в системі керування.

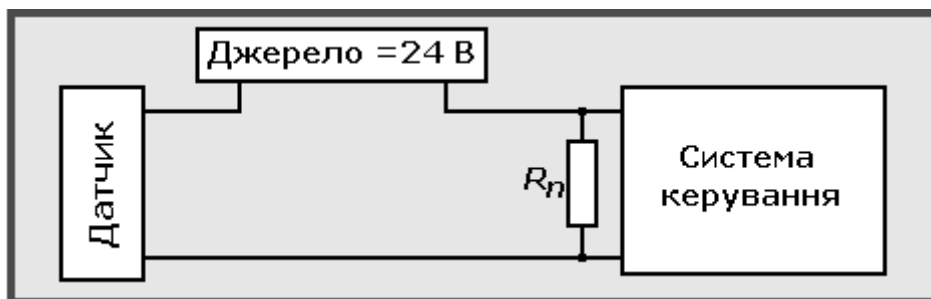


Рис. 4.4

Використання струмового сигналу 4–20 мА забезпечує ряд переваг.

По-перше, струмовий контур має низький електричний опір, а, отже, струмовий сигнал стійкіший до завад, ніж сигнали напруги. Крім того, до певної межі він компенсує внутрішній опір з'єднувальних проводів. По-друге, струм 4 мА – це «нуль працюючого приладу», що дозволяє надійно розпізнати

несправність приладу, а також від'єднання або обрив лінії (рис. 4.5). Це абсолютно необхідно для устаткування, що забезпечує безпеку. Електроніка розпізнає відмову приладу (наприклад, відсутність сенсора) і негайно встановлює вихідний сигнал, рівний 3 мА. При обриві струм в лінії відсутній (0 мА). В обох випадках вихідний сигнал приладу буде відмінний від сигналу в режимі вимірювання, що дозволяє виявити несправність.



Рис. 4.5

Струм, що перевищує 20 мА, також не може інтерпретуватися як зміряний сигнал. Це може служити вказівкою, що вимірювана величина перевищила вимірювальний діапазон, або свідчити про коротке замикання у колі передачі сигналу, тобто про несправність.

Дискретний сигнал - сигнал, що має кінцеве число значень. Зазвичай сигнали, що передаються через дискретні канали, мають два або три значення. В системах управління для введення-виведення сигналів використовуються бінарні сигнали з двома значеннями: (0) та (+) (див. рис. 4.6, а). При передачі даних на відстань часто застосовуються трійкові сигнали із значеннями: (+), (0), (-) (див. рис. 4.6, б). Тут "одиниця" представляється відсутністю потенціалу в каналі, тоді як "нуль" характеризується позитивним або негативним імпульсом. При цьому полярність імпульсів, що представляють "нулі", повинна чергуватися, тобто за позитивним (+) імпульсом повинен слідувати негативний (-) і навпаки. У формі трійкового сигналу здійснюється

не тільки кодування передаваних даних, але і забезпечується синхронізація роботи каналу, перевірка його цілісності.

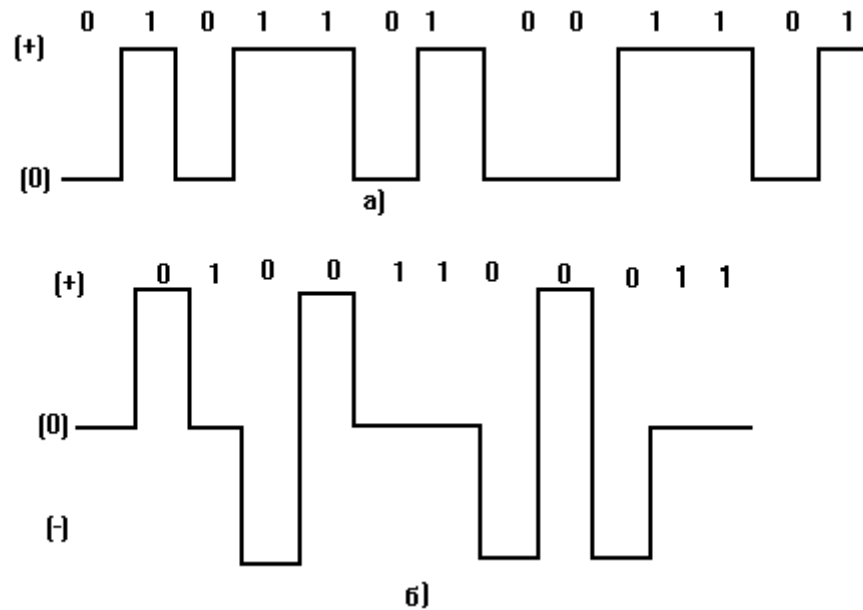


Рис. 4.6 – Форма дискретних сигналів: а – бінарного; б – трійкового

Різновидом дискретних сигналів є сигнали імпульсні. Імпульсний сигнал теж приймає 2 значення, але корисну інформацію про процес несе не поточний стан сигналу, а кількість імпульсів. Іншим різновидом є сигнали частотні. Як випливає з назви, корисну інформацію про процес несе частота імпульсів.

Дискретний сигнал складніше передавати на великі відстані, чим аналоговий сигнал, тому його заздалегідь модулюють на стороні передавача, і демодулюють на стороні приймача інформації.

В АСУ ТП використовують уніфіковані дискретні сигнали. Загальноприйнятою напругою кіл живлення датчиків, та і взагалі пристроїв АСУ ТП, є напруга 24 В постійного струму. Напруга 220 В змінного струму в колах АСУ ТП – це виключення. Зазвичай в системах кола 220 В «розв'язуються» від решти кіл гальванічно. Для цього дискретні сигнали реалізуються за допомогою реле, де на котушку подається 220 В, а через контакти проходить 24 В.

Найчастіше основним дискретним сигналом є сигнал типу «сухий контакт» (сухий він тому, що не підключений до жодних електричних кіл джерела сигналу). Це може бути один з контактів реле силових кіл, виділений

під передачу в АСУ ТП, або контакт дискретного датчика (реле рівня, тиску і т.д.). На «сухий контакт» з кіл АСУ ТП подається 24 В і при замиканні кола ця напруга з'являється на контактах плат дискретного введення контролера.

Іншим стандартом дискретного сигналу є струмовий сигнал NAMUR.

Завданням перетворювачів для дискретних датчиків є визначення як стану датчика (включений відключений) так і постійна діагностика стану лінії зв'язку (норма, обрив, коротке замикання). Діагностика стану лінії зв'язку є особливо важливою для відповідальних сигналів систем протиаварійного захисту (ПАЗ). Відсутність інформації про відмови ліній зв'язку може приводити до порушення виконання окремих функцій систем ПАЗ або помилкового спрацьовування захисту. Причина цьому – неможливість в звичайних схемах прийому сигналів розрізнити стан датчика «відключено» від обриву лінії і стан «включений» від короткого замикання в лінії. Наявність діагностики стану ліній зв'язку дозволяє системі ухвалювати різні рішення, включаючи запобіжні засоби забезпечення безпеки.

Є різні способи реалізації контролю ліній зв'язку і стану датчиків дискретних сигналів. Одним з найповніших і вдаліших методів діагностики ліній зв'язку є метод обтікання кола зв'язку з датчиком постійним струмом. У даному методі для всіх станів датчика і опору лінії зв'язку повинні бути визначені діапазони струмів, що протікають в лінії з датчиком.

Струмовий сигнал NAMUR приймає наступні значення: 0,2–2 мА для логічного «0» або 2,1–6,5 мА для логічної «1». Коли струм менше 0,2 мА, це указує на обрив зв'язку, коли вище 6,5 мА – на коротке замикання. У колах з «сухим контактом» диференціювати обрив чи коротке замикання неможливо.

Цифрові сигнали – це дискретні сигнали, що використовуються для представлення двійкових кодів, що являють собою послідовності нулів і одиниць.

Цифровим сигналам відповідають дискретні електричні імпульси, які передаються по деякому фізичному середовищу. По лініях зв'язку імпульси можуть передаватись послідовно, біт за бітом, або паралельно, коли біти, що

належать до різних розрядів двійкового числа, передаються одночасно по різних лініях.

Передача цифрових сигналів між досить видаленими пристроями вимагає представлення її у вигляді послідовного потоку бітів, характеристики якого залежать від особливостей ліній зв'язку. Операція представлення цифрових даних конкретними електричними сигналами для передачі через лінію зв'язку називається лінійним кодуванням. Лінійні коди, що найбільш часто вживаються, показані на рис. 4.7.

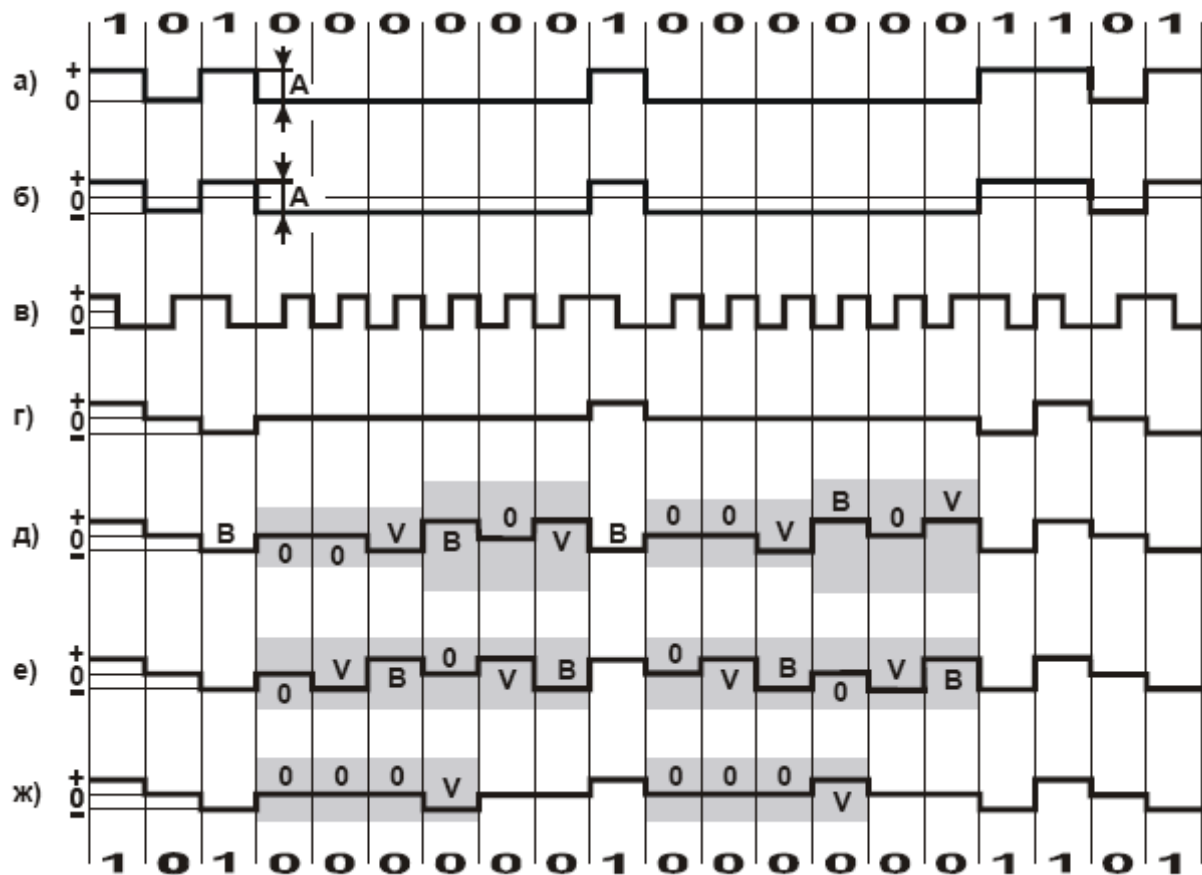


Рис. 4.7 – Найбільш поширені лінійні коди: а – уніполярний код NRZ; б – біполярний код NRZ; в – код Манчестер-II; г – код AMI; д – код B3ZS; е – код B6ZS; ж – код HDB3

Прикладом коду з надмірністю є код Манчестер-II. Форма біполярного сигналу при передачі коду Манчестер-II показана на рис. 3.7, в. Одиниця кодується негативним перепадом сигналу в середині бітового інтервалу, нуль – позитивним перепадом. На границях бітових інтервалів сигнал, якщо це

необхідно, змінює значення, готуючись до відображення чергового біта в середині наступного бітового інтервалу.

Оскільки число позитивних і негативних імпульсів на будь-якому чималому відрізку часу рівне (відрізняється не більше ніж на один імпульс, що не має значення), постійна складова дорівнює нулю.

Підстроювання годинника приймача або ретранслятора відбувається при передачі кожного біта, тобто вже немає небезпеки втрати синхронізації при передачі довгих ланцюжків нулів або одиниць.

Сигнал містить лише дві логічні складові: F і $F/2$, де F - швидкість передачі інформаційних бітів. Наявність лише двох (а не трьох або більше) електричних рівнів сигналу дозволяє надійно їх розпізнавати (хороша завадозахищеність).

Однією з переваг цифрових сигналів є легкість їх регенерації. Якщо сигнал проходить через передавальне середовище, він може піддатися дії шуму або завад, які спотворять форму сигналу. Щоб очистити сигнал і відновити його, цифрова схема визначає, чи присутній цифровий імпульс в певний період часу, і створює новий імпульс, що в точності повторює переданий спочатку. Як результат цього – можливість передачі цифрових сигналів на величезні відстані за рахунок їх періодичного відновлення при повному збереженні переданої інформації. Використання в цифрових системах алгоритмів перевірки і відновлення цифрової інформації дозволяє істотно збільшити надійність передачі інформації.

На відміну від аналогових, в яких кількість можливих значень амплітуди майже нескінченна, цифрові сигнали, що мають всього два дозволені значення, захищені від дії шумів, наведень і завад набагато краще. Невеликі відхилення від дозволених значень ніяк не спотворюють цифровий сигнал, оскільки завжди існують зони допустимих відхилень. Саме тому цифрові сигнали допускають набагато складнішу і багатоступінчасту обробку, набагато триваліше зберігання без втрат і набагато якіснішу передачу, ніж аналогові. До того ж поведінка цифрових пристроїв завжди можна абсолютно точно

розрахувати і передбачити. Цифрові пристрої значно менше схильні до старіння, оскільки невелика зміна їх параметрів ніяк не відбивається на їх функціонуванні.

Проте у цифрових сигналів є і крупний недолік. Річ у тому, що на кожному з своїх дозволених рівнів цифровий сигнал повинен залишатися хоч би протягом якогось мінімального часового інтервалу, інакше його неможливо буде розпізнати. А аналоговий сигнал може приймати будь-яке своє значення нескінченно малий час. Можна сказати і інакше: аналоговий сигнал визначений в безперервному часі (тобто у будь-який момент часу), а цифровий – в дискретному (тобто тільки у виділені моменти часу). Тому максимально досяжна швидкодія аналогових пристроїв завжди принципово більше, ніж цифрових. Швидкість обробки і передачі інформації аналоговим пристроєм завжди може бути вище, ніж швидкість обробки і передачі цифровим пристроєм.

Крім того, цифровий сигнал передає інформацію тільки двома-трьома рівнями і зміною одного свого рівня на іншій, а аналоговий - ще і кожним поточним значенням свого рівня, тобто він більш ємкий з погляду передачі інформації. Тому для передачі того об'єму інформації, який міститься в одному аналоговому сигналі, іноді доводиться використовувати декілька цифрових ліній зв'язку (частіше всього від 4 до 16).

Тим не менше, тенденція переходу від аналогових сигналів до цифрових спостерігається не тільки в АСУ. У сучасній телефонії передача голосу здійснюється в цифровому вигляді. Запис, зберігання і відтворення звукової та відеоінформації також здійснюються у цифровій формі.

4.3.2 Підключення датчиків 4–20 мА до контролера

До контролера, що має вбудований блок живлення для аналогових сигналів, датчик підключається безпосередньо. Схема підключення показана на рис. 4.8.

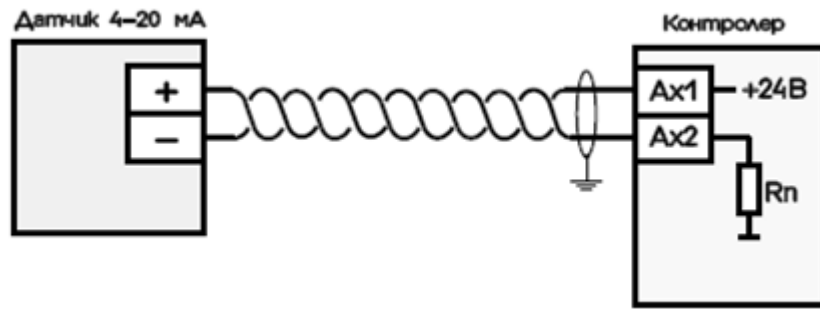


Рис. 4.8

Якщо контролер не має вбудованого блоку живлення датчиків або його потужність недостатня для підключення датчика, використовують зовнішній блок живлення. Схема підключення показана на рис. 4.9. Опір навантаження R_n залежить від типу контролера і вказаний в його технічній документації.

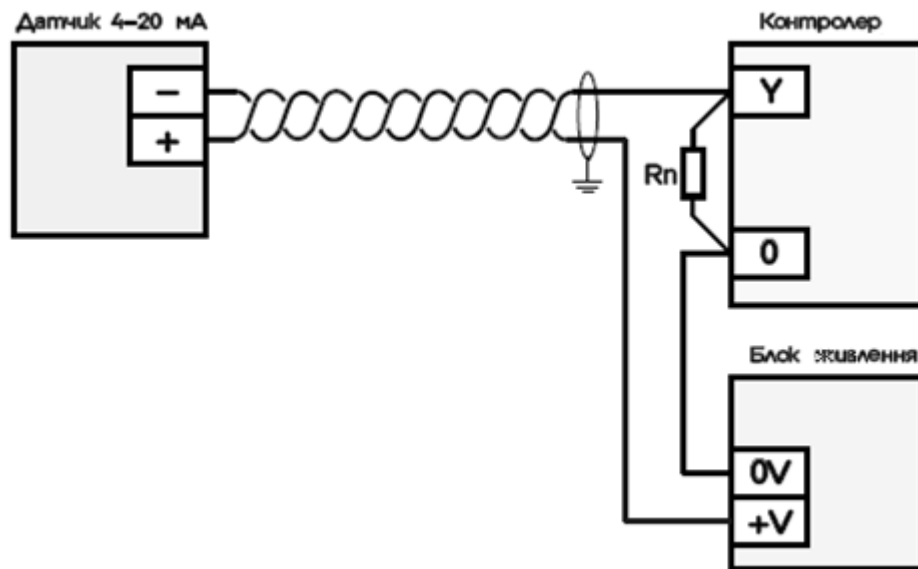


Рис. 4.9

Як правило, для живлення датчиків використовують блоки живлення 24 В. Необхідно перевіряти відповідність напруги блоку живлення параметрам лінії і номіналу опору навантаження. Мінімальна необхідна напруга блоку живлення розраховується за формулою:

$$U_{\text{БПmin}} = U_{\text{Дmin}} + (R_{\text{H}} + R_{\text{L}}) \cdot I_{\text{max}},$$

де $U_{\text{БПmin}}$ - мінімальна напруга блоку живлення, В; R_{H} - опір навантаження, КОм; R_{L} - опір лінії зв'язку, ком; $U_{\text{Дmin}}$ - мінімальна напруга живлення датчика;

I_{\max} – максимальний струм датчика. Дані для розрахунку можна брати з табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Максимальний сумарний опір і потужність датчика в залежності від напруги блоку живлення

Напруга блоку живлення	Максимальний сумарний опір (R_H+R_L)	Потужність споживання датчика
12 В	125 Ом	0,3 Вт
18 В	375 Ом	0,45 Вт
24 В	620 Ом	0,6 Вт
36 В	1100 Ом	0,9 Вт

Наприклад, при використанні контролера з рекомендованим значенням опору навантаження 200 Ом і опором лінії зв'язку 9,3 Ом (100 м кабелю МКЕШ) мінімальна напруга блоку живлення рівна 16,032 В. При отриманих даних, рекомендується вибрати блок живлення з напругою не нижче 18 В. Потужність блоку живлення 18 В для одного датчика, відповідно до таблиці, повинна бути не нижче 0,45 Вт.

Як показує практика, довжина лінії зв'язку не повинна перевищувати 300 метрів.

4.3.3 Гальванічний розв'язок сигналів

4.3.3.1 Вплив контурів заземлення

При проведенні вимірювання та збирання даних у системах керування технологічними процесами виникають проблеми, зумовлені впливами навколишнього електромагнітного середовища. Одним з джерел таких проблем є контур заземлення.

У виробничих умовах системи заземлення передають сигнал і зворотні струми від джерел живлення, формують опорні потенціали для вимірювальних аналогових і цифрових інтерфейсних кіл. Вони також служать для стікання електричних зарядів, що накопичилися, захищають персонал і устаткування від збоїв і неполадок на лініях живлення і від всіляких електричних розрядів. Але

будь-який струм, що протікає в системі заземлення, створює в ній певну різницю потенціалів. Різні перехідні процеси, грозові розряди і удари блискавок можуть викликати різницю потенціалів до сотень і тисяч вольт.

Вирівнюючий струм – струм, що виникає внаслідок різниці потенціалів на двох об'єктах, заземлених на різних шинах або навіть на одній шині, якщо вона має чималу довжину. На практиці вирівнюючий струм часто спостерігається при з'єднанні комп'ютерів в мережу, а також при приєднанні комп'ютерів до контрольно-вимірювальних приладів і до автоматично керованих пристроїв. Найчастіше він йде по екрануючій оплітці сполучного кабелю. Вирівнюючий струм є змінним з високочастотними складовими.

Шкода від вирівнюючого струму:

- спотворюється передаваний сигнал;
- може вийти з ладу який-небудь чутливий вузол, наприклад, мережевий адаптер;
- при сильних струмах спостерігається нагрів окремих ділянок, що може привести до пожежі.

Якщо існують декілька шляхів для вирівнюючого струму або кілька під'єднувань в різних точках до заземлення, в системах заземлення виникають контури. Струми живлення, що протікають по контурах заземлення, створюють напругу завад у вимірювальних колах. Найдієвіший спосіб позбавитися від контура заземлення – це розірвати гальванічний зв'язок між датчиком і землею або вхідним вимірювальним ланцюгом і землею.

У електротехніці існують такі поняття, як гальванічний зв'язок і гальванічна розв'язка. Гальванічний зв'язок – це коли є безпосереднє з'єднання двох і більше ділянок електричного кола, а гальванічна розв'язка - це, відповідно, така організація взаємодії ділянок електричних кіл, при якій безпосередній контакт відсутній. Таким чином, гальванічна розв'язка - передача енергії між ділянками електричного ланцюга без забезпечення між ними електричного контакту.

Розв'язки використовуються для передачі сигналів, для безконтактного управління і для захисту кіл автоматики від дуже великих струмів. Без використання розв'язки граничний струм, що протікає між приладами, обмежений тільки електричними опорами, які зазвичай відносно малі. Прилад, що забезпечує розв'язку, штучно обмежує передачу енергії з однієї частини ланцюга в іншу. Як такий прилад може використовуватися трансформатор (не автотрансформатор) або оптрон. У обох випадках кола виявляються електрично розділеними, але між ними можлива передача енергії.

4.3.3.2 Підвищення заводозахищеності

Гальванічна розв'язка використовується не тільки для захисту персоналу і приладів, а й для підвищення заводозахищеності.

При введенні аналогового сигналу напруга завади загального вигляду, яка одночасно синфазно впливає на кожний з входів приладу щодо рівня землі живлення, підсумовується з інформаційним сигналом. У більшості пристроїв збору даних забезпечуються якісні вимірювання за умови, коли сума напруги завади і сигналу є рівною або меншою максимальної вхідної напруги. У цих умовах вимірювання можуть бути виконані в тому випадку, якщо вхід пристрою збору даних конфігурований як диференціальний (рис. 4.10).

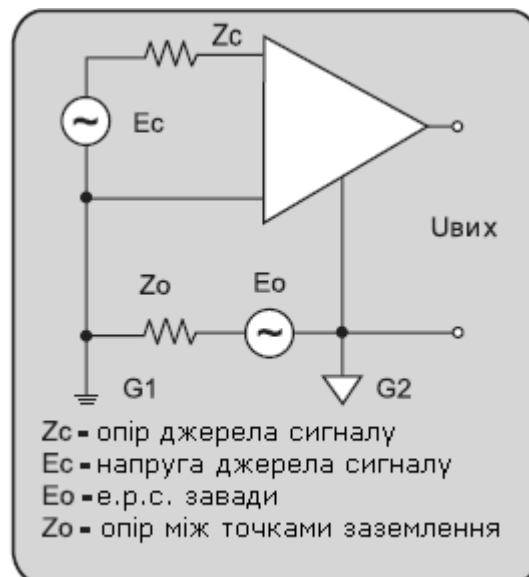


Рис. 4.10

При цьому можливі наступні ситуації.

- Сума напруги завади загального вигляду і сигналу менше значення максимальної вхідної напруги. Це хороші умови для вимірювань з урахуванням коефіцієнта ослаблення синфазного вхідного сигналу.
- Сума напруги завади і сигналу більше значення максимальної вхідної напруги, але не перевищує значення максимально допустимої вхідної напруги. Результати вимірювання недостовірні, але прилад залишається працездатним.
- Сума напруги завади і сигналу перевищує значення максимально допустимої вхідної напруги. У цій ситуації можливий вихід з ладу як пристрою збору даних, так і комп'ютера.

У більшості комп'ютерних систем збору даних максимально допустима вхідна напруга складає ± 30 В. Треба вибирати пристрій, в якому виконана гальванічна розв'язка, тобто є ізоляція вхідних каскадів пристрою. Ізоляція забезпечує розв'язку кіл між загальною клемою на вході приладу і "землею" живлення, пов'язаною з корпусами приладу або комп'ютера. Оскільки вхід пристрою виявляється ізольованим, то його потенціал може "плавати" на рівні напруги, визначуваному величиною завади. При цьому зберігається точність вимірювання і дороге устаткування не буде пошкоджено.

На рис. 4.11 приведений приклад, коли гальванічна розв'язка дозволяє виконувати вимірювання у присутності високої напруги завади загального вигляду.

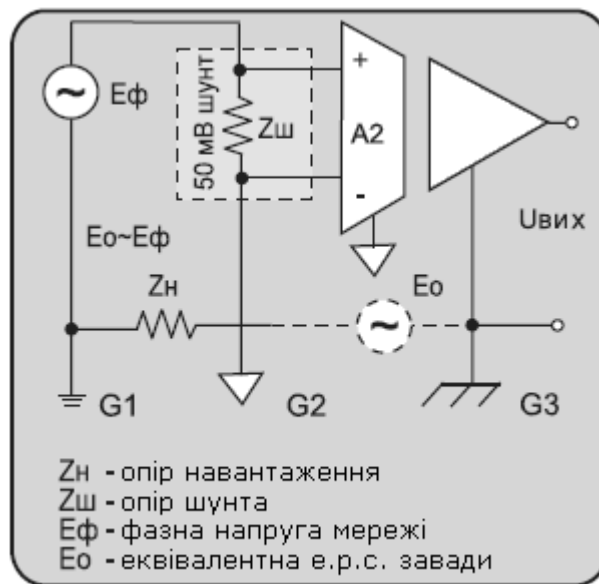


Рис. 4.11

4.3.3.3 Гальванічна розв'язка сигналів аналогових і дискретних датчиків

Гальванічна ізоляція в колах аналогових і дискретних сигналів використовується в основному для:

- вимірювання малої напруги і струмів під значною напругою щодо землі;
- виключення впливу паразитних зв'язків через загальну з іншими пристроями земляну шину і струмів витоків від інших пристроїв в чутливі вимірювальні ланцюги;
- захисту людини і приладів від небезпечних дій зовнішніх джерел напруги і струмів.

Для передачі сигналів використовуються три основні види зв'язку, що забезпечують гальванічну ізоляцію – трансформаторний, ємнісний і оптичний. Всі три використовуються для передачі як дискретних, так і аналогових сигналів.

Гальванічну розв'язку сигналів дискретних датчиків забезпечує також використання електромагнітних геканових реле. Вхідний сигнал подається на котушку реле, а вихідний знімається з контактів.

Найбільш поширеним засобом гальванічної ізоляції кіл аналогових сигналів є оптопари, що складаються з світлодіода і фотодіода або фототранзистора (рис. 4.12).

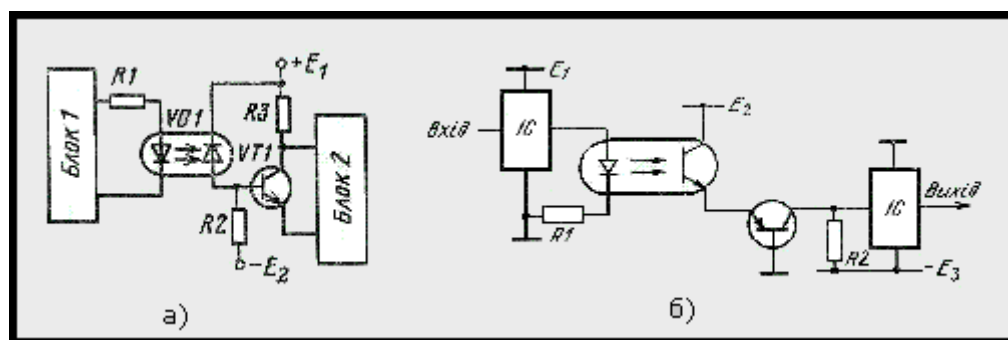


Рис. 4.12 – Схеми гальванічної розв'язки:

а – на діодному оптроні; б – на транзисторному оптроні

У даних пристроях світлодіод повинен перетворювати струм, що поступає на нього, в інтенсивність світлового потоку, змінну по безперервному, краще лінійному закону. Для зворотного перетворення з тією ж вимогою безперервності і лінійності закону перетворення використовується фотодіод (або фототранзистор). Характеристики перетворення повинні бути стабільні в часі і по температурі. Проте недостатня лінійність, залежність параметрів від температури і нестабільність в часі передавальної характеристики обмежують їх застосування.

Оскільки перераховані вище недоліки в основному визначаються характеристиками світлодіода, для поліпшення характеристик оптопари застосовується параметрична компенсація. Це здійснюється за допомогою оптичного зворотного зв'язку частини, що передає, через додатковий фотодіод з характеристиками, близькими характеристикам основного. Для побудови пристроїв, що працюють на описаному принципі краще всього підходить диференціальна оптопара, включає один світлодіод і два ідентичні фотодіоди. Характеристики передачі каналів оптопари в діапазоні вхідних струмів 4–20 мА відрізняються не більш, ніж на 0,2%. Схема гальванічної розв'язки з оптичним зворотним зв'язком показана на рис. 4.13.

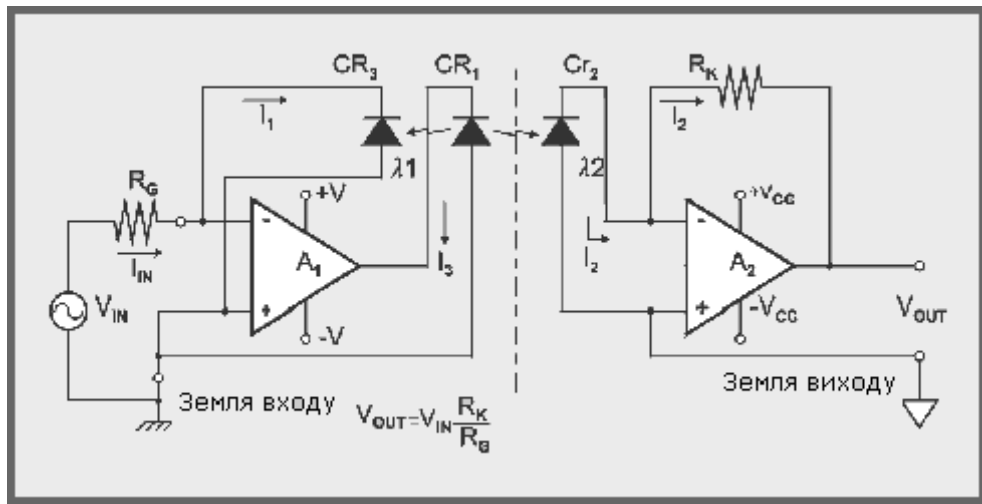


Рис. 4.13

4.3.3.4 Гальванічна розв'язка кіл імпульсних сигналів

Давно і добре вивченим варіантом гальванічної ізоляції в каналах передачі імпульсів є зв'язок через конденсатор. Безпосередньо використовувати таку розв'язку для передачі імпульсів можливо тільки у разі, коли швидкість зміни напруги між землями частин, що передає і приймальної, у декілька разів нижче за фронти передаваних імпульсів, що для умов КІСУ зустрічається рідко. Так, якщо земля частини, що передає, знаходиться під потенціалом вихідної напруги випрямляча, що має загальну землю з приймальною частиною, пульсації випрямленої напруги можуть зробити такий зв'язок непрацездатної. Тому реалізація зв'язку через конденсатор вимагає особливих технічних прийомів. Наприклад, для ізоляції використовуються спеціальні високовольтні керамічні конденсатори ємністю всього 0,4 пФ, що створює захист від відносно напруги, що поволі змінюється, між передавальною і приймальною частинами. Цей захист доповнюється диференціальним способом передачі сигналу через два однакові конденсатори.

Застосування трансформаторів для передачі імпульсів з гальванічною ізоляцією також давно використовується і добре відомо радіоінженерам. Оскільки трансформатори не можуть передавати постійну складову, передавані логічні сигнали повинні бути трійкові (див. п. 4.3.1) і симетричні за площею позитивної і негативної напівхвиль. Швидкість передачі в значній мірі залежить від властивостей трансформатора. Так, при передачі імпульсами

шириною 5 мкс (період 10 мкс) була отримана максимальна швидкість передачі 200 Кбіт в секунду.

У вживаних для побудови ізольованих інтерфейсів оптичних парох головні характеристики – параметри ізоляції (електрична міцність і імпеданс) і швидкість передачі, визначуванa досяжними швидкостями наростання і спаду струму на виході пристрою. Конструктивно оптопари виконуються з оптичним зв'язком між джерелом і приймачем або через відкритий оптичний канал, тобто навколишнє повітряне середовище, зазвичай без спеціальних заходів захисту від сторонніх джерел світла, або через закритий оптичний канал – гнучкий оптичний кабель або з джерелом і приймачем світла в одному корпусі. Пристрої з відкритим оптичним каналом широко поширені в різних системах дистанційного керування. Це інфрачервоні порти управління периферійними пристроями комп'ютерів (зокрема, мишами, принтерами) і інші пристрої, що працюють в закритих приміщеннях. Вибір інфрачервоного діапазону визначається можливістю отримання необхідної завододостійкості простими заходами – частотною фільтрацією і підстроюванням порогу спрацьовування дискретних пристроїв по рівню фонового освітлення. Очевидно, що в пристроях з відкритим каналом легко досягти дуже високих параметрів ізоляції.

Іншою можливістю отримання високих параметрів ізоляції є зв'язок через оптичний кабель. У тих випадках, коли потрібні дуже висока напруга ізоляції, декілька десятків або сотень кіловольт, використовують оптично ізольовані інтерфейси із з'єднанням через оптичний кабель. Втрати в оптичному кабелі можуть бути вельми малими, порядку 1 дБ на кілометр, що дозволяє використовувати кабелі дуже великої довжини, забезпечуючи, зокрема, і дуже високу електричну ізоляцію. Швидкість обміну до 2,5 Мбіт/с.

4.4 Традиційна диспетчеризація і системи SCADA

У традиційних системах диспетчеризації перед оператором установлювали великий щит із мнемосхемою технологічного процесу (рис. 4.14, а).

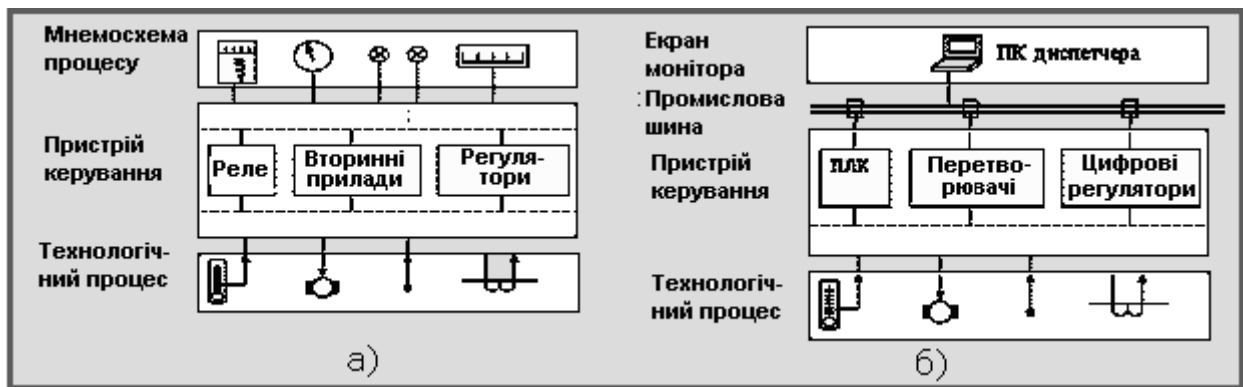


Рис. 4.14 – Системи диспетчеризації: а – традиційна; б – SCADA

Стан кожної одиниці устаткування відображався світловими індикаторами, що вмикались у відповідності зі значеннями сигналів від датчиків на об'єкті. Аналізуючи по індикаторах та вторинних приладах роботу устаткування, диспетчер подавав команди на виконавчі пристрої об'єкта.

Створення диспетчерського пульта і пристроїв зв'язку з датчиками для кожного процесу, необхідність спеціального підбору і навчання диспетчерів вимагали великих витрат.

З'явилася ідея узагальнити інформацію про стан об'єкта і показати її на мнемосхемі технологічного процесу, намальованої на екрані персонального комп'ютера диспетчера (рис. 4.14, б). Сигнали датчиків відображаються у вигляді зміни зображень на такій комп'ютерній мнемосхемі процесу. В комп'ютері ці сигнали узагальнюють, архівують і оцінюють з позиції ефективності керування виробництвом.

Так з'явилися і почали швидко розвиватися системи диспетчерського керування і збору даних SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) . Крім простого відображення технологічного процесу в SCADA-системах стало можливим деталізувати дані про роботу будь-якої ділянки процесу, оцінювати собівартість продукції, попереджати розвиток аварійних ситуацій, перепрограмувати віддалені пристрої керування, контролювати дії диспетчера, порівнювати поточні і минулі показники процесу.

Система SCADA містить три компоненти (рис. 4.15):

- віддалені термінали RTU (Remote Terminal Units) – датчики стану устаткування, виконавчі пристрої і ПЛК, що забезпечують керування устаткуванням у реальному часі;
- головний термінал MTU (Master Terminal Unit) чи диспетчерський пункт керування, що здійснює обробку даних про процес для диспетчера і перетворення команд диспетчера в сигнали керування об'єктом;
- комунікаційна система CS (Communication System) – канал зв'язку головного і віддалених терміналів.



Рис. 4.15 – Склад системи SCADA

Функції системи SCADA полягають у наступному:

- а) збирання поточної інформації про роботу устаткування з датчиків і контролерів;
- б) первинне перетворення зібраної інформації;
- в) збереження поточної інформації;
- г) представлення поточної та збереденої інформації у вигляді таблиць, графіків і т.п.
- д) друк звітів і протоколів про роботу устаткування;
- е) передача і введення в пристрої керування команд оператора;
- ж) використання поточної інформації для вирішення виробничих задач;
- з) організація зв'язку з пристроями, підключеними до інформаційної мережі.

Особливо ефективно застосування систем SCADA для виробництв, у яких:

- технологічні процеси повинні контролюватися людиною;

- неправильний вплив на об'єкт може привести до катастрофічних наслідків;
- навіть у нормальних умовах іноді потрібно коректувати керування устаткуванням;
- оператор несе відповідальність за хід виробництва, але його втручання в процес відбувається рідко, за винятком непередбачених ситуацій;
- у непередбачених ситуаціях час прийняття рішень оператором обмежений секундами і хвилинами.

Перевагою SCADA-систем є те, що вони забезпечують:

- а) наочну інформацію про хід виробництва;
- б) відображення стану технологічного устаткування;
- в) деталізацію обраних диспетчером частин процесу;
- г) розрахунок показників процесу в динаміці і виведення узагальненої інформації у вигляді графіків, таблиць і малюнків;
- д) розпізнавання аварійних і передаварійних ситуацій з формуванням відповідних підказок для дій диспетчера;
- е) створення архіву поведінки процесу в часі, аварій та інших подій.

4.5 Контрольні тестові питання до розділу 4

4.5.1 Стан системи, коли вимогам не відповідає хоча б один основний параметр, а другорядні параметри можуть бути або в межах норм, або ні, називається:

- повністю працездатним станом;
- працездатним станом;
- частково працездатним станом;
- непрацездатним станом;
- аварійним станом.

4.5.2 Перевищення струмовим сигналом 4–20 мА верхньої межі значень свідчить про:

- обрив лінії зв'язку;

- коротке замикання у лінії зв'язку;
- аварійний стан технологічного обладнання;
- наявність гальванічної ізоляції кіл аналогових сигналів;
- довжина лінії зв'язку перевищує 300 метрів.

4.5.3 Струм 3 мА у лінії уніфікованого сигналу 4–20 мА свідчить про:

- обрив лінії зв'язку;
- коротке замикання у лінії зв'язку;
- відмову датчика;
- аварійний стан технологічного обладнання;
- порушення гальванічної ізоляції кіл аналогових сигналів;
- довжина лінії зв'язку перевищує 300 метрів.

4.5.4 Вирівнюючий струм виникає внаслідок

- термоЕРС в місцях з'єднання проводів;
- наведень від освітлювальної мережі;
- перевищення лінією зв'язку довжини 300 метрів;
- різниці потенціалів на об'єктах, заземлених на різних шинах;
- використання нестандартних струмових сигналів.

4.5.5 Недоліком цифрових сигналів (у порівнянні з аналоговими) є:

- нижча інформативна ємність;
- нижча завадозахищеність;
- менша довжина лінії зв'язку;
- складність схем гальванічної розв'язки;
- знижена надійність технічних засобів.

4.5.6 Для поліпшення характеристик гальванічної розв'язки з використанням оптопари застосовується:

- відкритий оптичний канал;
- вибір інфрачервоного діапазону;
- використання високоякісних об'єктивів;
- оптичний зворотний зв'язок через додатковий фотодіод;

- затемнення приміщення.

4.5.7 SCADA-системи призначені для реалізації наступного рівня КІСУ:

- рівня автоматизації ТП;
- рівня технологічних серверів;
- рівня операторського управління;
- рівень управління цехом;
- рівень управління підприємством.

4.5.8 Допустиме значення сигналу NAMUR лежить у межах:

- 0–10 В;
- 0–5 мА;
- 0,2–2 мА;
- 0,2–6,5 мА;
- 2,1–5 мА;
- 2,1–6,5 мА;
- 0–20 мА;
- 4–20 мА.

4.5.9 Допустимі значення трійкового сигналу:

- 0, 1, 2;
- 1, 2, 3;
- 0–10 В;
- 0 В, 24 В, 36 В;
- 0 В, 24 В, 220 В;
- 0 В, –24 В, –36 В;
- 0 В, –24 В, +24 В;

5 ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ (КІСУ)

5.1 Функції та режими роботи КІСУ

5.1.1 Основні терміни та визначення.

Автоматизована система (АС) – це система, що складається з персоналу та комплексу засобів автоматизації його діяльності і така, що реалізує інформаційну технологію виконання встановлених функцій.

Функція автоматизованої системи – сукупність дій АС, яка направлена на досягнення певної цілі.

Кожна функція АС реалізується сукупністю комплексів задач, окремих задач та операцій.

Задача автоматизованої системи – функція чи частина функції АС, що являє собою формалізовану сукупність автоматизованих дій, виконання яких приводить до результату заданого виду.

Функції АС об'єднуються у *підсистеми* за функціональними та іншими ознаками, наприклад, інформаційно-вимірювальна підсистема, керуюча підсистема, підсистема діагностування.

АС виконує функції керування, інформаційні та допоміжні функції.

Функція керування – це функція АС, яка включає отримання інформації про стан об'єкта керування, оцінку інформації, вибір керуючих дій та їх реалізацію.

Інформаційна функція – це функція АС, яка включає отримання інформації, її обробку і передачу персоналу для інформування про стан об'єкта керування або зовнішнього середовища.

Допоміжна функція – це функція АС, яка включає збирання та обробку даних про стан самої АС і або представлення цієї інформації персоналу, або здійснення керуючих дій на технічні та програмні засоби АС.

Особливий клас АС складають автоматизовані системи керування технологічними процесами – АСК ТП.

Функції АСК ТП можна розділити на три великі групи (рис. 5.1):

- збір і оцінка даних технічного процесу - моніторинг;
- управління деякими параметрами технічного процесу;
- зв'язок вхідних і вихідних даних - зворотний зв'язок, автоматичне управління.

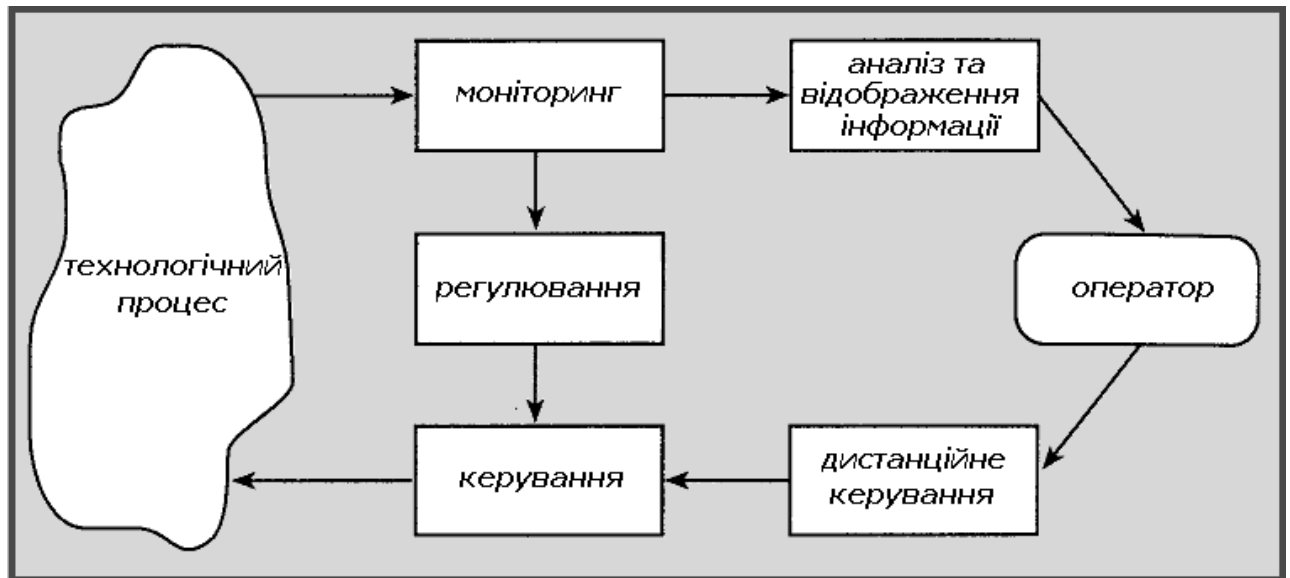


Рис. 5.1

Моніторинг процесу або збір інформації про процес – основна функція, властива всім системам управління. Моніторинг – це збір значень змінних процесу, їх зберігання і відображення у відповідній для людини-оператора формі. Моніторинг є фундаментальною властивістю всіх систем обробки даних.

Моніторинг може бути обмежений лише виведенням первинних або оброблених даних на екран монітора або на папір, а може включати складніші функції аналізу і відображення. Наприклад, змінні, які не можна безпосередньо зміряти, повинні розраховуватися або оцінюватися на основі наявних вимірювань. Іншою класичною межею моніторингу є перевірка, що зміряні або розраховані значення знаходяться в допустимих межах.

Коли функції системи управління процесом обмежені збором і відображенням даних, всі рішення про керуючі дії ухвалюються оператором. Цей вид управління, званий супервізорним або дистанційним керуванням (*supervisor control*), був дуже поширений в перших системах комп'ютерного управління процесами. Він до цих пір застосовується, особливо для дуже складних і щодо повільних процесів, де важливе втручання людини.

Під час введення нових даних їх значення оцінюються щодо допустимих меж. У розвиненішій системі контролю декілька результатів можуть комбінуватися на основі більш менш складних правил для перевірки, чи знаходиться процес у нормальному стані або вийшов за які-небудь допустимі межі. В ще сучасніших рішеннях, особливо побудованих на експертних системах або базах знань, комбінована оперативна інформація від датчиків об'єднується з оцінками, зробленими операторами.

Управління – це функція, зворотна моніторингу. У прямому розумінні управління означає, що команди ЕОМ поступають до виконавчих механізмів для дії на фізичний процес. У багатьох випадках на параметри процесу можна впливати тільки опосередковано через інші параметри управління.

5.1.2 Режими роботи автоматизованих систем

АСК ТП може функціонувати у трьох режимах.

Автоматизований режим виконання функції АСК ТП – це режим виконання функції АСК, за якого вона виконується автоматично, а людина спостерігає за перебігом технологічного процесу, будучи готовою втрутитись, якщо виникне така необхідність.

Діалоговий режим виконання функції АСК ТП – це режим, за якого людина управляє розв'язанням задач функції, змінюючи її умови і алгоритм функціонування АСК на основі оцінки інформації, яка надається технічними засобами АСК.

Неавтоматизований режим виконання функції АСК ТП – це режим виконання функції АСК, за якого вона виконується тільки людиною.

Крім режимів виконання функцій розрізняють також різні режими керування.

5.1.1 Пуск ТП являє собою сукупність неавтоматизованих, або з певним рівнем автоматизації операцій, що виконуються персоналом як на місці, так і дистанційно з АРМ оператора. Контроль технологічних параметрів проводиться персоналом по приладах, встановлених «за місцем», а також з екрану АРМ. В процесі пуску канали керування можуть бути переведені як в режим «місцевого» керування, так і в режим «автоматизованого» керування. Дії персоналу в процесі пуску визначаються технологічним регламентом.

5.1.2 Функціонування у перехідному режимі є пов'язаним зі зміною яких-небудь параметрів функціонування ТП (наприклад, зміна продуктивності або параметрів сировини). В перехідному режимі оператор або керуючий обчислювальний пристрій змінюють у відповідності з технологічним регламентом завдання контурам регулювання.

5.1.3 Функціонування у сталому режимі, у якому система здійснює автоматичне підтримання контрольованих параметрів в заданих межах. Головні задачі системи складаються збиранні та первинній обробці інформації, виробленні керуючих впливів та діагностуванні стану комплексу технічних засобів системи.

У сталому режимі персоналом можуть проводитись окремі операції, що не впливають на режим функціонування ТП (наприклад, переключення резервних комплектів устаткування).

5.1.4 Зупинення ТП у відповідності з технологічним регламентом виконується як в режимі автоматизованого, так і в режимі ручного керування. В процесі зупинення оператор здійснює припинення подачі сировини і відбору продуктів ТП.

5.1.5 Аварійне зупинення в автоматичному режимі проводиться при виникненні однієї або сукупності аварійних ситуацій.

При виникненні аварійної ситуації система видає звуковий та відеосигнал, на екран монітора виводиться пропозиція оператору задіяти

процедуру автоматичного зупинення ТП, яка при відсутності реакції з боку оператора буде виконана автоматично через визначений час.

Під час очікування системою реакції оператора на аварійну ситуацію, а також в процесі автоматичного зупинення ТП, оператор може відмовитись від автоматичного зупинення ТП і виконати необхідні дії в діалоговому або неавтоматизованому режимах.

5.1.6 Аварійне ручне керування призначене для приведення ТП в безпечний стан у випадках відмови АСК ТП.

При переході в режим аварійного ручного керування контролери повністю від'єднуються від каналів керування, задіюються пульти місцевого і дистанційного керування, з яких і проводиться керування ТП в наступних випадках:

- а) вимкнення живлення керуючого обчислювального пристрою;
- б) відмова контролера або АРМ оператора;
- в) натиснення оператором спеціальної кнопки на пульти дистанційного керування.

При функціонуванні системи в режимі аварійного ручного керування не функціонують технологічні захисти і блокування, безпечність процесу визначається тільки діями оператора.

Існують два основні підходи до реалізації зворотного зв'язку в обчислювальних системах. При традиційному прямому цифровому управлінні (ПЦУ, *Direct Digital Control* - DDC) центральна ЕОМ розраховує керуючі сигнали для виконавчих пристроїв. Всі дані спостереження передаються в повному об'ємі від датчиків до центру управління, а сигнали, що управляють, – назад до виконавчих пристроїв.

У системах розподіленого прямого цифрового управління (*Distributed Direct Digital Control* - DDDC) обчислювальна система має розподілену архітектуру, а цифрові регулятори реалізовані на основі локальних процесорів, розташованих поблизу технічного процесу. ЕОМ верхніх рівнів управління розраховують опорні значення, а локальні процесори є відповідальними

головним чином за безпосереднє управління технічним процесом, тобто вироблення керуючих сигналів для виконавчих механізмів на основі даних локального моніторингу. Ці локальні ЕОМ включають цифрові контури управління.

Можливий і комбінований варіант. Система управління може бути конфігурована таким чином, що у разі відмови якого-небудь контура в DDC управління може бути підхоплене контуром польового устаткування з підтримкою останнього заданого значення. Повернення до основної конфігурації відбувається після відновлення взаємодії з DDC.

5.2 Функція збирання та первинної обробки інформації

5.2.1 Загальні відомості

Функція збирання та первинної обробки інформації відноситься до інформаційних функцій. У комп'ютерно-інтегрованих системах вона реалізується в основному на нижньому рівні управління за допомогою програмованих контролерів або комп'ютерів, оснащених спеціальними модулями введення-виведення технологічних сигналів. Частково може бути реалізована і на верхніх рівнях управління, зокрема, за допомогою комп'ютерного обладнання цехових та заводських лабораторій.

Функціональні компоненти вхідного і вихідного інтерфейсів контролера або комп'ютера показані на рис. 5.2.

Частота вибірки аналогових сигналів є фундаментальним параметром обробки вимірювань в цифровій системі управління. В ідеалі ця частота повинна бути принаймні удвічі більше найвищої частотної складової початкового сигналу; на практиці вона повинна бути ще вище для правильного відновлення сигналу за кінцевий час. До того ж якщо частота вибірки мала і на початковий сигнал накладений високочастотний шум, який зазвичай наводиться в кабелі при передачі сигналу, то в дискретному сигналі з'являються псевдочастотні спотворення – помилкові частоти. Після

дискретизації вже неможливо відокремити помилкову інформацію від початкової, "правильної".

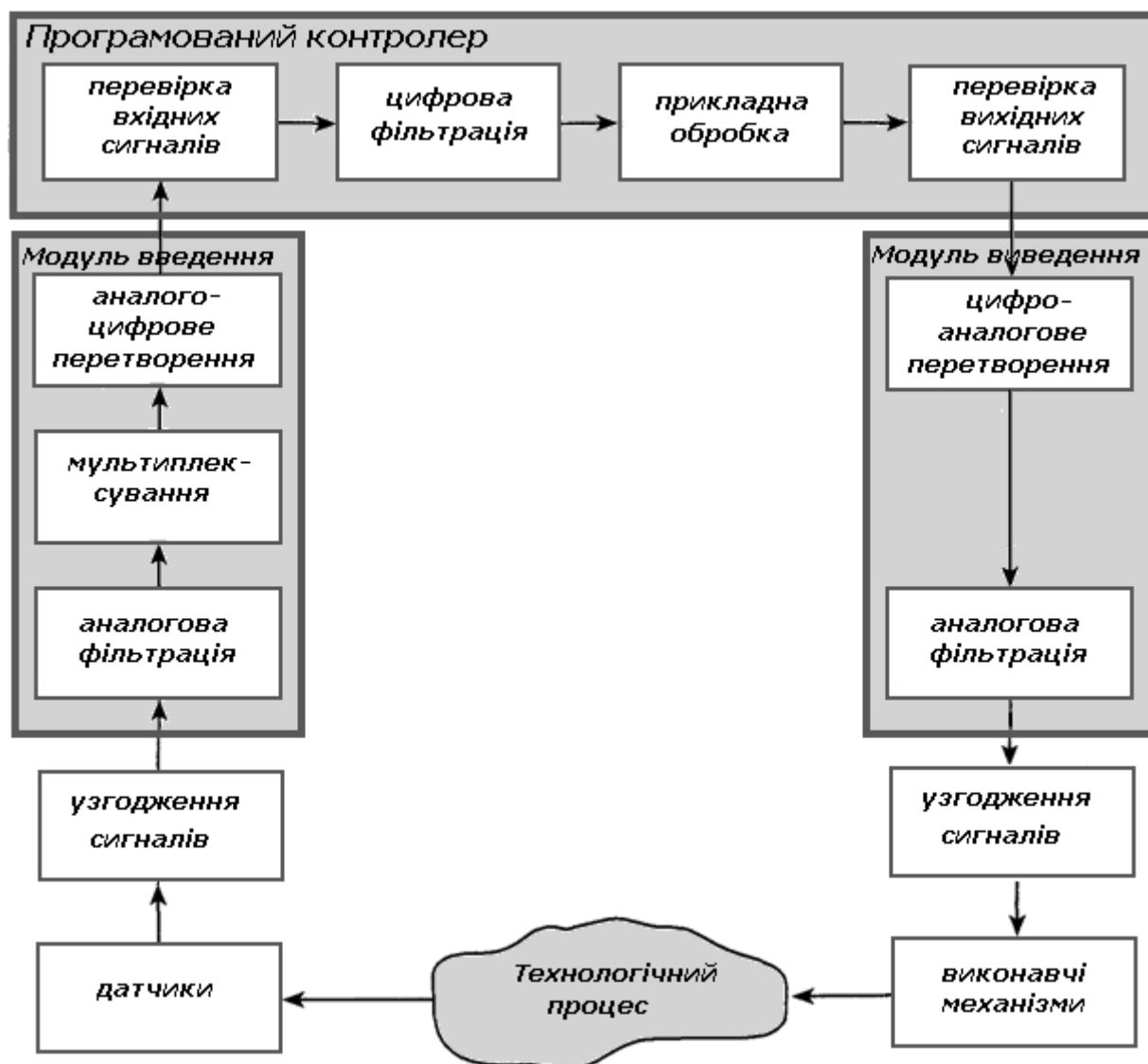


Рис. 5.2

Сигнал, що виробляє датчик, повинен бути відфільтрований від всіх сторонніх частот. Відфільтровані вимірювальні сигнали збираються в мультиплексорі. Це пристрій, який має декілька входів і один вихід. Основне призначення мультиплексора – зменшити загальну вартість системи. Мультиплексування дозволяє комп'ютеру у будь-який момент часу вибирати, сигнал якого датчика необхідно враховувати.

Перетворення аналогового сигналу в цифровий відбувається в аналого-цифровому перетворювачі (АЦП). Схема вибірки і зберігання запам'ятовує миттєві значення вхідного сигналу і утримує їх постійними на своєму виході

протягом інтервалу дискретизації. Перед подальшою обробкою в комп'ютері значення сигналу вимірювальної інформації необхідно додатково перевірити, щоб упевнитися в тому, що це значення прийнятне і має сенс в контексті фізичного процесу.

Стумові витоки і стрибки напруги на входах мультиплексора можуть бути серйозною проблемою. Розв'язуючий підсилювач між датчиком і комп'ютером працює з диференціальним входом, але потенціал сигналу може "плавати" щодо "землі". В цьому випадку провідники, відповідні до мультиплексора або АЦП, повинні бути гальванічно ізольовані.

Перетворені в цифрову форму вимірювальні дані повинні бути піддані перевірці. Після АЦ-перетворення необхідно виконати наступні операції – первинну обробку:

- компенсувати дрейф;
- зберегти початкові дані;
- перевірити відповідність початкових даних параметрам датчика – діапазону допустимих вихідних значень і діапазону швидкостей зміни вихідний сигналу; якщо значення виходить з цих діапазонів, то повинні генеруватися аварійні повідомлення або інші вказівки для оператора; обчислити середнє значення початкових даних ("сторонні" значення, які помітно відрізняються від інших, можливо, повинні бути відкинуті);
- застосувати цифрову фільтрацію;
- зберегти відфільтровані дані.

Існує багато методів перевірки достовірності початкових даних. Для автоматизованих систем достовірність грає особливу роль, оскільки помилки у вхідних даних можуть привести до некоректних керуючих дій. В першу чергу, необхідно переконатися, що величина вхідного сигналу лежить в межах робочого діапазону датчика. Як указувалося раніше, вихід за його межі може указувати на виняткову ситуацію, наприклад, що датчик відключений.

Перевірка швидкості зміни (тренду) сигналу також дозволяє виявити помилки датчика. Якщо зміни вхідного сигналу датчика протягом декількох

останніх інтервалів вибірки перевищують наперед певне значення, то виробляється аварійний сигнал. Контроль швидкості зміни повинен проводитися перед цифровою фільтрацією, інакше зміни сигналу можуть бути втрачені і перевірка стає безглуздою.

Приклад. Перевірка даних зонда, що вимірює концентрацію розчиненого кисню. Концентрація в аераторі станції біологічного очищення стічних вод вимірюється за допомогою зонда, який має час встановлення менше хвилини. Якщо зонд вийнятий з води для калібрування і очищення, то вихідний сигнал датчика збільшиться протягом хвилини від нормального значення 2–5 мг/л до значення насичення - близько 10 мг/л. Реальне збільшення концентрації розчиненого кисню в резервуарі не може відбутися швидше, ніж за 10–20 хвилин. Тому така значна зміна сигналу протягом хвилини повинна вважатися ненормальною. Система, що управляє, може використовувати цю ситуацію як ознаку того, що проведено калібрування, і переустановити внутрішні змінні.

Необхідний також контроль значень введених та розрахованих параметрів і показників на технологічні й аварійні допуски.

Технологічні допуски - граничні значення технологічних параметрів, які допускаються технологічним регламентом процесу, що автоматизується. Аварійні допуски – граничні значення, при виході за які можлива аварійна ситуація. Взаємне розміщення технологічних і аварійних допусків на осі значень технологічного параметру X ілюструється рис. 5.3.

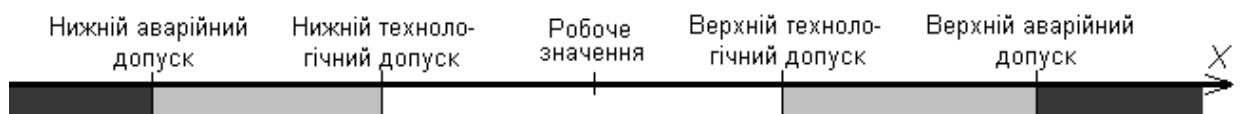


Рис. 5.3

Після цифрової фільтрації виконуються:

- перерахунок одиниць вимірювання – масштабування (при необхідності), лінеаризація;
- інші типи обробки даних, наприклад статистичний аналіз;

- аналіз вхідних даних для ухвалення рішень про подальші дії, наприклад генерації сигналів, що управляють або опорних.

Зібрані значення вхідного вимірювального сигналу для уникнення непорозуміння і помилок повинні бути перераховані у відповідні інженерні одиниці вимірювання. Перетворення від внутрішнього уявлення у до інженерних одиниць z зазвичай можна провести за допомогою простої лінійної залежності:

$$z = k_1 \cdot y + k_2$$

Для нелінійних датчиків ця залежність виражається складнішою функцією або таблицею перетворення. Залежність стає ще складнішою, якщо характеристики датчика мають зону нечутливості або гістерезис; в останньому випадку повинні бути відомі напрям зміни сигналу – зростання або убуття.

Для розв'язування перелічених задач використовується спеціальне програмне забезпечення. Це може бути стандартне програмне забезпечення SCADA-системи, наприклад, російське Trace Mode, українське "Контур", американське GENESIS 32, або програми, що розробляються проєктувальниками конкретних систем за стандартними або оригінальними алгоритмами.

Розглянемо приклади стандартних алгоритмів, орієнтованих на реалізацію за допомогою програмованих контролерів.

5.2.2 Загальний алгоритм функціонування контролера

У загальному алгоритмі передбачають наступні робочі цикли:

- початкового пуску;
- включеного стану системи;
- відключеного стану системи.

Окремими випадками включеного і відключеного стану системи є відповідно цикл включення і цикл відключення.

У циклі початкового пуску здійснюється установа початкових значень необхідних констант і програмних прапорів-ознак, перелік і значення яких визначаються при програмуванні контролера.

У циклі включеного стану системи проводяться запис у внутрішні масиви даних значень вхідних сигналів, їх обробка, розрахунок вихідних даних, реалізація локальних контурів регулювання, аналіз аварійних ситуацій і формування тривожних сигналізацій.

В циклі відключення системи здійснюється формування даних для виведення керуючих сигналів, що відповідають виключеному стану системи. Наприклад, при вимиканні системи повинні бути сформовані такі значення вихідних сигналів, при яких загальмовуються виконавчі механізми.

5.2.3 Алгоритм запису у внутрішні масиви даних уведених значень вхідних дискретних сигналів

Призначення задачі, розв'язуваної алгоритмом:

- а) фільтрація сигналів методом подавлення «брякотіння контакту»;
- б) запам'ятовування значень сигналів;
- в) контроль зміни значення сигналу.

Фільтрація j -того дискретного сигналу DI_j полягає в тому, що результат визнається правдивим, якщо хоча б два з підряд уведених трьох значень сигналу є незмінними.

На початку алгоритму (рис. 5.4) перевіряється стан прапора-ознаки циклу включення FVKL. В циклі включення системи для кожного j -того сигналу здійснюється:

а) ініціалізаційне (первинне) запам'ятовування значення введеного значення сигналу DI_j у трьох комірках пам'яті, призначених для зберігання трьох послідовних значень сигналу (блок D1);

б) ініціалізаційне запам'ятовування введеного значення сигналу DI_j у комірці пам'яті, призначеній для зберігання істинного значення сигналу $IST(j)$ (блок E1);

в) ініціалізаційне запам'ятовування параметра $IST(j)$ як змінної $VPI(j)$ для контролю зміни сигналу у наступних циклах (блок E1);

г) ініціалізаційне установлення прапора-ознаки зміни j -того сигналу $FIZM(j)$ (блок E1).

В усіх робочих циклах, що відповідають включеному стану системи, за винятком циклу включення здійснюється:

а) запам'ятовування трьох підряд уведених значень j -того сигналу (блок B3);

б) фільтрація j -того сигналу (блоки C3, D3, E3, F3);

в) формування ознаки зміни j -того сигналу (блоки D4, E4, F4);

г) запам'ятовування відфільтрованого значення сигналу $IST(j)$ (блок A5).

Зміна сигналу ідентифікується аналізом нового результату фільтрації $IST(j)$ і раніше запам'ятованого значення $VPI(j)$. Якщо вони не рівні, то мала місце зміна j -того сигналу і в цьому випадку установлюється відповідний прапор-ознака $FIZM(j)$.

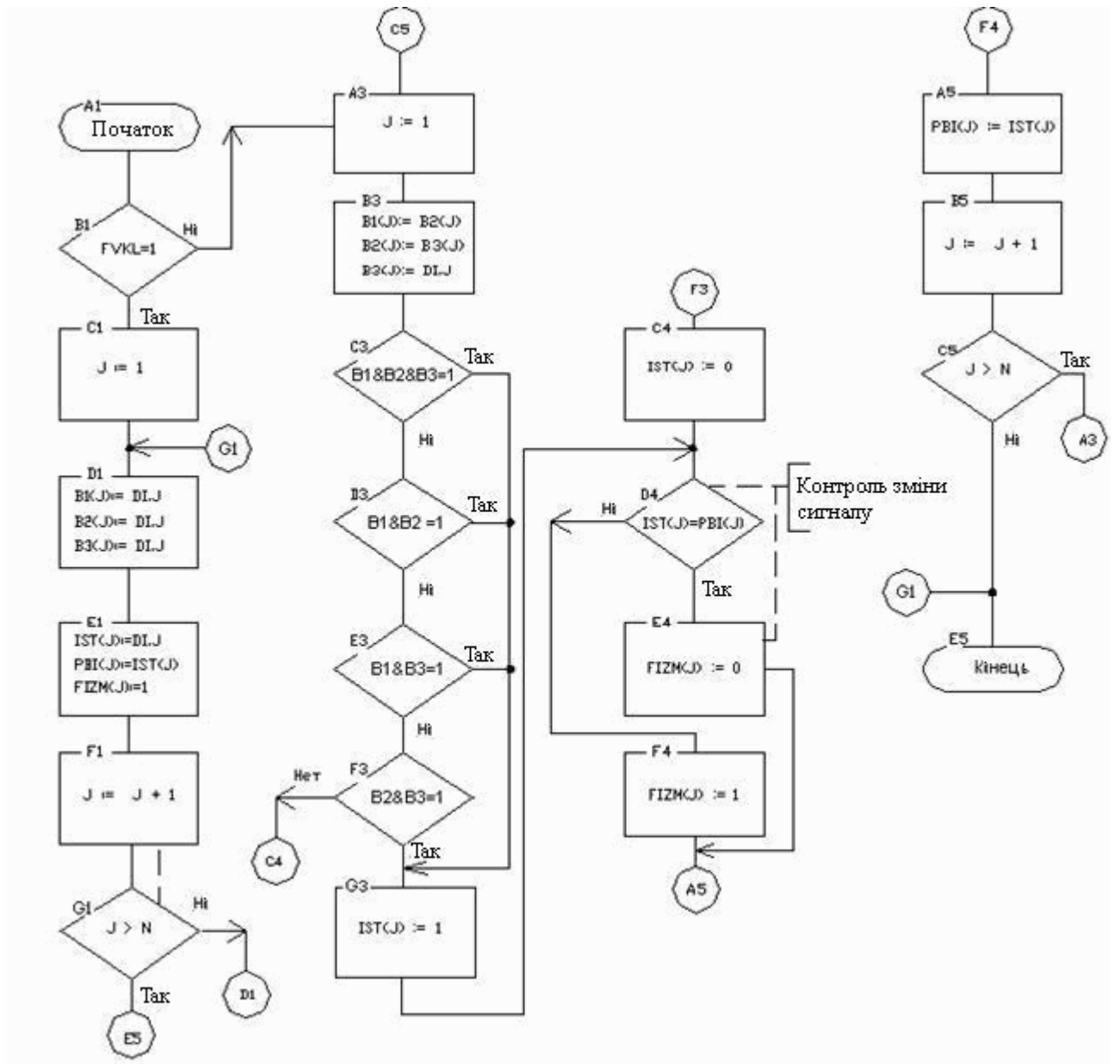


Рис. 5.4

5.2.4 Алгоритми контролю вірогідності введених аналогових сигналів

Контроль здійснюється для кожного введеного значення вхідного аналогового сигналу.

Контроль вірогідності введеного значення вхідного аналогового сигналу містить у собі :

- а) контроль на апаратні уставки (рис. 5.5, а);
- б) контроль на припустимий тренд (рис. 5.5, б).

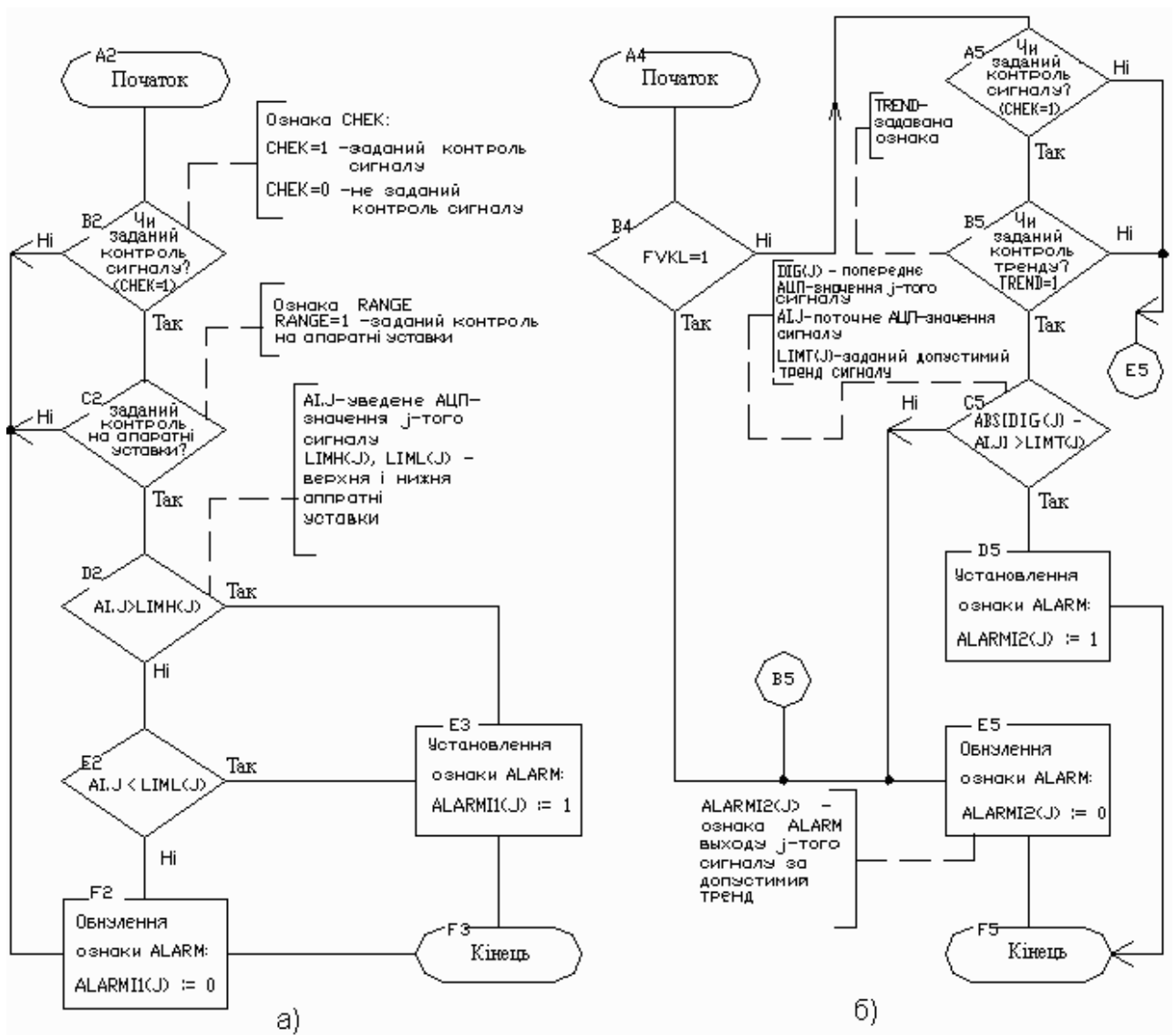


Рис. 5.5 – Алгоритми контролю значення вхідного аналогового сигналу: а – контроль на апаратні уставки; б – контроль на припустимий тренд

Апаратні уставки – граничні допуски, при виході значення вхідного аналогового сигналу AI_j за які можна констатувати невірність сигналу. Значення апаратних уставок сигналів задаються при програмуванні.

Контроль на апаратні уставки здійснюється для того сигналу, для якого задані відповідними прапорами-ознаками контроль сигналу взагалі (блок В2) і його контроль на апаратні уставки (блок С2).

Умови виходу за апаратні уставки :

- істина $AI_j > AI_{j \max}$ (блок D2);
- істина $AI_j < AI_{j \min}$ (блок E2).

При виході за апаратні уставки формується одиничне значення ознаки тривоги ALARM1(j) (блок E3), у протилежному випадку ця ознака обнулюється (блок F2).

Тренд – абсолютна зміна введеного значення вхідного аналогового сигналу в міжцикловий період. Якщо тренд перевищує припустиме значення, можна констатувати невірогідність сигналу. Припустимі значення трендів сигналів визначаються при програмуванні.

Контроль тренда здійснюється для того сигналу, для якого задані власне контроль сигналу (блок A5) і контроль тренда (блок B5).

Умови виходу за припустимий тренд (блок C5):

$$ABS(DIG(j) - AI_j) > LIMIT(j) ,$$

де DIG(j) - раніше запам'ятоване значення сигналу; LIMIT(j) – припустиме значення тренду; ABS - символ абсолютного значення.

При виході за припустимий тренд формується одиничне значення ознаки тривоги ALARM2(j) (блок D5), у протилежному випадку ця ознака обнулюється (блок E5).

У циклі включення системи контроль аналогового сигналу на припустимий тренд не проводиться.

5.2.5 Алгоритм нормалізації і фільтрації введеного аналогового сигналу

Призначення задачі, розв'язуваної алгоритмом:

- а) масштабування введеного значення сигналу з урахуванням внутрішнього формату представлення чисел у PLC;
- б) фільтрація аналогового сигналу.

Нормалізація і фільтрація здійснюються для кожного вхідного аналогового сигналу.

Нормалізація (масштабування) здійснюється розрахунковим шляхом відповідно до формули:

$$FLOW(j) := ADD1(j) + MUL1(j)*DIG(j) ;$$

де $ADD1(j)$, $MUL1(j)$ – адитивний і мультиплікативні коефіцієнти масштабування.

Вид фільтрації, що рекомендується - експонентне згладжування.

Експонентне згладжування здійснюється відповідно до формули

$$FLOW(j) := (FLOW(j) - PAST(j)) * EXPS(j) + FLOW(j) ,$$

де $EXPS(j)$ - коефіцієнт експонентного згладжування, що задається при програмуванні.

В загальному випадку нормалізація і фільтрація (перетворення) сигналу здійснюється з інтервалом часу RDT. Значення RDT устанавлюється для кожного сигналу. В окремому випадку воно може дорівнювати періоду циклу функціонування контролера (але не менше його).

Перетворення здійснюється для сигналів, для яких заданий прапором-ознакою їхній контроль (блок B2 на рис. 5.6).

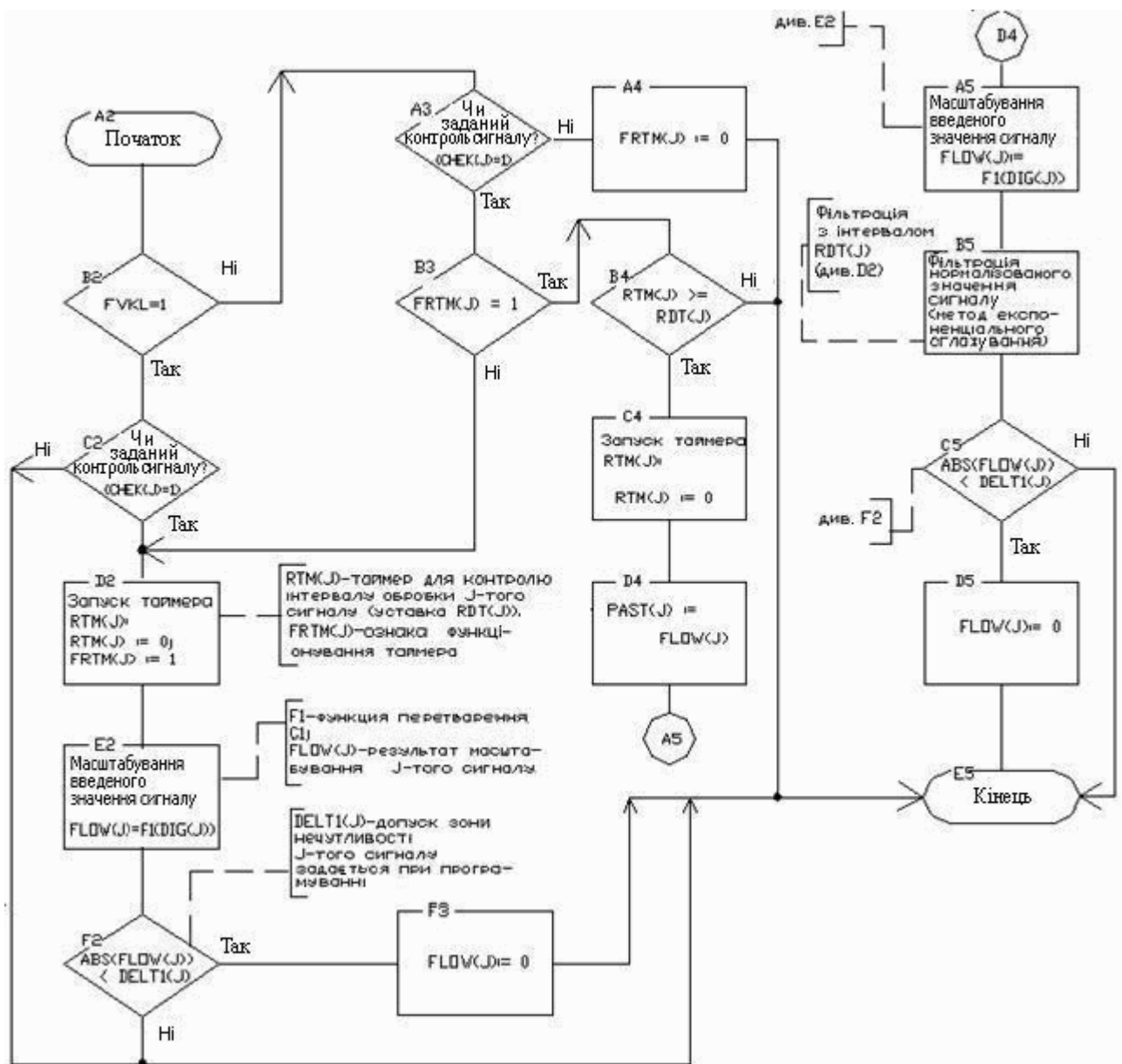


Рис. 5.6

У циклі вмикання системи для контрольованого сигналу здійснюється :

а) запуск таймера інтервалу обробки сигналу $RTM(j)$ і встановлення прапора-ознаки $FRTM(j)$ ввімкненого стану таймера (блок D2);

б) перетворення значення сигналу $DIG(j)$ у необхідний формат, нормалізація і запис у БД (блок E2).

Якщо отримане значення $FLOW(j)$ менше допуску флуктуації $DELT1(j)$, що задається при програмуванні, то значенню сигналу, що запам'ятовується, привласнюється нульове значення (блок F3)

Після закінчення інтервалу обробки сигналу здійснюється :

- а) обнулення таймера інтервалу обробки сигналу ($RTM(j):=0$) (блок С4);
- б) запам'ятовування попереднього значення результату обробки сигналу ($PAST(j) := FLOW(j)$) (блок D4);
- в) перетворення цілочисленого значення сигналу, отриманого від АЦП, в дійсний формат, нормалізація і запис у БД (блок А5);
- г) фільтрація сигналу (блок В5);
- д) контроль нульового значення сигналу аналогового сигналу (блок С5).

Операції і процедури алгоритму здійснюються циклічно с заданим періодом $RDT(j)$ по досягненню таймером $RTM(j)$ цього значення.

5.3 Функція обчислення невимірюваних величин та узагальнених показників процесу

Деякі технологічні параметри та узагальнені показники процесу неможливо виміряти приладами безпосередньої оцінки, доводиться застосовувати непрямі методи вимірювання з виконанням розрахунків на обчислювальному пристрої.

Найбільш поширеною є задача визначення витрати рідини чи газу за перепадом тиску на звужуючому пристрої. Розглянемо алгоритм розрахунку витрати водяної пари.

Призначення задачі та відповідного алгоритму:

- а) формування даних, використовуваних для розрахунку контрольованої витрати пари;
- б) розрахунок оцінного значення витрати пари для оперативного відображення на АРМ оператора.

Оскільки витрата водяної пари є важливим техніко-економічним показником, для підвищення точності вимірювання перепаду тиску на діафрагмі використовуються два дифманометри: один з меншим діапазоном виміру для використання при малих витратах пари, інший з більшим діапазоном для виміру великих витрат.

Задача, реалізована алгоритмом, виконується, якщо заданий прапор-ознака контролю витрати (блок В1 на рис. 5.7).

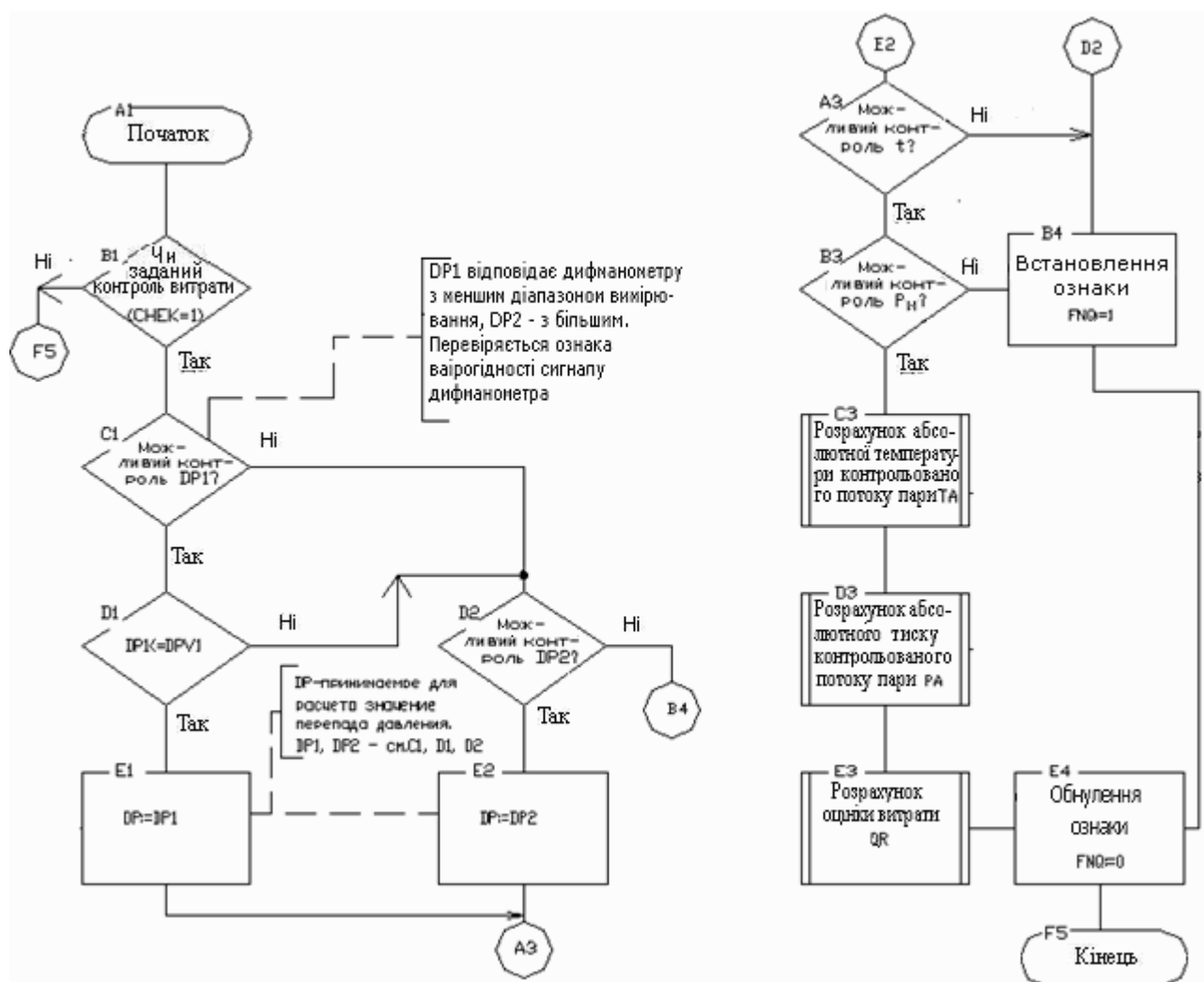


Рис. 5.7 – Схема алгоритму розрахунку витрати водяної пари

Обов'язковими процедурами в алгоритмі є аналіз можливості виміру параметрів потоку:

- перепаду тиску на звужуючому пристрої (блоки C1, D1 та D2);
- температури пари (блок A3);
- надлишкового тиску пари (блок B3).

Аналіз здійснюється на підставі значень прапорів-ознак виконання контролю параметра і вірогідності сигналу відповідного датчика. При цьому сигнал датчика з меншим діапазоном виміру не аналізується на вихід за верхню апаратну уставку.

Якщо установлений факт неможливості виміру параметрів потоку, встановлюється ознака неможливості розрахунку витрати $FNQ:=1$ і ніяких дій не виробляється.

Якщо вимір параметрів потоку можливий, то в першу чергу здійснюється оцінка, сигнал якого дифманометра використовувати як результат виміру перепаду тиску. В нашому алгоритмі це здійснюється аналізом відповідності значення сигналу дифманометра з меншим діапазоном виміру межах виміру цього дифманометра – блок D1. При істинності результату цього аналізу як обмірюване значення перепаду тиску приймається нормалізоване значення сигналу дифманометра з меншим діапазоном виміру (блок E1), при запереченні - сигналу дифманометра з більшим діапазоном виміру (блок E2).

Далі для контрольованого потоку здійснюється:

а) розрахунок значення абсолютної температури за формулою (блок C3):

$$T_A = t + 273,15,$$

де t – результат виміру температури, °C;

б) розрахунок значення абсолютного тиску контрольованого потоку пари за формулою (блок D3):

$$P_A = P_n + P_0,$$

де $P_0=101,325$ кПа – атмосферний тиск (фізична атмосфера в кПа); P_n – надлишковий тиск (результат виміру); значення P_A , P_n , P_0 повинні мати ту саму розмірність; при приведенні них до однієї розмірності треба використовувати коефіцієнти відповідно до ГОСТ 8.563.2;

в) розрахунок оцінки нормалізованого значення витрати пари (блок E3) по формулі:

$$Q_n = C_Q (\Delta P \cdot P_a / T)^{0,5},$$

де C_Q – коефіцієнт витрати, що розраховується наступним чином:

$$C_Q = Q_{\max} / (P_{ap} \cdot \Delta P_{\max} / T_p)^{0,5},$$

де Q_{\max} – розрахункова верхня межа виміру витрати діафрагмою (т/ч); P_p , T_p – розрахункові параметри діафрагми (абсолютний тиск, абсолютна температура);

ΔP_{\max} - верхня межа виміру застосовуваного у вузлі обліку основного дифманометра (дифманометра з більшою межею виміру);

г) обнулення ознаки неможливості розрахунку витрати $FNQ:=0$.

5.4 Вироблення керуючих впливів

Функція вироблення керуючих впливів відноситься до функцій керування АСК ТП. Вона, як і функція збирання та первинної обробки інформації, реалізується в основному на нижньому рівні управління за допомогою програмованих контролерів, мікропроцесорних регуляторів або комп'ютерів, оснащених модулями введення-виведення технологічних сигналів.

До задач цієї функції відносяться:

- а) реалізація позиційного регулятора;
- б) реалізація аналогового ПД-регулятора;
- в) реалізація широтно-імпульсного ПД-регулятора;
- г) дистанційне керування виконуючими механізмами;
- д) безударний перехід з дистанційного керування на автоматичне.

Як правило, автоматизована система має реалізувати наступні режими:

- а) ручне керування об'єктом засобами КВПтаА;
- б) дистанційне управління положенням виконавчого механізму через контролер;
- в) автоматичне регулювання технологічних параметрів.

Перехід на ручне керування засобами КВПтаА здійснюється комутацією оператором кіл керування з інформуванням контролера відповідним сигналом.

В автоматизованій системі постійно контролюється стан датчиків регульованих параметрів і при їхніх відмовах здійснюється автоматичний перехід на дистанційне керування виконавчими механізмами з формуванням прапора-ознаки для вироблення відповідної сигналізації (повідомлення).

Автоматичне регулювання може здійснюватися по двох схемах: двохкаскадній та однокаскадній.

Двохкаскадна схема – більш досконалий вид керування. В цьому випадку ведучий каскад формує уставку веденого. Ведений каскад формує керуючий вплив на виконавчий механізм.

При однокаскадній схемі єдиний регулятор безпосередньо формує керуючий вплив на виконавчий механізм.

Ведучий каскад реалізується на базі аналогового ПІД-регулятора.

Ведений каскад і регулятор при однокаскадному керуванні реалізуються в залежності від стану датчика положення виконавчого механізму або на базі аналогового ПІД-регулятора, або на базі широтно-імпульсного (ШИМ) ПІД-регулятора.

Аналоговий регулятор розраховує необхідне значення положення виконавчого механізму (ВМ), що порівнюється з поточним значенням сигналу датчика положення ВМ і при їхній невідповідності формується сигнал керування виконавчим механізмом на компенсацію цієї невідповідності (сигнал БІЛЬШЕ чи МЕНШЕ).

При відмові чи відсутності датчика положення виконавчого механізму функціонує ШИМ-регулятор, у якому розраховується необхідний квант зміни положення виконавчого механізму і формується функціонально залежний від значення цієї зміни імпульс вмикання ВМ по відповідному каналу керування в залежності від знака розбалансу регулятора (сигнал БІЛЬШЕ чи МЕНШЕ).

Перехід на ШИМ-регулятор здійснюється програмно.

У регуляторах систем керування ПІД-розрахунок здійснюється у відповідності з наступною математичною моделлю:

$$\Delta u(t_k) = K_P[y_d - y(t_k)] + \Delta t(K_I / T_I) [y_d - y(t_k)] + K_D(T_D / \Delta t)[y(t_k) - y(t_{k-1})], \quad (5.1)$$

де $\Delta u(t_k)$ – розрахований на поточний момент часу $t = t_k$ квант зміни керуючого впливу (в алгоритмі позначена як DUPR); K_P , K_I , K_D – коефіцієнти підсилення пропорційної, інтегральної, диференціальний частин регулятора; T_I , T_D – постійні часу інтегратора і диференціатора регулятора; y_d – уставка регулятора; $y(t_k)$ – значення регульованої величини на момент часу $t=t_k$; Δt –

інтервал дискретизації контролю і керування; k та $(k-1)$ – індекси поточного і попереднього циклів функціонування регулятора.

Приведена модель може бути реалізована стандартними програмними модулями контролера. В цьому випадку номенклатура налаштувань регулятора уточнюється і встановлюється при програмуванні з урахуванням параметрів застосовуваних програмних модулів контролера.

В аналоговому регуляторі формований керуючий вплив розраховується як

$$u(t_k) = u(t_{k-1}) + \Delta u(t_k). \quad (5.2)$$

В однокаскадній САР і веденому регуляторі двохкаскадної системи розраховане $u(t_k)$ являє собою необхідне положення виконавчого механізму регулюючого органу системи.

У ведучому каскаді двохкаскадної системи $u(t_k)$ являє собою необхідну уставку регулятора веденого каскаду.

В ШІМ-регуляторі на підставі ПІД-розрахованого $\Delta u(t_k)$ визначається тривалість імпульсу вмикання виконавчого механізму системи регулювання $T_{\text{ІМР}}$:

$$T_{\text{ІМР}} = K_M \cdot \Delta u(t_k). \quad (5.3)$$

Тут K_M - мультиплікативний коефіцієнт для розрахунку тривалості імпульсу $T_{\text{ІМР}}$ (параметр налаштування ШІМ-регулятора).

При аналоговому ПІД-регулюванні, у тому числі при двохкаскадному керуванні, на підставі розрахованого керуючого впливу як необхідного значення положення виконавчого механізму здійснюється:

а) розрахунок розбалансу між необхідним і поточним положенням виконавчого механізму;

б) формування керуючих даних на останов виконавчого механізму, якщо цей розбаланс незначний;

в) формування керуючих даних на вмикання виконавчого механізму по каналах БІЛЬШЕ чи МЕНШЕ в залежності від знака розбалансу при його істотному відхиленні.

При функціонуванні аналогового ПІД-регулятора здійснюється постійний контроль стану датчика положення виконавчого механізму. При його відмові формується відповідний прапор-ознака і здійснюється перехід на ШІМ-регулювання. При нормальному стані датчика продовжується функціонування аналогового ПІД-регулятора.

При функціонуванні ШІМ-регулятора продовжується контроль стану датчика положення виконавчого механізму. При його несправному стані продовжується функціонування ШІМ-регулятора. При відновленні нормального стану датчика здійснюється перехід на функціонування аналогового ПІД-регулятора.

В аналогових ПІД-регуляторах здійснюється:

- а) розрахунок розбалансу регулятора;
- б) аналіз значимості розбалансу;
- в) ПІД-розрахунок кванту керуючого впливу (5.1) при істотній значимості розбаланса;
- г) присвоєння кванту керуючого впливу нульового значення при неістотній значимості розбаланса;
- д) розрахунок керуючого впливу (5.2);
- е) обмеження розрахованого керуючого впливу згідно технічним можливостям виконавчого пристрою.

В ШІМ-регуляторах здійснюється:

- а) розрахунок розбалансу регулятора;
- б) аналіз значимості розбалансу;
- в) ПІД-розрахунок кванту керуючого впливу при істотній значимості розбаланса;
- г) присвоєння кванту керуючого впливу нульового значення при неістотній значимості розбаланса;

- д) розрахунок тривалості імпульсу умикання виконавчого механізму (5.3) на підставі розрахованого збільшення керуючого впливу;
- е) обмеження розрахованої тривалості імпульсу;
- ж) запуск таймера на відпрацьовування імпульсу з установкою ознаки відпрацьовування;
- з) формування керуючих даних на вмикання виконавчого механізму (БІЛЬШЕ чи МЕНШЕ в залежності від знака розбалансу регулятора);
- і) формування керуючих даних на останов виконавчого механізму, якщо розбаланс регулятора незначний.

При відпрацьовуванні імпульсу умикання виконавчого механізму в кожному циклі контролера здійснюється контроль значення таймера на досягнення заданої тривалості імпульсу. При досягненні таймером заданої тривалості здійснюється перезапуск таймера на відпрацьовування паузи між умиканнями з обнулінням ознаки відпрацьовування тривалості імпульсу вмикання, з установкою ознаки відпрацьовування паузи і з формуванням керуючих даних на останов виконавчого механізму.

Тривалість паузи є настроюванням регулятора.

При відпрацьовуванні паузи здійснюється контроль значення таймера на досягнення заданої тривалості паузи. При досягненні таймером заданої тривалості здійснюється обнуління ознаки відпрацьовування паузи і перехід на розрахунок розбалансу регулятора і далі на новий ПІД-розрахунок .

У системі передбачений безударний перехід на автоматичні режими:

- а) при функціонуванні аналогового регулювання – присвоєнням формованому керуючому впливу початкового значення, рівного поточному значенню сигналу датчика положення виконавчого механізму;
- б) при функціонуванні ШІМ-регулювання – обмеженням тривалості імпульсу вмикання виконавчого механізму.

5.5 Діагностика стану комплексу технічних засобів КІСУ

Під діагностикою розуміється комплекс програмних і технічних засобів АСУ, задіяний для виконання діагностичних функцій. Розрізняють убудовану

діагностику (знаходиться усередині програмованих контролерів, мікропроцесорних регуляторів, ПЗО і т.д.) і зовнішню (реалізована як зовнішня діагностична станція, що відображає стан обладнання КІСУ).

Убудована діагностика повинна мати два режими: обов'язковий – при будь-якому вмиканні системи керування, і розширений – вмикається за бажанням більш детальної діагностики окремих модулів і вузлів АСУ з метою локалізації несправності чи настроювання параметрів системи. Усі повідомлення убудована діагностика повинна видавати на власний дисплей діагностованого пристрою.

Діагностування датчиків та виконуючих пристроїв здійснюється пристроями зв'язку з об'єктом. Для полегшення задач діагностування слід застосовувати датчики з вихідним сигналом 4–20 мА. Тоді струм, менший за 4 мА, однозначно свідчить про несправність. Цілям діагностики служать і описані в п. 5.2 алгоритми контролю тренду і виходу за апаратні уставки.

Ряд апаратних засобів КІСУ оснащується системами самодіагностування.

Призначенням систем самодіагностування і тестування контролерів є забезпечення оперативного виявлення несправностей апаратних засобів контролера, а також програмних помилок.

Розрізняють апаратні і програмні засоби самодіагностування. Апаратні засоби мають світлові індикатори, які розташовані на лицьових панелях модулів контролера. Їхній стан дає можливість візуально визначити працездатність контролера і окремих його модулів. Програмне самодіагностування виконується в кожному робочому циклі контролера. Його результати записуються у пам'ять контролера і дозволяють програмним шляхом реалізувати алгоритми реагування системи на виявлення відповідних помилок.

Детальніше виявити причини порушення працездатності контролера дають змогу системи діагностування і тестування, які запускаються з терміналів або пультів програмування. Ці системи дають можливість швидко визначити причини помилок і відмов контролера.

Інтелектуальні прилади також здатні виконувати функції самодіагностування з видачею повідомлень про виявлені несправності на АРМ оператора.

При проектуванні систем діагностики технічних засобів КІСУ слід керуватися наступними правилами.

Зовнішня діагностика повинна надавати інформацію у вигляді розгорнутої структури відеокадрів. На кореновому відеокадрі повинна бути представлена інформація про поточний режим і стан об'єкта керування, його основних компонентів, основна технологічна інформація, аварійна сигналізація. Докладна інформація з поточного стану, локалізації джерел і причин порушення нормального стану, завадах відновлення необхідного стану й інша специфічна інформація, у тому числі стосовна до конкретних елементів устаткування, повинна надаватися окремими відеокадрами.

Відеокадри однотипного устаткування повинні бути максимально уніфіковані.

На усіх відеокадрах повинна бути наскрізна інформація (умовний сигнал чи рядок текстового повідомлення) про наявність інформації про аварію, несправності, останови і попередження. Повинна бути реалізована функція вказівки швидкого переходу до екранів, призначених для візуалізації розгорнутих варіантів вказаних повідомлень.

При представленні інформації треба дотримуватись загальноприйнятих угод по кольорам:

- червоний - аварії і несправності;
- жовтий - попередження;
- зелений - нормальні, відповідні технології сигнали, повідомлення і стани;
- інші - кольори для інформації, що не відповідає призначенням червоного, жовтого і зеленого кольорів, вибираються по зручності сприйняття;

- миготіння - може використовуватися для виділення, локалізації першоджерела інформації, щоб привернути увагу до зміни стану якого-небудь сигналу або до підказки оператору про шлях доступу до інформації і т.д.

Повинна бути розроблена система допомоги (підказки) з роз'ясненнями по змісту, умовним позначкам і активним клавішам.

Повинна бути передбачена можливість централізованого встановлення календарного часу всіх керуючих обчислювальних пристроїв з боку АСУ верхнього рівня.

Також повинен бути розроблений відеокадр самої системи діагностики, що відображає справність окремих (складових) частин системи діагностики.

Обсяг інформації, наданий системою діагностики, повинен включати діагностичну, технологічну і статистичну інформацію, як по усіх функціях технологічного устаткування, так і по роботі системи керування.

Діагностична інформація повинна формуватися і надаватися у відповідності з наступними рівнями пріоритету:

а) аварії – аномалії, при яких необхідно перервати будь-який режим роботи з ввімкненням аварійних ланцюгів, щоб уникнути погрози травмування обслуговуючого персоналу, поломки устаткування чи випуску бракованої продукції;

б) несправності – аномалії в роботі пристроїв, механізмів, що виявляються в невиконанні ними своїх функцій:

в) останови – припинення роботи устаткування за допомогою виконання штатних функцій без включення аварійних ланцюгів, включаючи технологічні останови;

г) попередження – повідомлення про події, що вимагають від обслуговуючого персоналу виконання яких-небудь дій для забезпечення ефективної, надійної і якісної роботи устаткування відповідно до обраного режиму і технологічного процесу;

д) інформація, що відображає стан устаткування технологічного процесу і зв'язків із суміжним устаткуванням.

Для однозначного визначення причини будь-якого переривання в роботі об'єкта керування, викликаного аваріями, несправностями чи остановами, або причини невиконання керуючих дій діагностика повинна:

а) стежити за поточним станом систем і елементів устаткування і за тим, що повинно виконуватися в кожен момент часу по всіх задачах керування. (Наприклад, при натиснутій кнопці переміщення виконавчого механізму в ручному режимі);

б) при перериванні в роботі устаткування чи невиконанні керуючих дій – аналізувати виконання робочої програми і стан елементів та систем устаткування з метою виявлення всіх діючих першопричин цих відхилень;

в) видавати інформацію про всі діючі першопричини відхилень у наступному вигляді:

1) тип відхилення в роботі устаткування (аварія, несправність, останов, невиконання керуючого впливу);

2) відповідний сигнал контролера з коментарем, що стан цього сигналу є першопричиною відхилення в роботі устаткування;

3) для виконуючих механізмів: адреса (з коментарем) вихідного сигналу, у результаті вмикання/вимикання якого повинен установитися необхідний стан вхідного сигналу;

4) локалізація джерела сигналу-першопричини відхилення в роботі устаткування за допомогою умовного символу на мнемосхемі устаткування відповідно до територіального розташування джерела відхилення;

г) діагностика повинна реєструвати і зберігати інформацію про причини відхилень у роботі устаткування.

Діагностика повинна також забезпечити виявлення причини короточасних несанкціонованих вмикань/вимикань вихідних сигналів (наприклад, через несправність датчиків). За запитом оператора повинна зареєструвати і надати оператору на станції діагностики адресу і коментар вхідного сигналу контролера, що є причиною короточасного

несанкціонованого вмикання чи вимикання заданого оператором вихідного сигналу.

Діагностика повинна відображати поточні режими роботи і стан основних систем та функціональних частин устаткування. Інформація повинна видаватись з режимам роботи, несправностям і помилкам окремих електронних пристроїв АСК і її елементів (джерело і код помилки з коментарями) з точністю до замінного модуля чи окремої електронної плати, із указівками на необхідність заміни цих пристроїв.

Станція діагностики повинна відображати також статистичну інформацію:

- статистику простоїв устаткування за поточну і попередню зміни;
- таблиці продуктивності виробництва за поточну і попередню зміни;
- поточний графік робочого часу, централізований календарний час у контролерах, що виконують статистичні функції;
- іншу необхідну інформацію.

У протоколі, що друкується на станції діагностики, повинна фіксуватися інформація про аварії, несправності і попередження з указівкою першопричини і часу початку та закінчення подій. Діючі (неусунуті) причини повинні бути виділені окремо.

5.6 Методи підвищення надійності функціонування КІСУ

Основні характеристики надійності КІСУ не можуть досить точно визначатися такою характеристикою, як «число годин напрацювання на відмову». Через високу надійність сучасних керуючих обчислювальних пристроїв, наскрізного контролю модулів і конструктивів у процесі їхнього виготовлення відмови в роботі компонентів КІСУ дуже рідкі, і набрати статистичний матеріал для розрахунку числа годин напрацювання на відмову виробники звичайно не можуть. Тому характеристики надійності звичайно оцінюють непрямыми показниками і можливостями КІСУ:

а) глибиною і повнотою діагностичних тестів визначення несправностей в окремих компонентах КІСУ;

б) наявністю убудованих у систему блоків безперебійного живлення (UPS) і часом їхньої роботи при припиненні живлення від мережі, а також можливістю і тривалістю перерви живлення (при відсутності UPS) без порушення функцій керування;

в) можливостями, варіантами і повнотою резервування окремих компонентів КІСУ: мереж, контролерів, блоків уведення-виведення, пультів оператора, серверів.

Використання резервування і його повнота прямо зв'язані з вартістю системи. Тому в розроблювальній системі автоматизації важливо правильно оцінити необхідність і бажаний вид резервування різних частин КІСУ.

Необхідно передбачати резервування ВСІХ елементів системи, що мають відношення до безпеки:

- польове устаткування;
- польові шини;
- модулі введення-висновку;
- модулі управління;
- джерела живлення;
- грамотний і відповідальний персонал.

КІСУ повинна будуватися з достатнім ступенем надмірності. Кожна її підсистема повинна мати 10–20% резерв як по інформаційних каналах, так і по тих, що управляють.

Разом з тим, необхідно розуміти, що вимога надмірності відноситься не тільки до устаткування, але і до всіх програмних компонентів системи.

Необхідно передбачити достатні резерви по оперативній і дисковій пам'яті, а також по швидкодії мікропроцесорних обчислювачів і промислових мереж, які буде потрібно для розвитку функції системи. Запас і інформаційної, і функціональної надмірності повинен бути ніяк не менше 20%, а краще 40%,

включаючи, перш за все, швидкодію. Ці вимоги в обов'язковому порядку включаються в Технічне завдання на систему.

Локальна АСУ ТП і КІСУ мають загальну особливість: обидві системи автоматизації можуть цілком вийти з ладу, якщо лише в одному компоненті системи (комп'ютері, з'єднаному з контролерами чи мережею контролерів) виникне несправність.

Якщо які-небудь компоненти виробничого процесу (чи весь процес) є критично важливими чи вартість зупинки виробництва дуже висока, виникає необхідність побудови резервованих систем. У системах з резервуванням вихід з ладу одного компонента не спричиняє зупинку всієї системи. реалізацію резервування більшості компонентів системи підтримує, наприклад, програмне забезпечення для керування виробничими процесами (SCADA-система).

Розподіл процесів керування і контролю по декількох комп'ютерах, об'єднаних у локальну мережу, і використання архітектури «клієнта-сервер» дозволяють підвищити ефективність і швидкість роботи всієї системи, спростити створення резервованих систем.

Навіть у простій системі комп'ютер, з'єднаний із промисловим устаткуванням, стає сервером, призначеним для взаємодії з контролерами, у той час як інші обчислювальні пристрої мережі – клієнтами.

Коли комп'ютеру-клієнту потрібні дані для відображення, він запитує їх у сервера і потім обробляє локально.

Для забезпечення резервування в систему може бути доданий другий (резервний) сервер, також призначений для взаємодії з промисловим устаткуванням. Якщо основний сервер виходить з ладу, запити клієнтів направляються до резервного сервера. При цьому резервний сервер не повинен цілком дублювати роботу основного, оскільки в цьому випадку обидва сервери взаємодіють з контролерами, подвоюючи навантаження на промислову мережу і скорочуючи, таким чином, її загальну продуктивність.

Звичайно в клієнт-серверній архітектурі з контролерами взаємодіє тільки основний сервер. Одночасно він обмінюється даними з резервним сервером,

постійно оновлюючи його статус. Якщо обмін даними з основним сервером припиняється, резервний сервер приймає рішення, що основний вийшов з ладу і бере його функції на себе.

Резервування на рівні задач. Багато сучасних SCADA-програм дозволяють організувати резервування системи на рівні задач, таких як уведення-виведення сигналів з підтримкою баз даних реального часу (БД РЧ), обслуговування тривог (алармів), архівування даних, організації звітів, обробки графічної інформації й ін.

Кожна з цих задач підтримує свою базу даних незалежно від інших задач, так що можна дублювати кожен задачу окремо. Якщо основний сервер деякої задачі, наприклад, сервер тривоги, виходить з ладу, усі клієнти одержують дані з відповідного резервного сервера.

Резервування мережі. Резервування серверів і робочих станцій істотно підвищує надійність системи. Однак, якщо виходить з ладу мережа, порушується і керування на всіх клієнтських комп'ютерах. Використання додаткової резервної мережі забезпечує стабільність роботи системи у випадку виходу з ладу основної мережі.

Резервування зв'язку з контролером. У більшості контролерів можна організувати додатковий зв'язок між сервером і пристроєм уведення-виведення.

Наявність додаткового каналу зв'язку гарантує збереження обміну даними при виході з ладу основного каналу. Якщо обмін даними порушується (наприклад, відбувся обрив кабелю), SCADA-система робить переключення на резервний канал. Після відновлення фізичного з'єднання звичайно відбувається зворотний перехід на основний канал.

Резервування контролерів звичайно здійснюється двома шляхами:

- апаратне резервування складових частин контролера: при цьому резервуватися можуть як окремі вузли контролера, так і весь контролер у цілому; основні і резервні вузли контролера, як правило, розташовані в одному корпусі і зв'язок між ними здійснюється по внутрішньоконтролерній шині.

- Резервування з використанням мережі контролерів: при цьому способі резервуються контролери в цілому, і їхня взаємодія здійснюється за допомогою мережевого зв'язку.

При керуванні потенційно небезпечними виробництвами, де потрібно підвищена надійність керуючих контролерів, застосовуються різні способи резервування:

а) гаряче резервування окремих компонентів та/чи контролера в цілому (при непроходженні тесту в робочому контролері керування переходить до другого контролера, рис. 5.8);



Рис. 5.8

б) використання схеми потроєння з «голосуванням» результатів обробки сигналів усіма контролерами групи (рис. 5.9). при цьому за вихідний сигнал приймається той, котрий видали більшість контролерів групи, а контролер, що дав інший результат, вважається несправним;

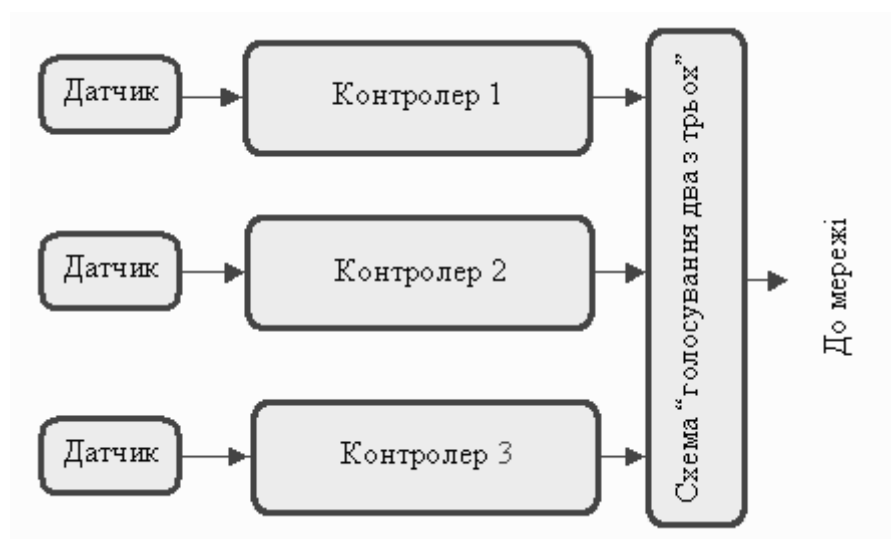


Рис. 5.9

в) використання схеми, побудованої на принципі «пара і резерв» (рис. 5.10).

Тут паралельно працює пара контролерів з «голосуванням» результатів, і аналогічна пара знаходиться в гарячому резерві. при виявленні відмінностей результатів роботи контролерів першої пари керування переходить до другої пари. Після проведення тестування першої пари, у випадку короткочасного випадкового збою керування повертається до першої пари. У протилежному випадку, якщо діагностується несправність, керування залишається в другій парі контролерів.

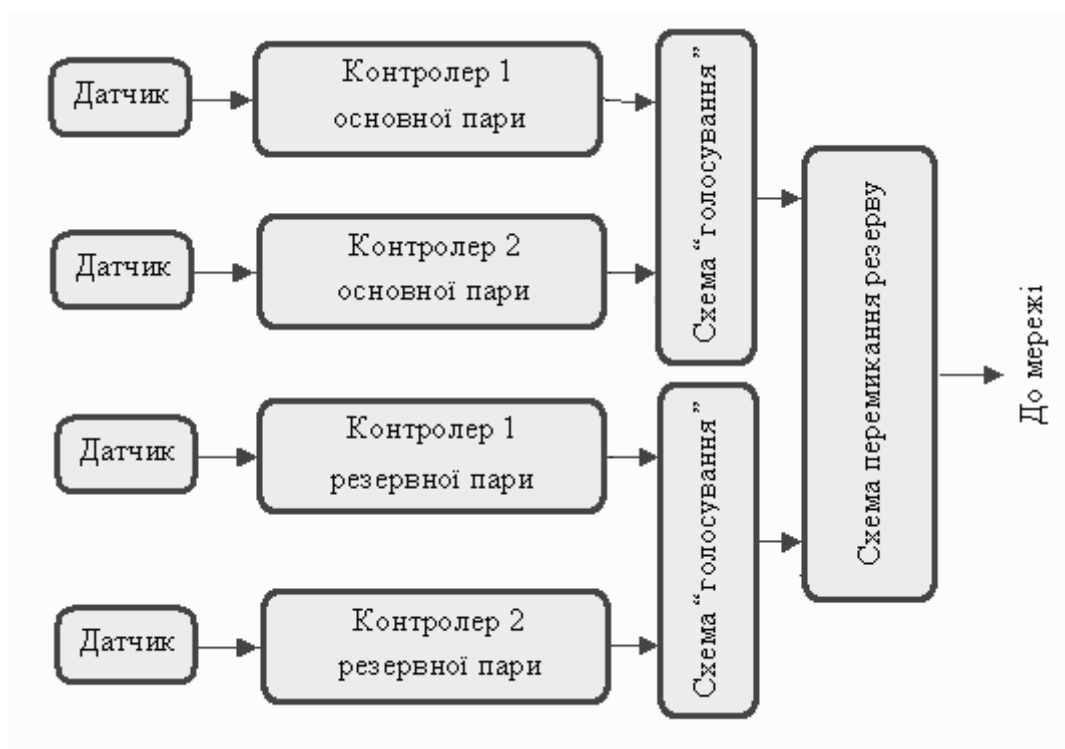


Рис. 5.10

Як приклад розглянемо систему з дубльованими контролерами.

Контролери серії OpenLine 200 і 300 дозволяють мати на одній локальній магистралі два джерела живлення і два контролери для забезпечення "гарячого" резервування (рис. 5.11).

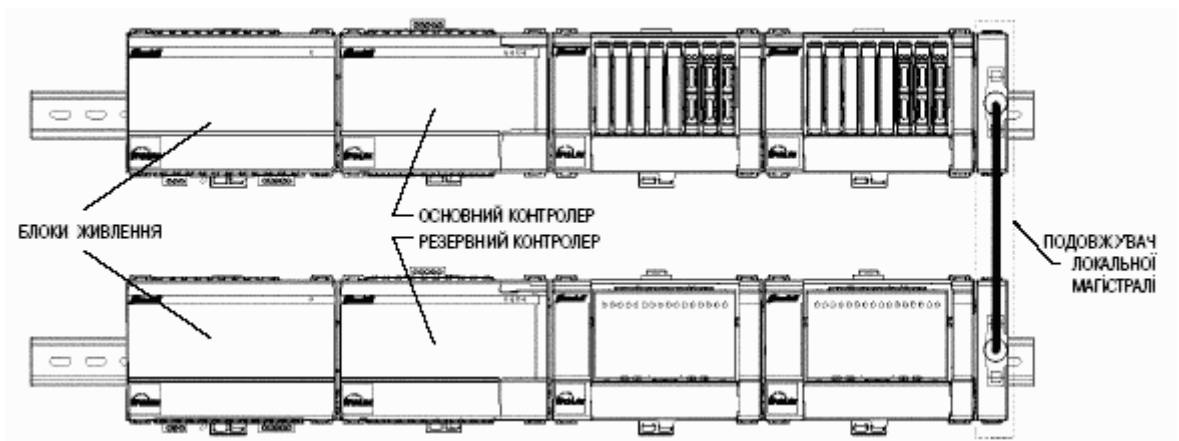


Рис. 5.11

В цьому випадку один з контролерів призначається основним, а інший - резервним. Основний контролер виставляє і утримує на локальній магістралі низький активний рівень сигналу master до тих пір, поки він функціонує і за наслідками самодіагностики вважає себе справним. Резервний контролер контролює цей сигнал. У разі виявлення високого рівня на лінії master він прочитує поточний стан всіх ліній введення-виведення і приймає управління локальною магістраллю на себе. Основний контролер, що в цей час відмовив, можна замінити без зупинки системи. Також можлива "гаряча" заміна джерела живлення.

5.7 Контрольні тестові питання до розділу 5

4.5.1 До задач функції збирання та первинної обробки інформації НЕ відноситься:

- введення аналогових сигналів від датчиків і первинних перетворювачів;
- введення дискретних сигналів реле і датчиків стану основного устаткування;
- контроль вірогідності введених аналогових та дискретних сигналів;
- нормалізація і фільтрація значень введених аналогових сигналів;
- обчислення невимірюваних величин та узагальнених показників процесу;
- контроль значень введених і розрахованих параметрів та показників на технологічні й аварійні допуски.

4.5.2 Розрахунок тренда сигналу здійснюється для:

- аналізу ходу технологічного процесу;

- діагностування технічного устаткування АСУ;
- ПД-розрахунку кванту керуючого впливу;
- контролю правильності відпрацювання керуючого впливу;
- обчислення невимірюваних величин та узагальнених показників процесу.

4.5.3 Фільтрація введеного аналогового сигналу здійснюється для:

- контролю вірогідності введених аналогових сигналів;
- діагностування технічного устаткування АСУ;
- спрощення математичної обробки інформації;
- подавлення брязкотіння контактів;
- подавлення завад;
- обчислення невимірюваних величин та узагальнених показників процесу.

4.5.4 Фільтрація введеного дискретного сигналу здійснюється для:

- контролю вірогідності введених аналогових сигналів;
- діагностування технічного устаткування АСУ;
- спрощення математичної обробки інформації;
- подавлення брязкотіння контактів;
- подавлення завад;
- обчислення невимірюваних величин та узагальнених показників процесу.

4.5.5 В алгоритмі ШІМ-регулятора виконується розрахунок:

- уставки для ведучого регулятора;
- уставки для веденого регулятора;
- необхідного положення виконавчого механізму;
- тривалості імпульсу вмикання виконавчого механізму;
- амплітуди імпульсу вмикання виконавчого механізму;
- частоти імпульсів вмикання виконавчого механізму.

4.5.6 В алгоритмі аналогового регулятора ведучого каскаду виконується розрахунок:

- уставки для ведучого регулятора;
- уставки для веденого регулятора;

- необхідного положення виконавчого механізму;
- тривалості імпульсу вмикання виконавчого механізму;
- амплітуди імпульсу вмикання виконавчого механізму;
- частоти імпульсів вмикання виконавчого механізму.

4.5.7 В алгоритмі аналогового регулятора веденого каскаду виконується розрахунок:

- уставки для ведучого регулятора;
- уставки для веденого регулятора;
- необхідного положення виконавчого механізму;
- тривалості імпульсу вмикання виконавчого механізму;
- амплітуди імпульсу вмикання виконавчого механізму;
- частоти імпульсів вмикання виконавчого механізму.

4.5.8 При відмові датчика положення виконавчого механізму відбувається:

- останов системи;
- аварійний останов системи;
- перехід на дистанційне регулювання;
- перехід на ручне регулювання;
- перехід на ШИМ-регулювання.

4.5.9 До задач системи діагностики НЕ відносяться:

- інформування про аварії, несправності і попередження ;
- інформація про статистику простоїв устаткування;
- відображення таблиць продуктивності виробництва;
- поточний графік робочого часу;
- облік відпрацьованого робочого часу.

4.5.10 Аварійне зупинення ТП в автоматичному режимі вмикається:

- у випадку несправності в системі керування;
- у випадку припинення подачі електроенергії;

- при неможливості підтримання контрольованих параметрів в заданих межах;
- при відсутності реакції персоналу на спрацювання аварійної сигналізації;
- за вказівкою керівництва.

4.5.11 Найвищий рівень надійності функціонування апаратури забезпечує

- застосування принципу "пара і резерв";
- принцип "голосування два з трьох";
- "холодне" резервування;
- "гаряче" резервування;
- блок безперебійного живлення (UPS);
- SCADA-система.

6 ПРОГРАМУВАННЯ ЗАСОБІВ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ

6.1 Програмні засоби нижнього рівня КІСУ

6.1.1 Види програмного забезпечення

Програмне забезпечення розділяється на системне і прикладне.

Системне програмне забезпечення складають операційні системи програмованих логічних контролерів (ПЛК) і АРМ оператора.

Операційна система (ОС) – організована сукупність програмних засобів, призначена для керування ресурсами обчислювальної системи. Операційні системи діють як інтерфейс між апаратурою і користувачами і займають найважливіше місце в сукупності сучасних системних програмних засобів. Вони є основою організації обчислювального процесу і визначають ефективність як використання апаратних компонентів системи, так і вирішення поставлених задач.

Прикладне програмне забезпечення (ППЗ) підрозділяється на:

- ППЗ контролерів: непроцедурні технологічні мови, що дозволяють легко реалізувати логічні операції; конфігуратор і бібліотека програмних модулів (модулі математичних функцій, первинної обробки інформації, регулювання). Особливостями ППЗ контролерів є: простота використання технологічних мов; наявність у бібліотеці модулів сучасних досконалих алгоритмів (алгоритми самонастроювання регуляторів, адаптивного керування, нечіткого регулятора й ін.). Деякі контролери можуть виконувати програми, написані мовами високого рівня (C, Pascal, VB).

- ППЗ пультів операторів.

В ППЗ включаються пакети прикладних програм як загального призначення (статистична обробка інформації, експертна система підтримки прийняття управлінських рішень і т.п.), так і об'єктного (раціональне, а іноді оптимальне керування типовими процесами).

Програмна система називається відкритою, якщо для неї визначені і описані використовувані формати даних і процедурний інтерфейс, що дозволяє підключити до неї зовнішні, незалежно розроблені компоненти.

Розробка прикладного програмного забезпечення пультів оператора може здійснюватися двома шляхами: з використанням традиційних мов програмування (C++, Pascal і ін.) чи з використанням існуючих готових інструментальних проблемно-орієнтованих засобів.

Процес створення ППЗ з нуля з використанням традиційних мов програмування для КІСУ є неприпустимо тривалим і складним. Безумовно, немає нічого кращого якісного, добре відлагодженого ППЗ, написаного висококваліфікованим програмістом спеціально для деякого проекту. Але наступну задачу цей програміст вимушений вирішувати знову практично з нуля. Процес створення ППЗ для складних розподілених систем стає неприпустимо тривалим, а витрати на його розробку дуже високими. Сьогодні, в умовах все більш зростаючої частки ППЗ у витратах на створення кінцевої системи і, відповідно, все більшій інтенсифікації праці програмістів, варіант з безпосереднім програмуванням відносно привабливий лише для простих систем або невеликих фрагментів великої системи, для яких немає стандартних рішень (не написаний, наприклад, відповідний [драйвер](#)) або вони в принципі не влаштовують з тих або інших причин. У будь-якому випадку процес розробки власного ППЗ важливо спростити, скоротити часові і прямі фінансові витрати на розробку ППЗ, мінімізувати витрати праці висококласних програмістів, по можливості повертаючи до розробки фахівців в області процесів, що автоматизуються.

Таким чином, сама логіка розвитку сучасного бізнесу в частині розробки ППЗ для кінцевих систем управління вимагає використання все більш розвинених інструментальних засобів типу SCADA-систем. Розробка сучасної SCADA-системи вимагає великих вкладень і виконується в тривалі терміни. І саме тому в більшості випадків розробникам керуючого ППЗ, зокрема ППЗ для АСУ ТП, представляється доцільним йти по другому шляху, набуваючи, освоюючи і адаптуючи який-небудь готовий, вже випробуваний універсальний інструментарій.

6.1.2 Програмування ПЛК

Однією з важливих особливостей сучасного програмного забезпечення ПЛК є те, що можна використовувати різні технологічні мови програмування, передбачені міжнародним стандартом МЕК 6-1131/3. Даний стандарт

розробляється з 1993 року Міжнародною Електротехнічною Комісією (International Electrotechnical Commission) і давно прийнятим як в Європі і в США, так і у всьому світі провідними виробниками засобів автоматизації.

Стандартом МЭК1131-3 визнані 5 мов програмування:

- а) мова крокових діаграм LD;
- б) мова функціональних блокових діаграм FBD;
- в) мова послідовних функціональних схем SFC;
- г) мова структурованого тексту ST;
- д) мова інструкцій IL.

Перші дві мови LD і FBD відносяться до графічних. У цих мовах графічні символи забезпечують пряму відповідність між графічним представленням рішення задачі і програмою, що розв'язує це завдання.

LD (Ladder Diagram) використовує стандартизований набір символів для ступінчастого програмування. По суті, ці діаграми є представленням релейної логіки. Люди, що розуміють релейну логіку, легко можуть програмувати на мові крокових діаграм (рис. 6.1).

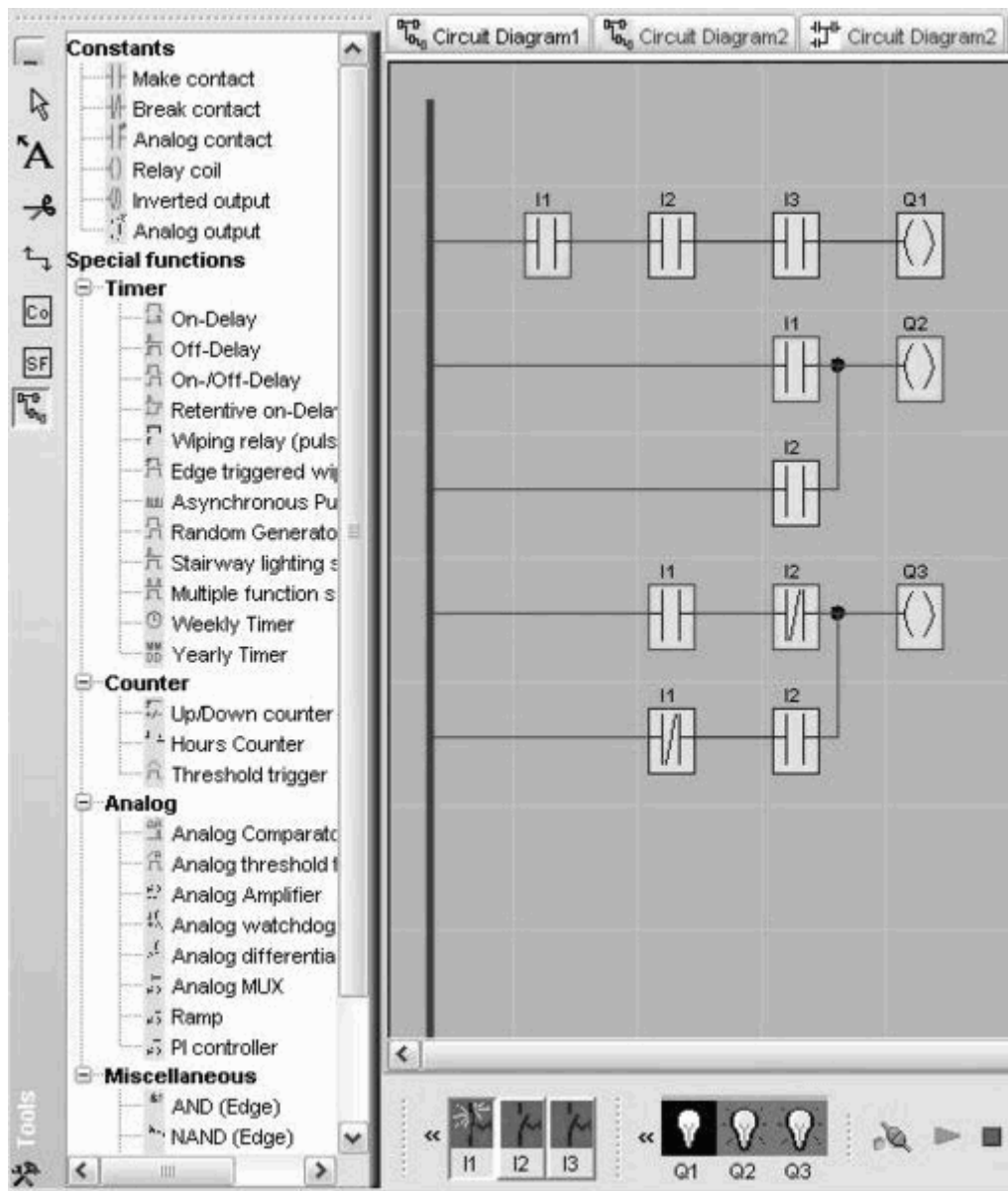


Рис. 6.1

FBD (Function Block Diagram) – це графічна мова, яка повсюдно використовується в Європі. Елементи цієї мови виглядають як блоки, сполучені проводами в електричне коло, роблячи мову зручною для багатьох прикладних програм, що містять передачу інформації або даних між різними компонентами. Функціональні блоки – це програмні об'єкти, які представляють спеціалізовані функції управління, використовувані в системах, що управляють (рис. 6.2).

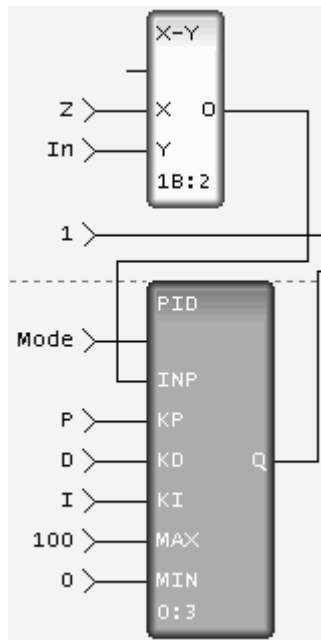


Рис. 6.2

На додаток до графічних мов LD і FBD розроблені елементи мови SFC (Sequential Function Chart) - "кроки", "переходи" і "блоки операцій", які можуть бути використані для організації "операцій", написаних будь-якою мовою, для отримання алгоритмів послідовного управління.

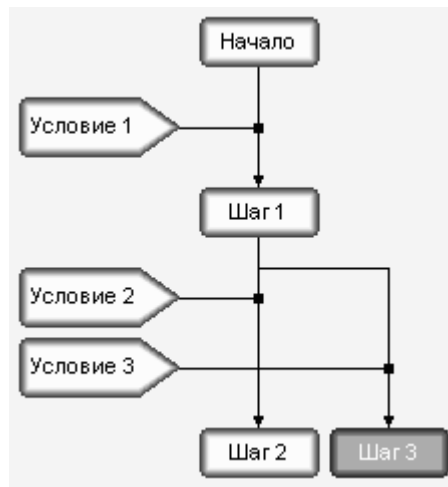


Рис. 6.3

IL (Instruction List) - це мова низького рівня, що нагадує Асемблер (рис. 6.4). Використовується для програмування контролерів з низькою обчислювальною потужністю. Програми IL легко транслюються в машинні коди будь-якого процесора, що дозволяє створювати дуже швидкі програми.

```

ADD VAR_000 2.6
LT VAR_000 VAR_001
JMPC label1
GT VAR_001 20
JMPC label2
LD 278
label1:
CALL FUNCTION1(VAR_000, 3)
label2: ST VAR_001

```

Рис. 6.4

ST (Structured Text) - це мова високого рівня, схожа на Паскаль. Розроблена для структурного програмування. Мова ST надає булеві і арифметичні оператори, а також конструкції структурного програмування, такі, як IF... THEN ELSE, CASE, WHILE DO, а також REPEAT...UNTIL, зрозумілі будь-якому програмісту (рис. 6.5).

```

PROGRAM
  VAR_INPUT ARG_000 : REAL; END_VAR
  VAR_INOUT ARG_001 : REAL; END_VAR

  WHILE ARG_000 > 2 DO ARG_000 = ARG_000-1;
  ARG_001 = ARG_001 + 2;
  END_WHILE;

END_PROGRAM

```

Рис. 6.5

Всі мови передбачають механізми інкапсуляції даних і операцій. Наприклад, якщо користувач хоче знову і знову застосовувати одну і ту ж послідовність функцій управління, він може виділити її у функціональний блок, помістити цей функціональний блок в "бібліотеку", а потім встановити копії цього функціонального блоку стільки раз, скільки буде потрібно для програм, що управляють. Простим прикладом такого функціонального блоку є блок усунення "брязкоту" контактів ("Debounce") має один і той же зовнішній інтерфейс, незалежно від мови, використовуваної для внутрішньої реалізації (рис. 6.6). Це сильно спрощує програмування. Опис зовнішнього інтерфейсу блоку (рис. 6.6, а) може бути повністю відокремлений від його внутрішньої реалізації. Як показано на рис. 6.6 b)-e), ця реалізація може бути виконана на будь-якій мові (або навіть на якому-небудь іншому стандартній мові, такій, як С або Паскаль).

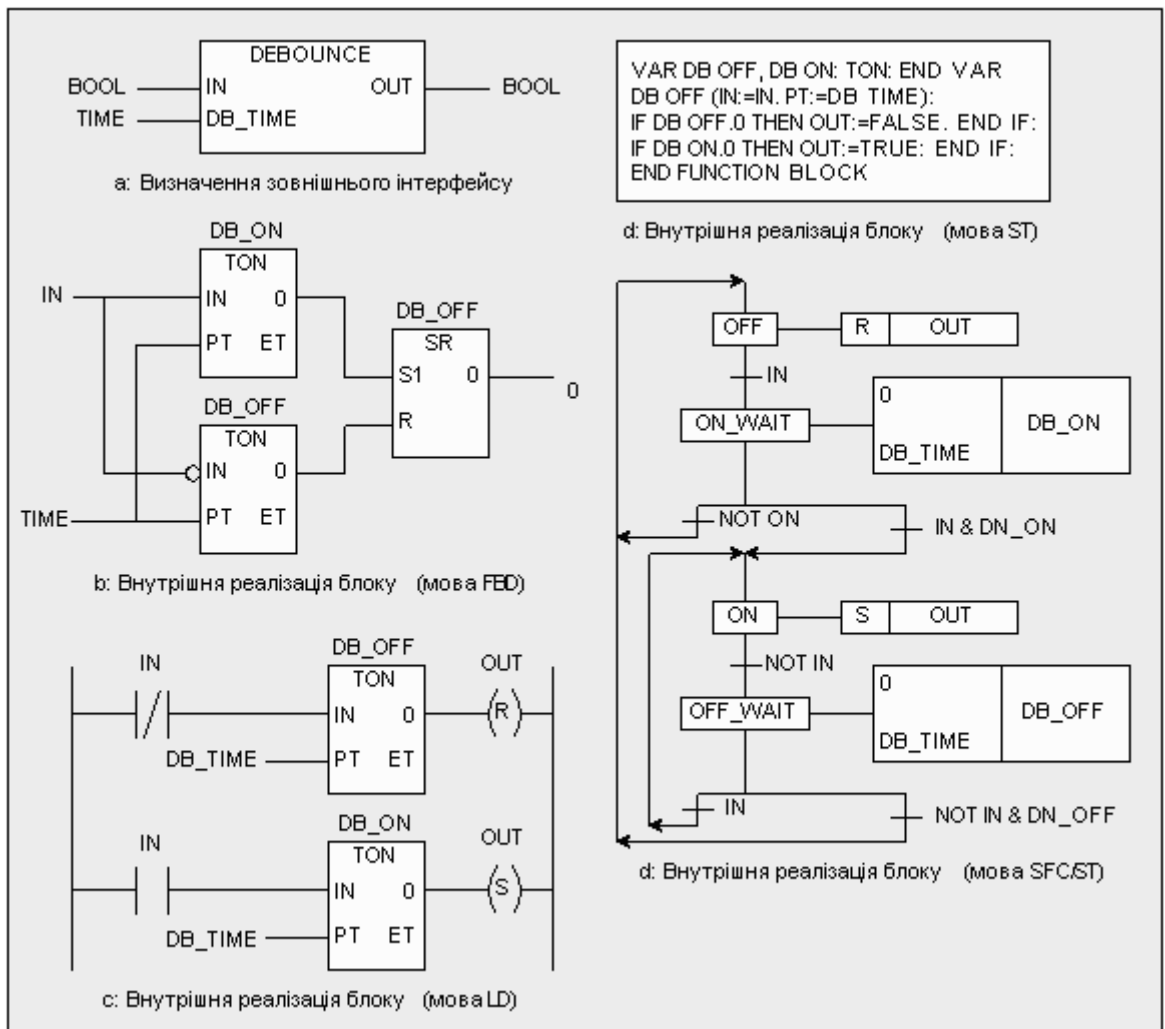


Рис. 6.6

Кожна з мов має свої особливості і пристосована для розв'язання тих чи інших задач. Наприклад, мова крокових діаграм має переваги при реалізації алгоритму керування, який раніше був реалізований на релейно-контактних схемах. Мова функціональних блоків найбільш зрозуміла для фахівців, які мають великий досвід створення систем з окремих функціональних блоків – таймерів, лічильників, блоків арифметичних операцій і т.д. Якщо у програмі користувача необхідно виконувати велику кількість операцій з обробки інформації, краще використовувати мову структурованого тексту.

Раніше основним технічним засобом для програмування ПЛК були спеціалізовані пульти керування, Вони використовувались як у вигляді вбудованих в ПЛК блоків, так і у вигляді окремих технічних засобів, які приєднувались до ПЛК в процесі програмування. Ці пульти використовувались також при відлагоджуванні програм, виконанні процедур діагностики і тестування ПЛК.

Сучасні термінали програмування на базі персональних комп'ютерів мають суттєві переваги над пультами програмування. Для програмування контролерів використовується спеціальне програмне забезпечення, основним завданням якого є створення максимальних зручностей для програмування і відлагоджування програм. Процедури програмування замінюються на більш прості процедури конфігурування, що дає можливість користувачу, не входячи в тонкощі програмування, забезпечувати виконувати досить складних процедур.

Програмні термінали дають можливість використовувати для різних за алгоритмами задач різні технологічні мови. А вже при записі програми у ПЛК різні фрагменти програми поєднуються в один машинний код.

6.1.3 Програмні продукти, призначені для програмування контролерів

6.1.3.1 Trace Mode

Програмний продукт Trace Mode (надалі ТМ). розроблений фірмою AdAstra Research Group, Ltd., Росія.

Основна особливість - це наявність у складі пакету не тільки програмного редактора, але і редактора візуалізації і представлення даних. Таким чином, користувач дістає можливість не просто запрограмувати контролер, але і в рамках загального середовища розробки реалізувати SCADA функції для ПК АРМ верхнього рівня системи управління. Базова версія ТМ, що поставляється з контролерами, функціонує під управлінням Windows, в якій здійснюються всі роботи із створення виконавчих модулів

Інформаційні потоки в ТМ настроюються за допомогою бази каналів. Тип, підтип і інші характеристики каналів визначають джерела або приймачі даних (контролери, модулі УСО, системні змінні і ін.). У каналах передбачена первинна і вихідна обробка даних. Решта всіх завдань по обробці даних і управлінню розробляється у вигляді окремих програм. Для цього передбачена мова ТехноFBD - одна з п'яти стандартних мов ІЕС-1131. Ця мова призначена для розробки алгоритмів управління у вигляді діаграм функціональних блоків.

Створені на ній програми можуть викликатися з процедур каналів. Бібліотека алгоритмів містить більше 150 блоків обробки даних і управління.

Підтримуються не тільки всі стандартні операції редагування, але і деякі специфічні, наприклад, створення блоку з FBD-програми з подальшою можливістю його збереження і багатократного використання. Підтримуються стандартні функції візуальної відлагоджування програм в режимі їх емуляції (покрокова, безперервна, з можливістю зміни значень змінних і констант). При відлагоджуванні дуже допомагають блоки генерації сигналів різного вигляду (бітовий меандр, що біжить, випадкові величини, синусоїда і сигнал, що зростає, послідовності одиниць із заданою ймовірністю та ін.) і блоки візуалізації дискретних і аналогових змінних у вигляді чисел і графіків. Важливою функцією ТМ є можливість використання зовнішніх призначених для користувача блоків, розроблених на мові Сі.

6.1.3.2 UltraLogik

Програмний продукт UltraLogik фірми Прософт, Росія, орієнтований на розробку ПЗ для систем збирання даних і управління, що виконується на PC-сумісних контролерах і промислових комп'ютерах з відкритою архітектурою. Як основна мова програмування використовується мова функціональних блокових діаграм (FBD). Окрім цього, UltraLogik надає можливість виконувати програмні модулі, написані на С, Паскалі або Асемблері. При цьому зовні така програма виглядає як звичайний функціональний блок, призначення входів і виходів якого визначає користувач.

Система складається з підсистеми програмування, що працює в середовищі MS Windows, і підсистеми виконання, що працює в середовищі MS DOS версій 3.3 і вище. З погляду користувача, UltraLogik є могутньою і в той же час простою і звичною у використанні інструментальною системою, при роботі з якою істотно скорочується час проектування програм.

Базова програмна концепція припускає побудову проекту як ієрархічного дерева програм, що полягають один з одним в певних відносинах. Система

містить широкий вибір функціональних блоків, демонстраційних проектів і моделей об'єктів регулювання

6.1.3.3 Good Help

Ще один продукт з Росії - Good Help. Інтегроване інструментальне середовище Good Help (фірма ІКОС, Росія) проектувалося для програмування для розподілених систем I-7000, проте, володіючи відкритою архітектурою і наявністю підтримки обміну через OPC-сервер, може бути використана і для програмування інших PC-сумісних контролерів. Середовище Good Help використовує графічну об'єктну орієнтовану мову функціональних блоків і модульну структуру проекту. Бібліотека блоків містить достатньо обширний комплект алгоритмів, а наявність можливостей дописувати на мові C призначені для користувача алгоблоки дозволяє розглядати Good Help як функціональний повний засіб для вирішення завдань регулювання і логічного управління.

До складу системи входить середовище розробки проекту (Windows-додаток), що включає не тільки редактор FBD, але і простий редактор відображення інформації, а також виконавче середовище під DOS. В процесі розробки проекту користувач може використовувати вбудовані засоби відлагоджування і тестування, у тому числі і в режимі безпосереднього виконання програмного модуля в контролері. Підключені до ПК контролери виявляються середовищем автоматично, а процес перенесення готової програми в контролер гранично спрощений.

6.1.3.4 Технологія IsaGRAF

Технологія IsaGRAF була запропонована французькою фірмою GInternational

ISaGRAF Workbench 3.46 здатний компілювати виконувани додатки під MiniOS7 і містить редактори всіх стандартних п'яти мов програмування. Крім того, пакет включає ще одну графічну мову – FC (мова потокових діаграм), що описує послідовні логічні перетворення і візуально повторює метод графічного

представлення блок-схем алгоритмів. Проект представлений у вигляді ієрархічного дерева програм і підпрограм, розбитих на логічні секції по циклічності виконання. Так якщо необхідно, щоб деяка математика виконувалася на початку кожного циклу контролера відразу після опиту входів, то відповідна програма розміщується в секції 'BEGIN". Кожна з програм використовує тільки одну мову, яка вибирається при її створенні і надалі не може бути змінений. Найчастіше мова SFC є основною в проекті, оскільки вона використовується для опису операцій послідовності виконання кроків, решта мов зазвичай описує дії усередині кроків і логічні умови для переходів.

Можливості програмування не обмежуються використанням тільки мов програмування PLC, але доповнюються можливостями прямого виклику Сі-функцій, а також можливостями доповнювати стандартні бібліотеки пакету функціональними блоками, написаними на Сі.

Основна особливість пакету полягає в тому, що користувач має можливість описувати алгоритм виконання проекту в зручному для себе вигляді. Тобто, залежно від типу вирішуваних задач набір програм одного контролера може містити секції, написані на графічних мовах і/або підготовлених в текстовому вигляді. Надалі інструментальне середовище компілює всі програми, складові проект, в один виконуваний файл.

Для реалізації безперервних алгоритмів аналогової обробки даних, наприклад, цифрове регулювання, найзручніше скористатися мовою функціональних блоків FBD. Завдання крокового послідовного управління, наприклад формування циклограми роботи періодичного устаткування, найзручніше представити у вигляді програми на SFC або FC. Складні математичні розрахунки доцільніше реалізувати на текстовій мові високого рівня ST. При необхідності доповнити стандартну бібліотеку функціональних блоків своїми функціями, будь-який інженер здатний скористатися текстовою мовою низького рівня.

Під час переходу систем, що управляють, побудованих на базі електричних релейних схем, на мікропроцесорну платформу, незамінною

виявиться мова LD. Зрештою, якщо є бажання скористатися власними розробками на Сі, ISaGRAF дозволить користувачеві підключити свої функції і блоки.

* * *

Розглянуті пакети здатні готувати виконувани додатки під DOS (як найбільш популярною операційною системою для PC-сумісних контролерів) і ефективно працювати за умови наявності недорогих апаратних ресурсів (CPU від 20–40 МГц, RAM від 256К, FLASH-диск від 512К).

При виборі того або іншого інструменту, слід оцінювати основні споживчі характеристики продукту:

- а) зручність інтерфейсу оператора і розробника;
- б) ефективність розробки, тобто можливий виграш в часі і економія ресурсів, що досягаються в процесі розробки;
- в) надійність функціонування ПЗ при розробці і особливо при рішенні задач управління на об'єкті;
- г) доступність і якість технічної підтримки, динамічна адаптація до запитів користувачів;
- д) мова інтерфейсу, якість супровідної документації;
- е) кінцева вартість як інструментального середовища, так і виконуваних модулів.

Широке впровадження новітніх мережевих технологій, стандартних мов програмування, використання універсальних драйверів і інтерфейсів додатків приводить до взаємного впливу і зближення характеристик програмного забезпечення.

6.1.4 Операційні системи реального часу

На теперешній час найбільш поширеними ОС є Microsoft Windows і UNIX. Під їх керуванням працюють більшість серверів і робочих станцій. Але для використання в керуючих обчислювальних пристроях нижніх рівнів на перший план виходять вимоги можливості роботи в режимі реального часу.

Системою реального часу (СРЧ) вважається апаратний-програмний комплекс, що реагує протягом передбаченого часу на непередбачуваний потік зовнішніх подій таким чином, що:

- система реагує на подію на об'єкті протягом часу, критичного для цієї події;
- система реагує на декілька подій, що одночасно відбуваються, протягом інтервалів часу, критичних для цих подій.

Часова затримка від одержання вхідного сигналу до видачі вихідного повинна бути малою, щоб забезпечити прийнятний час реакції на незаплановані події. Критичність події визначається об'єктом і самою подією. Відсутність необхідної реакції протягом передбаченого часу вважається помилкою для операційних СРВ (ОСРВ).

Розрізняють системи реального часу двох типів – жорсткого реального часу і м'якого реального часу. Системи жорсткого реального часу не допускають затримок реакції ні за яких обставин, оскільки вартість запізнення може опинитися нескінченно велика. До систем жорсткого реального часу відносяться бортові системи управління, системи аварійного захисту, реєстратори аварійних подій. Системи м'якого реального часу характеризуються тим, що затримка реакції не буває критичним чинником, хоч і може збільшувати вартість досягнення результату роботи системи і зменшувати продуктивність системи в цілому.

Основними критеріями, які приймаються до уваги при виборі ОСРВ, відносяться:

- час реакції системи на події, пов'язані з об'єктом;
- можливість створення бездискової конфігурації системи;
- час перезавантаження системи;
- наявність інструментальних засобів;
- наявність необхідних драйверів пристроїв;
- економічні параметри.

Відмітимо, що побудова апаратний-програмного комплексу реального часу завжди вимагає конкретних розрахунків параметрів.

Представлені на ринку програмні засоби можна умовно розділити на операційні системи, спеціально розроблені для роботи в реальному часі, і операційні системи з додатковим програмним кодом, що підтримує роботу в реальному часі.

Для побудови систем реального часу використовуються мови програмування реального часу (МП РЧ) та операційні системи реального часу (ОС РЧ).

ОС РЧ - це система, яка обслуговує зовнішні процеси, що розвиваються у пристроях, що працюють в комплекті з ЕОМ, що мають тверді обмеження на час відповіді. Діями ОС РЧ керують переривання від зовнішніх процесів; якщо вони не будуть швидко оброблені (у залежності від процесу протягом мікро-, мілісекунд чи секунд), то хід зовнішнього процесу може спотворитися. Ці системи часто проектуються для окремого застосування, наприклад, для керування конкретним технологічним процесом.

Для побудови ОС РЧ у сучасному програмуванні використовуються такі базові програмні засоби як МП РЧ, ОС РЧ загального призначення, спеціалізовані і мінімізовані ОС. Сучасні версії процедурно-орієнтованих мов традиційного типу Pascal і C мають можливості побудови системних програм з використанням убудованої чи прикомпонованої мови Асемблер, що при достатньому досвіді програміста дозволяє одержувати найбільш ефективні програми. З огляду на орієнтацію на використання стандартних протоколів мереж, специфікації яких оформляють мовою C, найчастіше саме його вибирають як базову мову програмування ОС РВ у сполученні з мовою Асемблера базового процесора системи РВ.

Основу втілення системи реального часу складає ОС РЧ чи спеціалізовані керуючі програми, об'єднані в спеціалізовану ОС. Використання універсальних ОС РВ у повному обсязі для випадку різних конфігурацій систем керування як на основі багатопроцесорної системи, так і у формі автоматизованого робочого місця (АРМ) з контролерами є недоцільним. Причиною є ієрархічна надмірність універсальних ОС, яка забезпечує можливість підключення засобів налагодження програм і інших засобів полегшення праці програміста. Тому використовуються спеціалізовані ОС РЧ, розраховані на вирішення вузького кола задач.

Кожна спеціалізована ОС проектується з урахуванням доступних ресурсів і повного обсягу пам'яті, необхідного для виконання оперативних задач.

Особливі вимоги до ОС РВ керуючих систем:

а) оперативна взаємодія (обмін) із блоком керування на базі зворотного зв'язку за результатами керування;

б) підтримка стратегії керування з мінімально можливим простим основною устаткування системи керування;

в) можливість реконфігурації структури і перерозподіл задач між процесорами.

У режимі оперативної роботи повинні розв'язуватись наступні спеціальні задачі:

а) видача керуючих сигналів на контролери чутливих елементів і виконавчих пристроїв;

б) приймання запитів на обслуговування віддалених користувачів.

в) взаємодія з іншими комп'ютерами мережі, що забезпечують технологічну підготовку й інформування про стан керованого технологічного процесу.

г) тестування стану обчислювального комплексу і пристроїв системи керування;

д) реініціалізація ОС при виявленні особливих ситуацій.

На сьогодні найбільш широко розповсюдженими ОС РЧ є OS9/OS9000, QNX, VxWorks, LinxOS, VRTX, pDOS, RTOS-32. Останнім часом розширюється область застосування як системи реального часу операційних систем Windows NT із промисловою надбудовою, Windows CE.

6.2 Програмні засоби верхнього рівня КІСУ

6.2.1 Технологія OPC

Проектувальники КІСУ мають справу з абсолютно новим класом задач – інтеграційних, пов'язаних з об'єднанням потоків інформації від різномірних локальних систем збору даних і управління технологічними об'єктами. Рішенню подібних задач перешкоджають численні труднощі, по-перше, пов'язані з несумісністю локальних систем (по форматах даних, по підтримуваних інтерфейсах і протоколах обміну), по-друге, в більшості випадків йдеться про об'єднання територіально розподілених систем, і тут на перший план виходять питання організації передачі даних, що рідко зустрічаються при впровадженні локальних АСК ТП.

Крім того, при побудові масштабних систем збору даних і управління досить часто зустрічаються задачі, для яких не знаходиться оптимального рішення в рамках пропонованих одним постачальником програмно-апаратних

засобів, і знов виникають проблеми сумісності різнорідного устаткування і програмного забезпечення.

Можливість взаємодії різнорідного устаткування і програмного забезпечення забезпечується виробниками програмних засобів шляхом самостійної розробки ними драйверів (програм, що обслуговують окремі периферійні пристрої обчислювальної системи), які інтегруються у програмні пакети. Такий підхід, як правило, веде до наступних проблем:

- збільшення витрат: повинні розроблятися окремі драйвери для кожного підтримуваного пристрою (драйвер повинний враховувати всі особливості конструкції пристрою і роботи його в реальному часі);
- обмежена функціональність драйверів: розроблювачем драйверів часто підтримуються не усі функції відповідного пристрою;
- обмежені можливості розширення і зміни складу компонентів системи автоматизації: унаслідок модернізації апаратної платформи драйвер або взагалі не може більше використовуватися, або може працювати нестабільно;
- конфлікти доступу: різні програми не можуть одночасно здійснювати доступ до тих самих компонентів системи автоматизації, тому що звертання до даних здійснюється через власні драйвери, робота одного з яких у кожен момент часу блокує можливість роботи всіх інших.

Вирішити ці проблеми можуть виробники апаратних компонентів КІСУ, розробивши власні драйвери, оснастивши їх спеціальними стандартизованими інтерфейсами, щоб програми різних виробників програмного забезпечення могли без проблем їх використовувати.

Велика кількість програм в області промислової обробки даних реалізуються в даний час на базі персональних комп'ютерів під керуванням операційних системам сімейства Windows (Windows 95/98/NT/2000/XP) фірми Microsoft. Для вирішення комунікаційних проблем фірмою Microsoft була запропонована технологія OPC, що стала в даний час промисловим стандартом.

OPC – це аббревіатура від Object Linking and Embedding for Process Control, що в буквальному перекладі означає "технологія зв'язування і

впровадження об'єктів для систем промислової автоматизації". Ця технологія призначена для забезпечення універсального механізму обміну даними між датчиками, виконавчими механізмами, контролерами, пристроями зв'язку з об'єктом і системами представлення технологічної інформації, оперативного диспетчерського управління, а також системами управління базами даних.

Через інтерфейси OPC одні програмні системи можуть читати чи записувати дані в інші програмні системи, обмінюватися подіями, оповіщати одна одну про позаштатні ситуації (тривоги), здійснювати доступ до даних, зареєстрованих в архівах («історичні» дані). Ці програмні системи можуть розташовуватися як на одному комп'ютері, так і бути розподіленими по мережі. При цьому незалежно від фірми-постачальника стандарт OPC, визнаний і підтриманий усіма ведучими фірмами-виробниками SCADA-систем і устаткування, забезпечить їхнє спільне функціонування. Особливий клас являють собою OPC-сервери конкретних апаратних пристроїв – вони поставляються багатьма виробниками апаратних засобів.

OPC-сервер є програмним середовищем, що забезпечує одночасний уніфікований спосіб доступу до даних для різних програмних пакетів, в тому числі для SCADA-систем різних виробників програмного забезпечення.

OPC-сервер створює свого роду абстракцію апаратури, дозволяючи будь-якому OPC-клиенту записувати і зчитувати дані з пристрою. Пристрій, для якого існує OPC-сервер, може використовуватися разом з будь-якою сучасною SCADA-системою.

OPC-інтерфейс допускає різні варіанти обміну: отримання сирих даних з фізичних пристроїв, з розподіленої системи управління або з будь-якої прикладної програми (рис. 6.7).

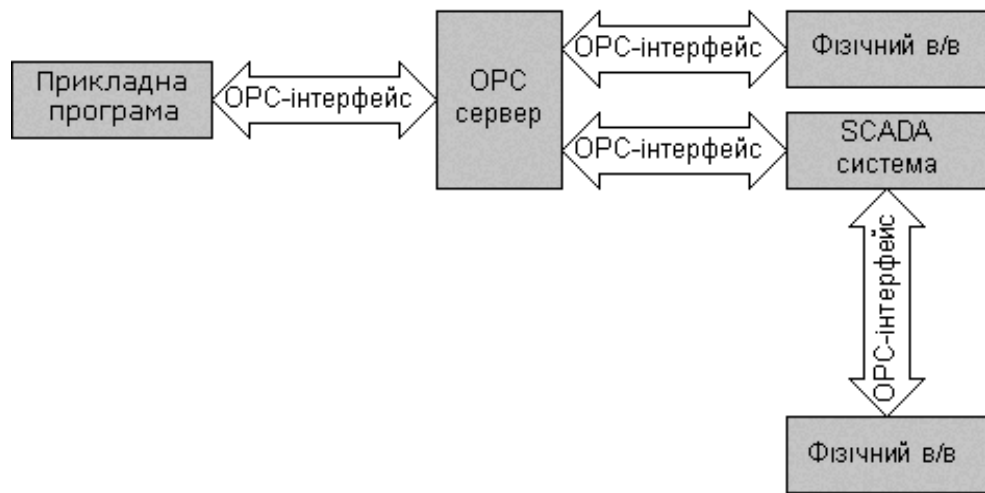


Рис. 6.7

Іншими словами, дана технологія дозволяє забезпечити єдиний механізм доступу до первинних датчиків і виконавчих механізмів з верхнього програмного рівня SCADA-системи. Таким чином, виробники апаратних засобів, користуючись специфікацією OPC, мають можливість забезпечити явну сумісність своєї продукції верхнього рівня за допомогою реалізації OPC-драйвера, зрозуміло, якщо SCADA-система "OPC-сумісна".

Тепер у розроблювачів програмного забезпечення відпадає необхідність написання нових драйверів, якщо внаслідок модернізації деякого апаратного компонента змінюється набір функцій доступу до її даних. Користувачі одержують велику свободу вибору при конфігуруванні і підборі апаратних засобів вирішення задач автоматизації.

6.2.2 Програмний продукт “КОНТУР OPC сервер II”

6.2.2.1 Призначення і область застосування

“КОНТУР OPC сервер II” призначений для забезпечення обміну даними з устаткуванням в системах автоматизованого контролю і управління технологічним процесом, зберігання і обробки їх в базі даних реального часу. Він може застосовуватися як для реалізації невеликих систем автоматизації з одним-двома АРМ оператора, так і для автоматизації цехів або виробництва в цілому з виведенням інформації керівництву і технологам. Також сервер застосовний для реалізації диспетчерських в комунальному господарстві або у великих розподілених системах в області енергетики або транспорту.

”КОНТУР OPC сервер II” може використовуватися у складі SCADA систем або із спеціалізованими OPC клієнтами.

Сервер виконує:

- обмін даними між персональним комп'ютером і пристроями технологічного процесу (контролери, модулі введення-виведення, інтелектуальні датчики, виконавчі механізми та ін.) по одному або декільком каналам введення- виведення, з підтримкою різних протоколів;
- ведення бази даних реального часу технологічних змінних;
- архівацію історії зміни параметрів технологічного процесу;
- первинну обробку даних;
- надання набору OPC DataAccess інтерфейсів для доступу до значенням технологічних змінних і значенням їх властивостей;
- надання набору OPC Alarms & Events інтерфейсів для отримання подій і повідомлень при критичних і аварійних ситуаціях
- надання набору OPC History Data Access інтерфейсів для доступу до даним архіву історії зміни параметрів технологічного процесу

6.2.2.2 Архітектура

На рис. 6.8 показана схема, що відображає архітектуру сервера. Центральним вузлом архітектури є база даних реального часу (БДРЧ). Тут зберігаються настройки і поточні значення технологічних змінних.

У робочому режимі, база може обмінюватися даними з устаткуванням різного типу одночасно по декількох каналах передачі даних за допомогою одного або декількох драйверів введення\висновку, які реалізують протоколи обміну.

На верхньому рівні, сервер надає інтерфейси OPC DataAccess і OPC Alarms&Events для доступу до даним реального часу і даним про критичні і аварійні ситуації. Крім того, зміни значень параметрів можуть записуватися в архів історії параметрів технологічного процесу. Архів, у свою чергу, доступний по інтерфейсах OPC Historical DataAccess.

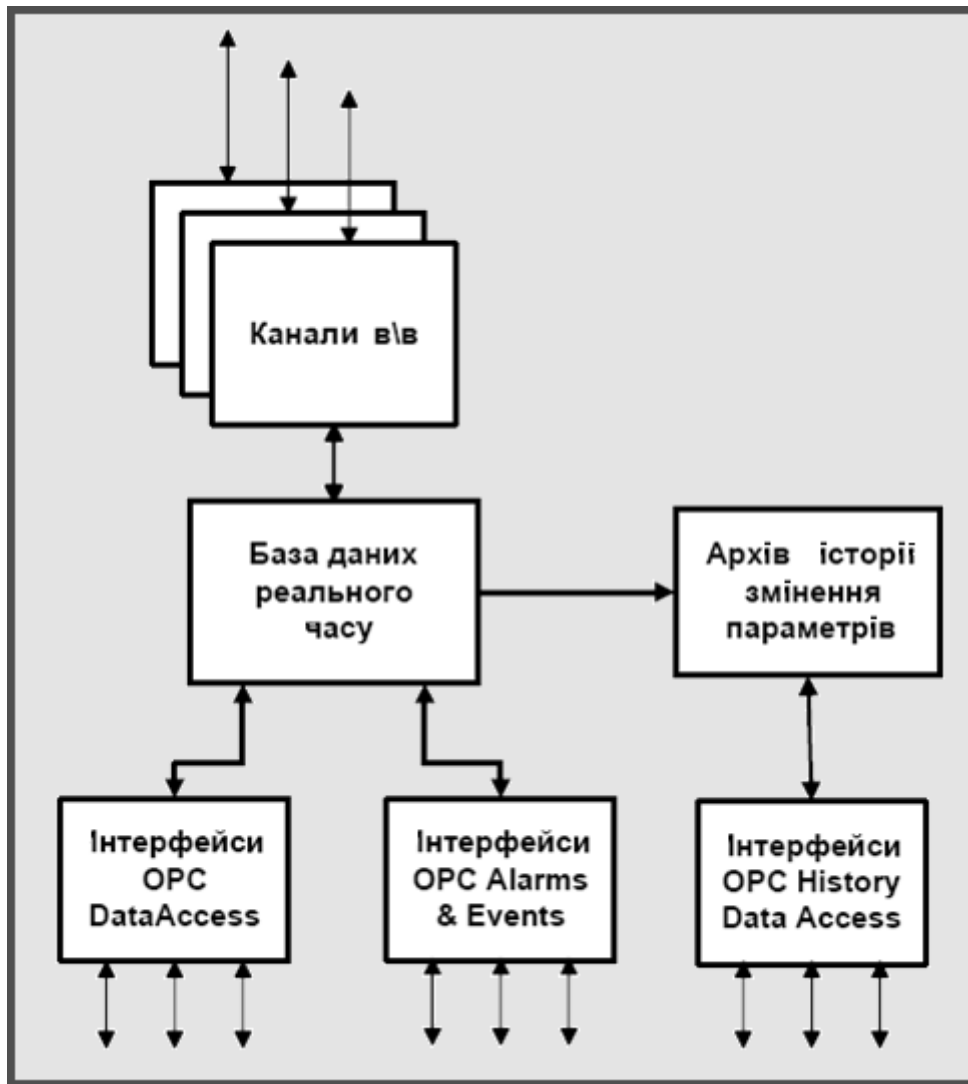


Рис. 6.8 – Архітектура OPC-сервера КОНТУР

6.2.2.3 Принцип роботи сервера

Із заданою для кожного каналу періодичністю, сервер проводить обмін даними з технологічним процесом. В результаті, значення технологічних змінних, змінених клієнтськими додатками передаються в контроллери, а значення технологічних, що змінилися параметрів записуються в базу даних реального часу БДРЧ, де проводиться попередня обробка даних.

Дані про значення технологічних змінних і їх властивостей, в реальному часу, доступні по інтерфейсах OPC Data Access. При чому, в сервері реалізовано два режими взаємодії - синхронний і асинхронний. У синхронному режимі, для читання даних, клієнт винен сам опитувати сервер, а в асинхронному - сервер викликає клієнт і передає йому ті значення технологічних змінних, які змінилися.

БДРЧ призначена для збереження настройок підключень фізичних пристроїв (контроллерів, модулів введення-висновку), настройок для попередньої обробки даних і настройок для запису історії. БДРЧ складається з двох ієрархій: фізична і логічна.

Дані про значення настройок (властивостей) технологічних змінних бази даних реального часу, як і дані про значення самих змінних доступні по інтерфейсах OPC. Імена властивостей формуються з імені змінної з додаванням крапки і текстового ідентифікатора властивості в кінці. Приклади ідентифікаторів властивостей технологічних змінних:

- Adress – адреса змінної в контроллері;
- Quality – якість змінної (192 - добре, 0 - немає зв'язку зі змінною);
- VDate – дата останньої зміни змінної;
- Legend – короткий текстовий опис змінною;
- Units – розмірність змінної;
- Vtype – тип змінної;
- ScaleType – тип масштабування змінної;
- SignDigits – число цифр після коми, яке потрібно відображати на мнемосхемі при відображенні значення змінної;
- LowLowAlarm – нижня аварійна межа змінної;
- LowAlarm – нижня технологічна межа змінної;
- HiAlarm – верхня технологічна межа змінної;
- HiHiAlarm – верхня аварійна межа змінної.

Обробка даних, яка проводиться в сервері перед тим, як видати їх клієнтові або передати в контроллер, призначена для полегшення сприйняття і роботи з цими даними надалі, а також для зменшення кількості дублюючих операцій і алгоритмів.

Сервер виконує такі операції:

- а) масштабування;
- б) визначення “мертвої зони”
- в) визначення аварійних ситуацій згідно величини значення параметра.

Масштабування – це переклад значень величин в контроллері в реальні фізичні значення і навпаки.

Наприклад, в контроллері зберігається значення контрольованої температури як значення напруги, що видається датчиком на АЦП, – 10 В...+10 В. Фізичні ж межі цього параметра 0 °С...400 °С. Якщо в сервер з контроллера поступить значення цього параметра –5 В, то клієнти отримають значення –300 °С. Якщо ж, навпроти, клієнт видасть завдання –300 °С, то в контроллер буде переданий –5 В.

Межі масштабування встановлюються в настройках фізичних і логічних змінних.

Як відомо, на будь-який електричний сигнал накладається завада, звана “білий шум”. Відповідно, без обробки, всі зміни сигналу, що вводяться завадою, відтворюватимуться на моніторі персонального комп'ютера в SCADA системі і зберігатимуться в базі даних. Щоб уникнути цього, введемо “зону нечутливості” або “мертву зону”. Значення “мертвої зони” вводиться в сервері, як відсоток від максимальної зміни параметра. Так, наприклад, візьмемо як параметр температуру. Нехай межі даного параметра будуть –100 °С...+200 °С, а мертва зона 0,1%. Тоді, якщо значення параметра зміниться з 20,2 °С до 20,5 °С, то така зміна зафіксована не буде.

У сервері передбачено чотири критичні рівні для кожного параметра: низький аварійний рівень, низький передаварійний рівень, високий передаварійний рівень і високий аварійний рівень. Перехід через рівень переводить параметр в один з п'яти станів: нормальний, передаварійний або критично низький, передаварійний або критично високий, аварійні низький і високий стани. Про перехід параметра в інший стан сервер оповіщає клієнтів видачею сигналу (події) і текстового повідомлення по інтерфейсах Alarms&Events.

Про критичні і аварійні ситуації, сервер оповіщає клієнтів за допомогою аварійних подій і повідомлень. При цьому, в даному сервері події можуть бути двох типів: загальні і по рівню параметра. Загальні – це як правило події

драйверів, наприклад про проблеми зв'язку або поломки в пристроях. По рівню – це події переходу параметра з одного стану в інший. Події і повідомлення передаються клієнтам по інтерфейсах OPC Alarms&Events.

При настроюванні сервера можна вибрати технологічні змінні, зміни значень яких зберігаються в архіві історії. При цьому зберігається саме значення (ціле або з плаваючою комою) і мітка часу. Для клієнтів дані архіву історії доступні по інтерфейсах OPC Historical Data Access.

6.2.2.4 Функціональні можливості

Сервер реалізує наступні функції:

- обмін даними з різними електронними пристроями технологічного процесу (контролери, модулі введення\виведення) по декількох каналах передачі даних;
- ведення бази даних реального часу з настройками фізичних підключень для набуття значень технологічних параметрів і настройками логічної ієрархії, що відображає технологічну архітектуру системи;
- обмін даними реального часу з клієнтськими додатками по інтерфейсах OPC DataAccess;
- обмін даними реального часу з клієнтськими додатками по інтерфейсах OPC Alarms&Events;
- обмін даними реального часу з клієнтськими додатками по інтерфейсах OPC Historical DataAccess.

У версії програми 2.8 реалізовані наступні драйвери введення-виведення:

- MPI (контролери Siemens);
- E-Link (контролери ELREHA);
- Carel (контролери вентиляції і холоду);
- Crystal (контролери Харківського інституту монокристалів);
- Krohne (витратоміри);
- Modbus serial;
- Modbus TCP/IP;

- OWEN AC2 (драйвер до контролерів OWEN, що працюють по струмовій петлі);
- USS (частотні перетворювачі Siemens і інші прилади).

База драйверів постійно оновлюється. При необхідності, користувач може реалізувати драйвер пристрою, якого немає в списку, самостійно або звернутися до розробників сервера.

Технічні характеристики:

- одночасна робота до 100 каналів введення-виведення;
- до 60 000 фізичних змінних в системі;
- до 5000 DataAccess клієнтів;
- до 5000 Alarms&Events клієнтів;
- до 5000 History DataAccess клієнтів.

6.2.3 SCADA-системи

У таблиці 6.1 перелічені найбільш популярні SCADA-системи.

Таблиця 6.1 – Найбільш популярні SCADA-системи

SCADA-система	Фірма	Країна
Factory-Link	United States DATA Co.	США
InTouch	Wonderware	США
Genesis	Iconics	США
RealFlex	BJ Software Systems	США
SiteX	Jade Software	Англія
FIX	Intellution	США
Trace-Mode	AdAstra	Росія
IGSS	Seven Technologies	Данія
Image	Технолінк	Росія
RSView	Rockwell Software Inc.	США

Через ті вимоги, які пред'являються до систем SCADA, спектр їх функціональних можливостей визначений і реалізований практично у всіх пакетах. Перерахуємо основні можливості і засоби, властиві всім системам і що розрізняються тільки технічними особливостями реалізації:

- автоматизована розробка, що дає можливість створення програмного забезпечення системи автоматизації без реального програмування;
- засоби збору первинної інформації від пристроїв нижнього рівня;

- засоби управління і реєстрації сигналів про аварійні ситуації;
- засоби зберігання інформації з можливістю її подальшої обробки (як правило, реалізується через інтерфейси до найбільш популярних баз даних);
- засоби обробки первинної інформації;
- засоби візуалізації представлення інформації у вигляді графіків, гістограм і т.п.

Основу більшості SCADA-пакетів складають декілька програмних компонентів (база даних реального часу, введення-виведення, передісторії, аварійних ситуацій) і адміністраторів (доступу, управління, повідомлень).

Слід зазначити, що технологія проектування систем автоматизації на основі різних SCADA-систем багато в чому схожа і включає наступні етапи.

- Розробка архітектури системи автоматизації в цілому. На цьому етапі визначається функціональне призначення кожного вузла системи автоматизації.
- Рішення питань, пов'язаних з можливою підтримкою розподіленої архітектури, необхідністю введення вузлів з гарячим резервуванням і т.п.
- Створення прикладної системи управління для кожного вузла. На цьому етапі фахівець в області процесів, що автоматизуються, наповнює вузли архітектури алгоритмами, сукупність яких дозволяє вирішувати задачі автоматизації.
- Приведення параметрів прикладної системи у відповідність з інформацією, якою обмінюються пристрої нижнього рівня (наприклад, програмовані логічні контролери) із зовнішнім світом (датчики температури, тиску і ін.).
- Відлагодження створеної прикладної програми в режимі емуляції і в реальному режимі.

Типовий перелік функцій та вікон дисплею, що реалізуються SCADA-системою, наведений в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Типовий перелік функцій та вікон SCADA-систем

Найменування	Склад
Загальні функції	<ul style="list-style-type: none"> - Вхід в систему - Робочий режим екрану - Вікно системних повідомлень - Ієрархія вікон - Вікно навігатора - Виклик динамічного вікна - Функція циркуляції зображень - Функція обробки сигналізацій - Функції друку копії екрану.
Функції підтримки управління і контролю:	<ul style="list-style-type: none"> - Функції звіту про процес - Функції звіту історичних повідомлень - Функції захисту доступу - Функція голосових повідомлень - Функції підтримання кількох моніторів
Функція прогнозування зміни (трендів) технологічних параметрів	<ul style="list-style-type: none"> - Побудова трендів на екрані - Налаштування тренда - Виведення на дисплей трендів з інших АРМ - Функція архівації довготривалих даних - Функції виходу на зовнішній реєстратор
Стандартні вікна управління і контролю:	<ul style="list-style-type: none"> - Об'єкт управління - Графічні вікна (мнемосхеми) - Графічні об'єкти - Контури управління - Вікно налаштування - Вікно тренда - Вікно сигналізації процесу - Вікно керівництва діями оператора - Вікно контролю повідомлень.
Функції техобслуговування системи	<ul style="list-style-type: none"> - Вікно огляду стану системи управління - Вікно системної сигналізації - Вікно стану станції управління - Вікно налаштування АРМ оператора - Вікно установки часу - Діалог допомоги (Help)
Вікна дисплея стану управління	<ul style="list-style-type: none"> - Вікно схеми управління - Вікно таблиці послідовності управління - Вікно логічної схеми управління - Вікно прикладної програми

SCADA-системи закривають цеховий рівень автоматизації, зв'язаний, перш за все, з отриманням і візуалізацією інформації від програмованих контролерів, розподілених систем управління. Інформація, що поставляється на даний рівень, недоступна на рівні управління виробництвом. Тому важливо відзначити, що деякі фірми розробляють системи управління виробництвом і забезпечують обмін між цими рівнями.

Одна з основних особливостей сучасного світу систем автоматизації є високий ступінь інтеграції цих систем. У будь-якій з них можуть бути задіяні об'єкти управління, виконавчі механізми, апаратура, що реєструє і обробляє інформацію, робочі місця операторів, сервери баз даних і т.д. Очевидно, що для ефективного функціонування в цьому різноманітному середовищі SCADA-система повинна забезпечувати високий рівень мережевого сервісу. Бажано, щоб вона підтримувала роботу в стандартних мережевих середовищах (наприклад, ETHERNET) з використанням стандартних протоколів (TCP/IP і ін.), а також забезпечувала підтримку найбільш популярних мережевих стандартів з класу промислових інтерфейсів (PROFIBUS, CAN, MODBUS і т.д.) Узагальнена схема подібної системи приведена на рис. 6.9.

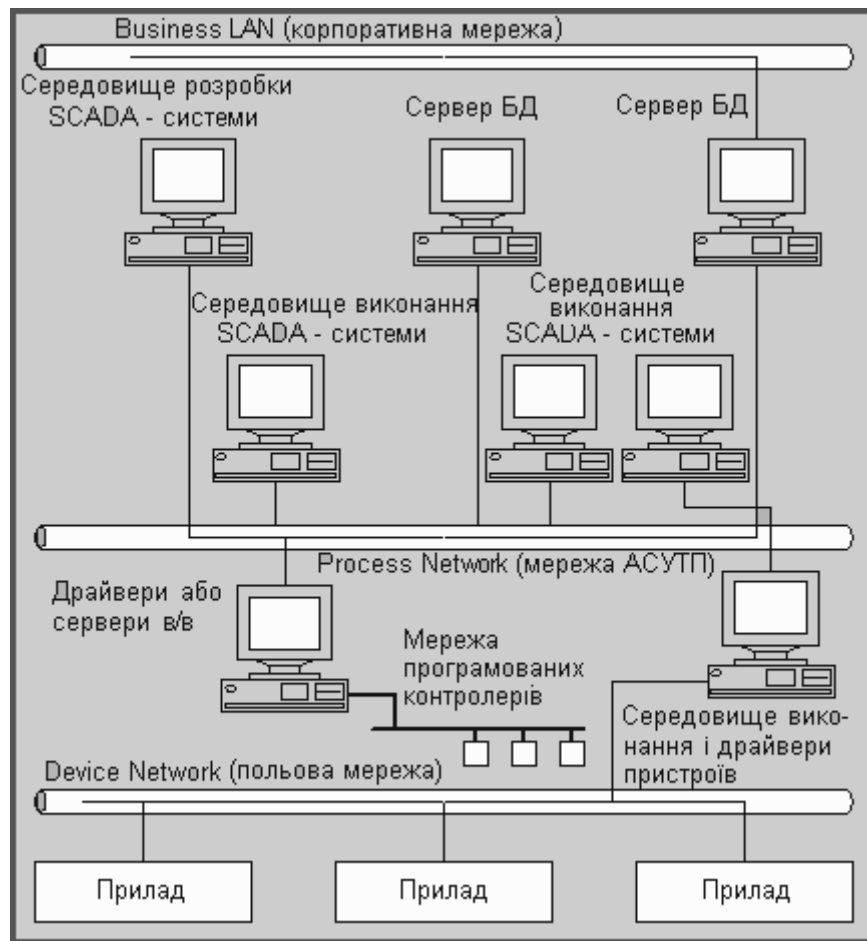


Рис. 6.9

6.2.4 SCADA-система ТРЕЙС МОУД

Ця система являє собою програмний комплекс фірми Adastra, призначений для розробки, настроювання і запуску в реальному часі автоматизованих систем керування технологічними процесами. Усі програми, що входять у ТРЕЙС МОУД, поділяються на дві групи: інструментальна система розробки АСУ і виконавчі модулі (runtime).

Інструментальна система містить у собі два редактори: редактор бази каналів і редактор представлення даних. У цих редакторах здійснюється розробка математичної основи АСУТП, графічних екранних фрагментів для візуалізації стану технологічного процесу і керування ім.

У редакторі бази каналів створюється математична основа системи керування: описуються конфігурації всіх робочих станцій, контролерів і ПЗО, використовуваних у системі керування, настроюються інформаційні потоки між ними. Тут же описуються вхідні і вихідні сигнали і їхній зв'язок із

пристроями збору даних і керування. У цьому редакторі задаються періоди опитування або формування сигналів, настроюються закони первинної обробки і керування, технологічні уставки, структура математичної обробки даних; тут установлюється, які дані і при яких умовах зберігати в різних архівах ТРЕЙС МОУД, і настроюється мережний обмін, а також вирішуються деякі інші задачі. Результатом роботи в цьому редакторі є математична й інформаційна структури проекту АСУТП. Ці структури містять у собі набір баз інформаційних каналів і файлів конфігурації для всіх контролерів і операторських станцій (вузлів) проекту, а також файл конфігурації всього проекту.

У редакторі представлення даних розробляється графічна частина проекту системи керування. При цьому створюється статичний малюнок технологічного об'єкта, а потім поверх нього розміщаються динамічні форми відображення і керування. Серед них такі, як поля виведення чисельних значень, графіки, гістограми, поля введення значень, кнопки переходу до інших графічних фрагментів і т.д. Крім стандартних форм відображення (ФВ), ТРЕЙС МОУД дозволяє вставляти в проекти графічні форми представлення даних чи керування, розроблені користувачами. Усі форми відображення інформації, керування й анімаційні ефекти зв'язуються з інформаційною структурою, розробленою в редакторі бази каналів. Графічні бази вузлів проекту, створені в редакторі представлення даних, зберігаються у спеціальних файлах.

Виконавчі модулі – це програми, під керуванням яких запускається АСУ, створена в інструментальній системі. У групу виконавчих модулів входять наступні програми:

- а) монітори реального часу – МРВ (від російського “мониторы реального времени”);
- б) монітор створення АРМ адміністратора – SUPERVISOR;
- в) монітор глобального архіву – Глобальний реєстратор;

г) мікромонітор реального часу (МикроМРВ) і мікромонітор із підтримкою обміну по лініях, що комутуються – МикроМРВ Модем плюс.

Монітори по п.п. а)–г) призначені для організації роботи верхнього й адміністративного рівнів АСУ. МикроМРВ і МикроМРВ Модем+ призначені для роботи в контролерах нижнього рівня систем керування, за умови наявності в них операційної системи MS DOS.

Монітор реального часу МРВ призначений для запуску на АРМ операторів, що здійснюють з його допомогою супервізорний контроль і керування технологічними процесами. Під керуванням МРВ виконуються наступні задачі:

- запит даних контролерів нижнього рівня про стан технологічного процесу;
- передача на нижній рівень команд керування;
- обмін даними з платами ПЗО;
- збереження даних в архівах;
- обмін по мережі з віддаленими МРВ;
- обмін по лініях, що комутуються, з віддаленими МРВ;
- передача даних по мережі на верхній рівень АСУ;
- представлення оператору графічної інформації про стан технологічного процесу;
- автоматичне і супервізорне керування технологічним процесом;
- обмін даними з іншими програмами WINDOWS;
- обмін з базами даних і інші функції.

Монітор реального часу NetLink МРВ може застосовуватися тільки в складі систем керування, де обмін даними між вузлами системи здійснюється по локальній мережі. Під керуванням NetLink МРВ виконуються такі задачі системи керування:

- запит даних про стан технологічного процесу у віддалених моніторів ТРЕЙС МОУД по мережі;
- передача команд керування по мережі на нижній рівень;

- збереження даних в архівах;
- передача даних по мережі на вищій рівень АСУ;
- представлення оператору графічної інформації про стан технологічного процесу;
- автоматичне і супервізорне керування технологічним процесом;
- обмін з базами даних.

Монітор реального часу NetLink Light дозволяє створювати додаткові робочі місця операторів. Він не підтримує функції обробки даних і автоматичного керування. Даний монітор є додатковою графічною консоллю, що може бути підключена з віддаленого комп'ютера до запущеного МРВ. Таким чином, маючи в мережі один монітор реального часу, можна, використовуючи NetLink Light, створити в мережі необхідну кількість робочих місць, цілком рівноправних із МРВ по функціях відображення і керування.

Монітор SUPERVISOR призначений для створення АРМ адміністратора, він може одержувати дані тільки з архівів. Це можуть бути або локальні архіви МРВ чи NetLink МРВ, або глобальні архіви, що створює Глобальний реєстратор. За допомогою SUPERVISOR неможливо здійснювати оперативне керування процесом. Він реалізує наступні функції:

- а) читання через мережу і відображення в реальному часі значень параметрів технологічного процесу, що заносяться в архіви моніторами реального часу;
- б) перегляд даних з архівів із заданою швидкістю.

По функціях організації представлення даних SUPERVISOR схожий на NetLink Light. Для нього потрібно тільки створення графічної бази. Істотна відмінність SUPERVISOR полягає в тім, що він одержує від МРВ чи Глобального реєстратора архівні значення каналів, а NetLink Light – поточні дані.

Глобальний реєстратор (ГР) призначений для ведення глобального архіву по всьому проекту. Він архівує дані, що посилаються йому по мережі моніторами реального часу. Після збереження даних в архіві Глобальний

реєстратор може передавати їх для перегляду моніторам SUPERVISOR. Архів Глобального реєстратора реалізує технологію сховища даних. Він фіксує значення технологічних параметрів при їхній зміні. У рамках одного проекту може підтримуватися тільки один такий архів. Для організації дублювання глобального архіву треба запустити в мережі ще один монітор Глобальний реєстратор. При цьому обидва ГР будуть приймати дані, що посилаються для архівування, і зберігати у своїх архівах. Дубльований глобальний реєстратор підтримує функції синхронізації архівів при роботі в реальному часі і при запуску.

Даний монітор дозволяє вирішувати наступні задачі:

- прийом через локальну мережу даних, що посилаються для архівування від моніторів реального часу;
- збереження отриманих даних у загальному архіві проекту;
- підтримка відновлення архівних даних з резервного Глобального реєстратора;
- читання з архіву і відображення в реальному часі значень параметрів технологічного процесу;
- аналіз і обробка даних, збережених в архіві;
- обмін даними з іншими програмами WINDOWS;
- обмін з базами даних.

МикроМРВ призначений для керування задачами збору даних і керування в контролерах нижнього рівня АСУТП. Він може бути використаний у будь-яких ІВМ-сумісних контролерах. По можливостях математичної обробки, керування, обміну даними з іншими моніторами ТРЕЙС МОУД МикроМРВ ідентичний монітору реального часу. Однак для нього не реалізовані функції графічного виведення інформації. Задачі для МикроМРВ розробляються в редакторі бази каналів.

При використанні ІВМ-сумісних контролерів у рамках ТРЕЙС МОУД реалізується єдина лінія програмування задач верхнього і нижнього рівнів систем керування. У контролерах дотепер ще використовуються типи

процесорів, що давно вважаються застарілими для застосування в персональних комп'ютерах. Тому існують наступні три модифікації виконавчих модулів МикроМРВ: для процесорів типу І8088; для процесорів типу І80286 і старше без співпроцесора; для процесорів типу І80286 і старше зі співпроцесором.

Функції монітора МикроМРВ Модем плюс збігаються з МикроМРВ. Єдиною його відмінністю є убудована підтримка обміну даними за допомогою модему по каналах, що комутируються, що дозволяє використовувати МикроМРВ для створення віддалених пунктів збору інформації, що обмінюються даними через телефонну мережу.

У системі ТРЕЙС МОУД передбачені драйвери. Драйвер потрібен, якщо протокол обміну даними з використовуваним пристроєм не убудований у систему. Основною функцією драйвера є забезпечення зв'язку ТРЕЙС МОУД із зовнішніми пристроями. Це можуть бути пристрою збору, збереження, обробки, передачі даних (контролери, ПЗО, інший комп'ютер і т.д.) чи які-небудь інші пристрої. Драйвер здійснює узгодження форматів даних ТРЕЙС МОУД і апаратури, для зв'язку з якою він розроблений.

Треба відмітити, що коли монітори Трейс Моуд підключаються до контролерів чи розподілених ПЗО через стандартні інтерфейси ОРС, це істотно знижує продуктивність інформаційних каналів у порівнянні з обміном по штатних протоколах Трейс Моуд з РС-сумісними контролерами, програмованими в Трейс Моуд.

Але якщо вимушено використовуються апаратні засоби, у яких не підтримуються протоколи Трейс Моуд, то часто більш раціональними є використання технології ОРС або розробка спеціалізованих драйверів відповідно до документації на відповідні технічні засоби.

6.2.5 Приклад побудови КІСУ на базі ТРЕЙС МОУД

ТРЕЙС МОУД дозволяє створювати багаторівневі, ієрархічно організовані, резервовані АСУТП. Розглянемо трирівневу систему, що включає рівень контролерів, диспетчерський рівень і адміністративний рівень.

АСУТП рівня контролерів створюється на основі Мікромонітора реального часу (МИКРО-МРВ). Ця програма розміщується в РС-контролері і здійснює збір даних з об'єкту, програмно-логічне управління технологічними процесами і регулювання параметрів по різних законах, а також ведення локальних архівів. Програма веде постійний контроль працездатності ПЗО, мережевих ліній, і у разі їх виходу з ладу автоматично переходить на резервні засоби. За допомогою МИКРО-МРВ можна створювати дубльовані або потроєні системи з гарячим резервом.

Основу диспетчерського рівня управління складають Монітори реального часу (МРВ). МРВ ТРЕЙС МОУД - це сервер реального часу, що здійснює прийом даних з контролерів, управління технологічним процесом, перерозподіл даних по локальній мережі, візуалізацію інформації, розрахунок техніко-економічних показників і статистичних функцій, ведення архівів.

На адміністративному рівні АСУТП використовуються модулі Supervisor. Supervisor надає керівникові інформацію про хід і ретроспективу технологічного процесу, статистичні і техніко-економічні параметри підприємства. Ця інформація може оновлюватися в режимі, близькому до реального часу (затримка 10–30 с). Крім того, Supervisor дає можливість проглядати ретроспективу (здійснювати "плейбек") процесу як фільм на відеомагнітофоні. Графічний "плейбек" архіву дає в руки керівника інструмент контролю роботи диспетчерського комплексу і всього підприємства в цілому.

6.3 Програмні засоби обчислювальних мереж

6.3.1 Види програмного забезпечення мереж

Функції верхніх рівнів еталонної моделі OSI виконують мережеві програмні засоби. Від вибору програмного забезпечення залежить дуже багато що: допустимий розмір мережі, зручність використання і контролю мережі, режими доступу до ресурсів, продуктивність мережі в різних режимах і т.д.

Мережеве програмне забезпечення призначено для організації спільної роботи групи користувачів на різних ПК. Дозволяє організувати загальну файлову структуру, загальні бази даних. Забезпечує можливість передачі повідомлень і роботи над загальними проектами, можливість розділення ресурсів.

Проксі-сервер (Proxy) - це програма для підключення локальних користувачів до мережі Інтернет через одну зовнішню IP-адресу. Дозволяє централізований управляти Інтернет-підключеннями за допомогою гнучкої системи правил (дозволяє задавати правила роботи Інтернет, фільтрувати непотрібну або небезпечну інформацію, контролювати безпеку роботи в мережі.); гнучкі тарифи (можливість відокремлювати різні види трафіку, наприклад, місцевий і зарубіжний) і вести точний облік трафіку .

Міжмережевий екран (брандмауер, firewall) - комплекс апаратних і/або програмних засобів, що здійснює контроль і фільтрацію мережевих пакетів, що проходять через нього. Основним завданням міжмережевого екрану є захист комп'ютерних мереж або окремих вузлів від несанкціонованого доступу. Всі з'єднання з мережею проходять через міжмережевий екран, де вони можуть бути проаналізовані і дозволені або знехтувані.

Спам-фільтр (Spamprotexx, Anti-Spam) - програма для захисту Ваших поштових скриньок від спаму. Результат досягається програмою за рахунок одночасного використання системи оновлюваних в режимі on-line "чорних" списків, використання зразків листів і застосування системи евристичного (інтелектуального смислового) аналізу вхідної кореспонденції.

Антивіруси - це комп'ютерні програми, спеціально створені для пошуку і знешкодження вірусів, спаму, атак хакерів і троянських програм. Антивірус не допустить їх присутності на комп'ютері завдяки постійному контролю над всіма потенційними джерелами проникнення - електронною поштою, Інтернетом, а також зовнішніми носіями інформації.

6.3.2 Функції і характеристики мережевих операційних систем

Управління каталогами і файлами в мережах полягає в забезпеченні доступу до даних, фізично розташованих в інших вузлах мережі. Управління здійснюється за допомогою спеціальної мережевої файлової системи. Файлова система дозволяє звертатися до файлів шляхом застосування звичних для локальної роботи мовних засобів. При обміні файлами повинен бути забезпечений необхідний рівень конфіденційності обміну (секретності даних).

Управління ресурсами включає обслуговування запитів на надання ресурсів, доступних по мережі.

Комунікаційні функції забезпечують адресацію, буферизацію, вибір напрямку для руху даних в розгалуженій мережі (маршрутизацію), управління потоками даних і ін.

Захист від несанкціонованого доступу - важлива функція, сприяюча підтримці цілісності даних і їх конфіденційності. Засоби захисту можуть дозволяти доступ до певних даних тільки з деяких терміналів, в обумовлений час, певне число разів і т.п. У кожного користувача в корпоративній мережі можуть бути свої права доступу з обмеженням сукупності доступних директорій або списку можливих дій, наприклад, може бути заборонена зміна вмісту деяких файлів.

Відмовостійкість характеризується збереженням працездатності системи при дії дестабілізуючих чинників. Відмовостійкість забезпечується застосуванням для серверів автономних джерел живлення, відображенням або дублюванням інформації в дискових накопичувачах. Під відображенням зазвичай розуміють наявність в системі двох копій даних з їх розташуванням на різних дисках, але підключених до одного контроллера. Дублювання відрізняється тим, що для кожного з дисків з копіями використовуються різні контроллери. Очевидно, що дублювання надійніше. Подальше підвищення відмовостійкості пов'язане з дублюванням серверів, що проте вимагає додаткових витрат на придбання устаткування.

Управління мережею зв'язане із застосуванням відповідних протоколів управління. Програмне забезпечення управління мережею зазвичай складається з менеджерів і агентів. Менеджером називається програма, що виробляє мережеві команди. Агенти є програмами, розташованими в різних вузлах мережі. Вони виконують команди менеджерів, стежать за станом вузлів, збирають інформацію про параметри їх функціонування, сигналізують про події, що відбуваються, фіксують аномалії, здійснюють захист від вірусів. Агенти з достатнім ступенем інтелектуальності можуть брати участь у відновленні інформації після збоїв, в коректуванні параметрів управління і т.п.

Програмне забезпечення мережевих ОС розподілене по вузлах мережі. Є ядро ОС, що виконує більшість з охарактеризованих вище функцій, і додаткові програми (служби), орієнтовані на реалізацію протоколів верхніх рівнів, виконання специфічних функцій для комутаційних серверів, організацію розподілених обчислень і т.п. До мережевого програмного забезпечення відносять також драйвери мережевих плат. Для кожного типу ЛВС розроблені різні типи плат і драйверів. У середині кожного типу ЛВС може бути багато різновидів плат з різними характеристиками інтелектуальності, швидкості, об'єму буферної пам'яті.

В даний час найбільшого поширення набули три основні мережеві ОС - UNIX, Windows NT і Novell Netware.

ОС UNIX застосовують переважно в крупних корпоративних мережах, оскільки ця система характеризується високою надійністю, можливістю легкого масштабування мережі. У Unix є ряд команд і програм, що підтримують їх, для роботи в мережі.

ОС Windows NT включає серверну (Windows NT Server) і клієнтську (Windows NT Workstation) частини і, тим самим, забезпечує роботу в мережах "клієнт/сервер". Windows NT зазвичай застосовують в середніх за масштабом мережах.

ОС Novell Netware складається з серверної частини і оболонок Shell, що розміщуються в клієнтських вузлах. Надає користувачам можливість спільно

використовувати файли, принтери і інше устаткування. Містить службу каталогів, загальну розподілену базу даних користувачів і ресурсів мережі. Цю ОС частіше застосовують в невеликих мережах.

6.4 Програмні засоби робочих станцій АСУ ТП

Робоча станція АСУ ТП – це функціонально закінчена система, що включає дисплей, системний блок комп'ютера і повнофункціональну алфавітно-цифрову захищену клавіатуру, які конструктивно об'єднані в компактний блок, призначений для експлуатації у несприятливих умовах (рис. 6.10).



Рис. 6.10

Види робочих станцій:

- диспетчерська робоча станція – комп'ютер, на якому розташовується програмне забезпечення, що дозволяє черговому диспетчерському персоналу управляти і контролювати роботу об'єктів системи;
- технологічна робоча станція – комп'ютер, зазвичай розташований на робочих столах керівників і технічних фахівців підприємства, на якому розташовується програмне забезпечення, що дозволяє керівництву підприємства і технічним фахівцям контролювати і аналізувати роботу об'єктів системи;
- сервер даних системи – комп'ютер, що виконує серверні функції, тобто що не має оператора, який постійно працює на ній, на якому розташовуються

серверне програмне забезпечення, що підтримує роботу програмного забезпечення на інших комп'ютерах системи і служить для зберігання даних системи.

До складу програмного забезпечення робочих станцій входять:

- системний драйвер, який здійснює обмін даними реального часу з розподіленою системою програмованих контролерів;
- сервер системи, який проводить обробку даних системи, веде електронний журнал подій системи і містить логіку роботи системи;
- супервізор системи, який здійснює супервізорне управління і візуалізацію процесів;
- сервер даних системи, який концентрує дані системи;
- сервер підтримки видаленого сегменту системи, який забезпечує роботу системи у видалених локальних мережах;
- модуль диспетчерської робочої станції;
- модуль технологічної робочої станції.

Для програмування робочих станцій можна використовувати SCADA-системи WinCC, ProTool, Intouch.

WinCC (Windows Control Center) – це потужна універсальна SCADA-система, призначена для роботи з контролерами будь-яких виробників. WINCC займає перше місце по продажах в Європі і друге – у світі.

Ключовими особливостями WINCC 6.0 є:

- масштабованість – від недорогих розрахованих на одного користувача систем з 128 зовнішніми тегами до крупних розподілених систем з підтримкою до 12 дубльованих серверів (до 64000 тегов на кожному) і 32 клієнти;
- високопродуктивна система архівації на базі MS SQL Server 2000 (швидкість - до 10000 тегів за секунду);
- можливість написання скриптів на стандартній мові від Microsoft – Visual Basic Scripting, з підтримкою відладки;

- можливість створення макросів на Visual Basic для прискорення розробки проекту;
- опції WebNavigator та Dat@Monitor для доступу до даних АСК ТП за допомогою Internet Explorer;
- повна підтримка стандарту OPC для обміну тегами, повідомленнями і архівами з контролерами і SCADA-системами інших виробників.

Системні керуючі функції забезпечують авторизацію доступу до системи за допомогою зчитувача пластикових карт, синхронізацію за часом доби, вивід на мнемосхему процесу зображень з відеокамери, архівацію даних, ієрархічне відображення процесів і так далі. У системі можуть бути використані робочі станції різного виконання (SIMATIC PC промислового виконання, персональні комп'ютери). З їх допомогою можуть створюватися як прості (з однією робочою станцією), так і складні системи "Клієнт-сервер".

ProTool – це недорога SCADA-система фірми Siemens, призначена для візуалізації невеликих проектів АСОВІ ТП на базі персональних комп'ютерів і операторських панелей (далі – ОП).

ProTool CS є засобом розробки проекту для ОП. Даний засіб реалізує концепцію WYSWYG, тобто при створенні елемента або форми Ви бачите цей елемент саме так, як він виглядатиме на ОП. За допомогою ProTool можна створити і проект для робочої станції, що дозволяє використовувати ProTool як просту SCADA-систему. Проте, оскільки спочатку дане ПО не було призначено для використання на робочій станції, то засоби розробки в ProTool для робочої станції обмежені. При створенні проекту на ProTool ви вибираєте тип ОП або робочу станцію. Після цього створюються нові форми (тобто екрани) і елементи. Прикладом елементів може служити текст, малюнок, стандартний годинник ProTool і тому подібне. Майже у всіх елементів є можливість динамічного завдання атрибутів (колір, місце розташування і так далі), завдяки чому функціональні можливості ProTool сильно розширюються. В ролі змінних в ProTool виступають теги. Причому теги можуть бути як внутрішніми, так і

зовнішніми. У зовнішніх тегів є джерело – контроллер, OPC сервер і так далі, а у внутрішніх його немає (наприклад, в обчислюваних тегів).

InTouch – це додаток-генератор людино-машинного інтерфейсу (НМІ) для систем SCADA і інших систем автоматизації виробництва. InTouch дає можливість користувачам створювати операторські інтерфейси під Windows\

Основні завдання, що вирішуються за допомогою InTouch.

- Автоматичний контроль за станом контрольованих параметрів і генерація сигналів тривоги і видача повідомлень операторові в графічній і текстовій формі в разі виходу їх за межі заданого діапазону.
- Розробка і виконання (автоматичне або за командою оператора) алгоритмів управління виробничим процесом. Складність алгоритмів не обмежена і може бути будь-якою комбінацією з математичних, логічних і інших операцій.
- Контроль за діями оператора шляхом реєстрації його в системі за допомогою імені і пароля, і призначення йому певних прав доступу, що обмежують можливості оператора (якщо це необхідно) з управління виробничим процесом.
- Виведення (автоматично або по команді оператора) керуючих дій в промислові контроллери і виконавчі механізми для регулювання неперервних або дискретних процесів, а також подача повідомлень персоналу на інформаційне табло та ін.
- Автоматичне ведення журналу подій, в якому реєструється зміна виробничих параметрів з можливістю перегляду в графічному вигляді записаних даних, а також ведення журналу аварійних повідомлень.
- Дотримання регламенту виробничого процесу шляхом динамічного завантаження (автоматично або по команді оператора) набору параметрів із заготовлених шаблонів (рецептур) в технологічне устаткування.

- Контроль за якістю продукції, що випускається, шляхом статистичної обробки реєстрованих параметрів.
- Генерація звітів і оперативних зведень.

6.5 Методи підвищення програмної надійності КІСУ

Побудова надійних КІСУ включає комплекс заходів, направлених на захист її від випадкових або навмисних дій, які можуть спричинити порушення запрограмованого процесу управління.

Безпека КІСУ ґрунтується на підтримці таких властивостей інформації, як: конфіденційність, доступність, цілісність. Конфіденційність означає, що секретні дані будуть доступні лише авторизованим користувачам. Доступність гарантує авторизованим користувачам доступ до даних. Цілісність – гарантія збереження правильних значень даних.

Значна увага повинна приділятися питанням захисту інформації. Для побудови надійної системи захисту інформації необхідно:

- а) визначити об'єкти і ресурси КІСУ, що підлягають захисту;
- б) виявити потенційні погрози і канали просочування інформації;
- в) визначити вимоги до системи захисту інформації (виходячи з принципу балансу можливих збитків від втрати інформації і витрат на запобігання крадіжці або втраті інформації);
- г) вибрати засоби захисту інформації і їх характеристики (номенклатура засобів захисту може бути визначена одразу, а їх характеристики логічніше визначати в процесі проектування для кожної групи засобів окремо).

Захист має бути багаторівневим і різноплановим. Особливу увагу треба приділити вибору програмно-технічних засобів захисту.

Програмно-технічні засоби захисту можуть мати 5 рівнів.

Перший рівень. На цьому рівні операційна система дозволяє здійснювати захист інформації індивідуальному користувачеві АРМ на базі традиційних допоміжних утиліт ОС.

Другий рівень. В КІСУ вводять системи ідентифікації і аутентифікації (авторизації) користувачів. Ці системи обмежують доступ до КІСУ випадкових

і незаконних користувачів, оскільки доступ до системи можна отримати лише після введення зареєстрованих імені та паролю.

Третій рівень. У КІСУ забезпечують шифрування даних (захист інформації на дисках). Шифрування може здійснюватися на рівні файлу диска (наприклад, використовуючи архіватор типа ARJ) і на рівні всього диска (наприклад, програма Discreet в пакеті Norton Utilities).

Четвертий рівень. У КІСУ забезпечують шифрування інформації, передаваної по каналах мережі. Шифрування може бути каналним (всієї інформації, включаючи службову) на базі системи OSI (див. п. 3.3.3) і кінцевим для шифрування лише конфіденційної інформації (але не службової).

П'ятий рівень. КІСУ проводить аутентифікацію як автора, так і самої передаваної інформації (тексту) за рахунок використання кодів або електронного цифрового підпису (вітчизняний стандарт ГОСТ 28 147-89).

6.6 Контрольні тестові питання до розділу 6

6.6.1 Програмна система називається відкритою:

- при наявності у бібліотеці модулів сучасних досконалих алгоритмів;
- при можливості виконувати програми, написані на мовах високого рівня;
- при використанні непроцедурних технологічних мов, що дозволяють легко реалізовувати логічні операції;
- якщо для неї визначені і описані використовувані формати даних і процедурний інтерфейс;
- якщо вона розроблена з використанням існуючих готових інструментальних проблемно-орієнтованих засобів;
- якщо вона розроблена з використанням інструментальних засобів типу SCADA-систем.

6.6.2 Яка з мов стандарту МЕК1131-3 відноситься до мов низького рівня:

- мова крокових діаграм LD;
- мова функціональних блокових діаграм FBD;
- мова послідовних функціональних схем SFC;

- мова структурованого тексту ST;
- мова інструкцій IL.

6.6.3 Яка з мов стандарту MEK1131-3 відноситься до мов високого рівня:

- мова крокових діаграм LD;
- мова функціональних блокових діаграм FBD;
- мова послідовних функціональних схем SFC;
- мова структурованого тексту ST;
- мова інструкцій IL.

6.6.4 Яка з мов стандарту MEK1131-3 є представленням релейної логіки:

- мова крокових діаграм LD;
- мова функціональних блокових діаграм FBD;
- мова послідовних функціональних схем SFC;
- мова структурованого тексту ST;
- мова інструкцій IL.

6.6.5 При виборі ОСПВ не є важливим:

- наявність у бібліотеці модулів сучасних досконалих алгоритмів;
- можливість створення бездискової конфігурації системи;
- час реакції системи на події, пов'язані з керуванням;
- час перезавантаження системи;
- час реакції на непередбачуваний потік зовнішніх подій;
- наявність необхідних драйверів пристроїв.

6.6.6 Технологія OPC забезпечує:

- мінімальний час реакції на непередбачуваний потік зовнішніх подій;
- автоматичне перезавантаження системи при збоях;
- універсальність механізму обміну даними між датчиками, виконавчими механізмами, контролерами;
- візуалізацію представлення інформації у вигляді графіків, гістограм і т.п.;
- встановлення і підтримання мережевого зв'язку;
- рішення питань, пов'язаних з підтримкою розподіленої архітектури КІСУ.

6.6.8 Редактор бази каналів SCADA-системи призначений для:

- створення математичної й інформаційної структури АСУТП;
- відображення на екрані роботи інформаційних і керуючих каналів;
- калібрування інформаційно-вимірвальних каналів;
- програмування функцій каналного рівня моделі OSI;
- діагностування інформаційних і керуючих каналів.

6.6.9 Редактор представлення даних SCADA-системи призначений для:

- створення математичної й інформаційної структури АСУТП;
- формування графічних форм представлення даних;
- проектування представлення даних в базах даних;
- редагування нормативної документації на засоби представлення даних;
- діагностування програмних і технічних засобів представлення даних.

6.6.10 Монітор реального часу МРВ використовується в:

- інтелектуальних приладах;
- програмованих контролерах;
- технологічних серверах;
- АРМах операторів
- АРМах служб підприємства.

6.6.11 Засіб, що здійснює контроль і фільтрацію мережевих пакетів, які проходять через нього, називається

- проксі-сервером;
- брандмауером;
- спам-фільтром;
- антивірусним фільтром;
- мережевим сервером;
- мережевим контролером.

6.6.12 Яке програмне забезпечення призначене для стеження за станом вузлів мережі:

- ядро ОС;

- служба ОС;
- драйвер;
- менеджер;
- агент.

7 КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ВИРОБНИЦТВА

7.1 Загальні принципи побудови комп'ютерно-інтегрованого виробництва

Комп'ютерно-інтегроване виробництво (Computer integrated manufactory – CIM) є технологічною системою з складною структурою циркулюючих матеріальних і інформаційних потоків.

Промисловий світ прагне до інформаційної інтеграції. Точна, своєчасна, достовірна інформація на виробництві усе більш визначає продуктивність праці, рівень витрат, якість і конкурентоздатність продукції. Історично процес комп'ютеризації проникав на виробництво одночасно з двох сторін — «зверху» і «знизу». «Зверху» (в офісах) створювалися інформаційні структури, що відповідають за роботу підприємств у цілому. Це автоматизація бухгалтерського обліку, керування фінансами і матеріально-технічним постачанням, організація документообігу й ін. Цей рівень називається плануванням ресурсів підприємства (MRP, manufacturing resource planning).

«Знизу» (у цехах) інформація від різних датчиків насамперед використовувалася для безпосереднього керування виробничим процесом за допомогою різних ПЗО, програмованих контролерів і промислових комп'ютерів. Це рівень (Control Level), на якому замикаються «найкоротші» контури керування виробництвом. Потік інформації від датчиків також надходить на вхід систем SCADA. На цьому рівні (SCADA level) здійснюється оперативне керування технологічним процесом, приймаються тактичні рішення, насамперед спрямовані на підтримку стабільності процесу.

Далі на шляху інформаційного потоку існувала прірва. Очевидно, що первинна інформація з цехів повинна «добиратися» до верхнього рівня, рівня прийняття стратегічних рішень. Очевидно також, що потік сирих даних, без належної обробки, послужить скоріше «інформаційним шумом» для менеджерів і економістів. Необхідною зв'язуючою ланкою виступає новий клас засобів керування виробництвом — MES (Manufacturing Execution Systems), чи

системи виконання виробництва. Упорядкована й оброблена інформація про хід процесу виготовлення продукції, одержувана на етапі збирання й обробки даних, стає доступною верхньому ешелону керування підприємством у реальному часі й у звичній для нього формі.

На початку 90-х років відбулася революція в області автоматизації. З'явилися набори програм для створення джерела даних, що надходять у реальному часі, якими можуть користатися всі працівники підприємства: оператори, інженери і керівники середньої і вищої ланки. В даний час окремі програми інтегруються в єдину систему, що поставляє дані, необхідні для підвищення продуктивності праці і рентабельності виробництва. У результаті з'явилася структура керування, що прийнято зображувати у вигляді піраміди (рис. 6.1).

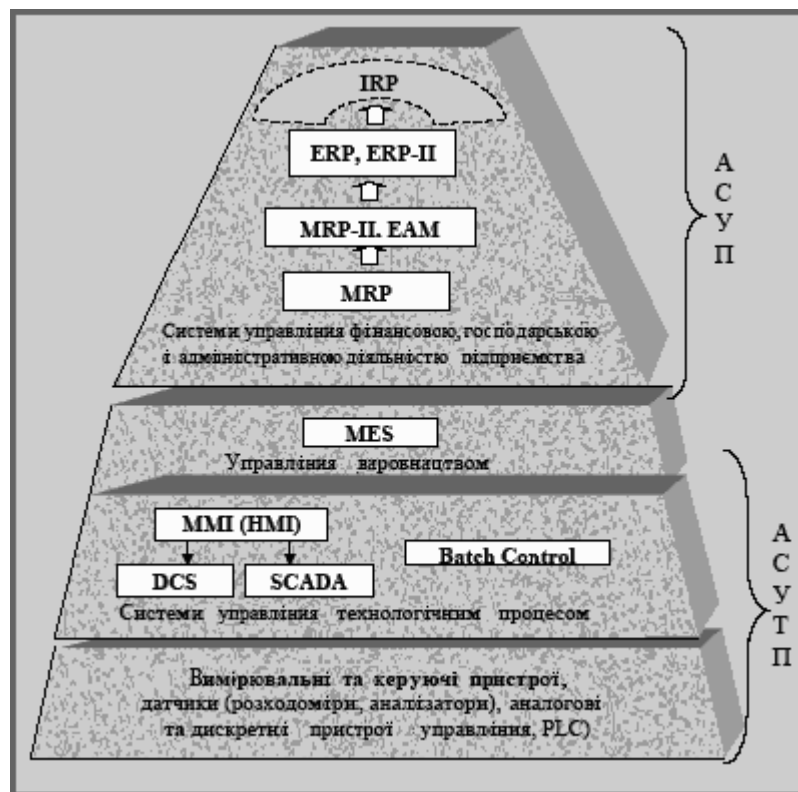


Рис. 7.1

Умовні позначення, що використані на рис. 7.1, наведені в таблиці 7.1

Таблиця 7.1 – Найменування типів автоматизованих систем, використовуваних в КІСУ

Абревіатура	Коротка характеристика
ERP (Enterprise Resource Planning)	Планування Ресурсів Підприємства. Орієнтовані на бізнес-процеси підприємства. Основні завдання: <ul style="list-style-type: none"> • ефективне управління збутом і постачанням; • контроль за фінансовими і матеріальними потоками; • планування випуску продукції.
ERP II (Enterprise Resource & Relationship Processing)	Управління ресурсами і взаєминами підприємства. Доповнює ERP з позицій виходу підприємства в зовнішній світ.
MRP II (Material Requirement Planning)	Планування Потреб в Матеріалах. Орієнтовані на технологічні підрозділи підприємства. Основні функції: бізнес-планування, планування продажів і операцій об'ємно-календарне планування, планування потреби в матеріалах, планування потреби у виробничих потужностях. Крім MRP, включає: планування потреби у виробничих потужностях (CRP – Capacity Requirement Planing), статистичне управління складськими запасами (SIC – Statistical Inventory Control)
EAM (Enterprise Asset Management)	Управління Основними фондами Підприємства. Пропонує найбільш оптимальні і збалансовані рішення в області управління виробничими ресурсами і максимізації експлуатаційної готовності фондів.
MRP (Manufacturing Requirement Planning)	Планування Ресурсів Виробництва. Рішення задач організації виробництва на окремій ділянці (цеху, установці). У основі – використання BOM (Bill of material): склад виробу, специфікація, перелік складальних вузлів і компонент, рецептура, формула, рецепт, список інгредієнтів і т.д.
IRP (Intelligent Resource Planning)	Інтелектуальне планування ресурсів. Є розвитком ERP і MRP II, характеризується динамічною адаптацією до завдань підприємства, що змінюються, і оперативною взаємодією з постачальниками і споживачами.

Продовження табл. 7.1

Абревіатура	Коротка характеристика
MES (Manufacturing Execution Systems)	<p>Виконавські системи виробництва. Знаходяться на рівні технологічного процесу, але з технологією напряду не зв'язані. Основні завдання:</p> <ul style="list-style-type: none"> • управління виробничими і людськими ресурсами в рамках технологічного процесу; • планування і контроль послідовності операцій технологічного процесу; • управління якістю продукції; • зберігання початкових матеріалів і проведеної продукції по технологічних підрозділах; • технічне обслуговування виробничого устаткування; • зв'язок систем ERP і SCADA/DCS.
DCS (Distributed Control Systems)	<p>Розподілені Системи Управління (фірми Fisher-Rosemount, Honeywell, Foxboro, Asea, Brown-Bovery, Bailey Controls, Johnson-Yokogawa та ін.). Системи управління розподіленим виробничим середовищем в масштабах установки або цеху. Стандартна DCS передбачає наявність вузлів (на основі PLC), об'єднаних в мережу по інтерфейсах. Кожен вузол виконує одне або кілька завдань:</p> <ul style="list-style-type: none"> • збір і обробка інформації від набору вимірювальних пристроїв; • управління ділянкою виробничого процесу (з допомогою пристроїв, що управляють); • архівація даних; • управління призначеними для користувача інтерфейсами і відображення даних; • розрахункові завдання по оптимізації виробничого процесу; • зв'язок з іншими системами.
SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)	<p>Диспетчерське (оперативне) Управління і Збір Даних (фірми Intellution, Wonderware, Allen Bradley, Siemens, Mitsubishi і ін.). Відрізняються від DCS функціональною різноманітністю вузлів, програмною реалізацією функцій контролю і управління, архітектурою (клієнт-серверна, багатоланкова), більшою орієнтацією на зручності оператора.</p>

Продовження табл. 7.1

Абревіатура	Коротка характеристика
MMI (Man Machine Interface), HMI (Human MI)	Людиномашинний інтерфейс. Узагальнювальна назва для SCADA і DCS.
Batch Control	Послідовне управління. Концепції і поняття послідовного управління визначені в стандарті S88.01, Models and Terminology комітету ISA. Дозволяють оптимізувати виробничий цикл (необов'язково замкнутий) на основі математичних моделей і алгоритмів.
PLC (Programmable Logic Controllers)	Програмовані логічні контролери.

7.2 Інтеграція АСУ

Центральним поняттям комп'ютерно-інтегрованих АСУ є поняття «інтеграція». Інтеграцію визначають як спосіб організації окремих компонентів в одну систему, що забезпечує узгоджену і цілеспрямовану їх взаємодію, зумовлюючи велику ефективність функціонування усїєї системи. Інтеграцію в АСУ можна розглядати в кількох аспектах: функціональному, організаційному, інформаційному, програмному, технічному, економічному.

Функціональна інтеграція забезпечує єдність цілей та узгодження критеріїв і процедур виконання виробничо-господарських та технологічних функцій, спрямованих на досягнення поставленої мети. Основою функціональної інтеграції є оптимізація функціональної структури усїєї системи, декомпозиція системи на локальні частини (підсистеми), формалізований опис функцій кожної підсистеми та протоколи взаємодії підсистем.

Організаційна інтеграція полягає в організації раціональної взаємодії персоналу управління на різних рівнях ієрархії КІСУ і різних локальних її підсистем, що зумовлює узгодження дій персоналу в напрямку досягнення поставлених цілей та погодженість управлінських рішень.

Інформаційна інтеграція передбачає єдиний комплексний підхід до створення й ведення інформаційної бази усїєї системи та її компонентів на основі одного технологічного процесу збору, зберігання, передачі та обробки

інформації, який забезпечує узгоджені інформаційні взаємодії всіх локальних АСУ та підсистем КІСУ.

Програмна інтеграція міститься у використанні узгодженого та взаємопов'язаного комплексу моделей, алгоритмів і програм для забезпечення спільного функціонування всіх компонентів КІСУ.

Технічна інтеграція — це використання єдиного комплексу сумісних обчислювальних засобів, автоматизованих робочих місць спеціалістів та локальних мереж ЕОМ, об'єднаних в одну розподілену обчислювальну систему, яка забезпечує автоматизовану реалізацію всіх компонентів КІСУ.

Економічна інтеграція є узагальнюючим комплексним показником інтеграції системи і полягає в забезпеченні цілеспрямованого та узгодженого функціонування усіх компонентів КІСУ для досягнення найбільшої ефективності функціонування усієї системи.

Стосовно ієрархічно організованої системи управління підприємством необхідна як горизонтальна, так і вертикальна інтеграції. У загальному випадку горизонтальна інтеграція припускає об'єднання АС одного рівня, а вертикальна - різних (суміжних).

Горизонтальна інтеграція припускає об'єднання між собою всіх автономних систем автоматизації технологічних і виробничих процесів, а також адміністративних відділень цехового рівня в єдину інформаційну мережу, що забезпечує необхідний обмін даними в реальному масштабі часу між всіма підрозділами основного і допоміжного виробництва .

Вертикальна інтеграція базується на організації потоків інформації від нижнього рівня (датчиків і контролерів технологічного устаткування) у внутрішні обчислювальні мережі цехів і ділянок, а далі – у обчислювальні мережі АСУП. Дане завдання вирішується шляхом об'єднання промислових і адміністративних мереж. Основна мета вертикальної інтеграції – усунення перепон на шляху інформаційних потоків між рівнями АСУП і АСУТП з метою оперативного обміну даними.

Сучасний етап розробки інформаційних систем в економіці України характеризується створенням АС нового покоління, до яких належать експертні системи, системи підтримки прийняття рішень, інформаційно-пошукові системи, системи зі штучним інтелектом. Основою створення таких систем є децентралізація структури ІАСУ та організація розподільної обробки інформації.

До інформаційних систем нового покоління належать системи підтримки прийняття рішень (СППР) та інформаційні системи, побудовані на штучному інтелекті (інтелектуальні АС).

СППР — це інтерактивна комп'ютерна система, яка призначена для підтримки різних видів діяльності при прийнятті рішень із слабоструктурованих або неструктурованих проблем. Інтерес до СППР, як перспективної галузі використання обчислювальної техніки та інструментарію підвищення ефективності праці в сфері управління економікою, постійно зростає. У багатьох країнах розробка та реалізація СППР перетворилася на дільницю бізнесу, що швидко розвивається.

Штучний інтелект — це штучні системи, створені людиною на базі ЕОМ, що імітують розв'язування людиною складаних творчих завдань. Створенню інтелектуальних інформаційних систем сприяла розробка в теорії штучного інтелекту логіко-лінгвістичних моделей. Ці моделі дають змогу формалізувати конкретні змістовні знання про об'єкти управління та процеси, що відбуваються в них, тобто ввести в ЕОМ логіко-лінгвістичні моделі поряд з математичними. Логіко-лінгвістичні моделі — це семантичні мережі, фрейми, продукувальні системи — іноді об'єднуються терміном «програмно-апаратні засоби в системах штучного інтелекту».

Розрізняють три види інтелектуальних АС:

а) інтелектуальні інформаційно-пошукові системи (системи типу «запитання — відповідь»), які в процесі діалогу забезпечують взаємодію кінцевих користувачів — непрограмістів з базами даних та знань професійними мовами користувачів, близьких до природних;

б) розрахунково-логічні системи, які дають змогу кінцевим користувачам, що не є програмістами та спеціалістами в галузі прикладної математики, розв'язувати в режимі діалогу з ЕОМ свої задачі з використанням складаних методів і відповідних прикладних програм;

в) експертні системи, які дають змогу провадити ефективну комп'ютеризацію областей, у яких знання можуть бути подані в експертній описовій формі, але використання математичних моделей утруднене або неможливе.

Інтегрована АСУ підприємством (об'єднанням) — це багаторівнева автоматизована система управління, яка призначена для комплексної автоматизації функцій управління інженерно-технічною, адміністративно-господарською, виробничо-технологічною і соціальною діяльністю промислових підприємств і забезпечує найефективніше розв'язання завдань з планування, випуску, розробки, освоєння, виробництва і реалізації продукції згідно з вимогами повного госпрозрахунку та самофінансування.

До складу інтегрованої АСУ, наприклад науково-виробничим об'єднанням, що тісно взаємодіють, належать локальні АСУ: автоматизовані системи управління об'єднанням (АСУО), підприємствами (АСУП), цехами, дільницями, АСУ технологічними процесами (АСУ ТП), системи автоматизованого проектування конструкторського (САПР-К) і технологічного (САПР-Т) призначення, автоматизовані системи наукових досліджень (АСНД) та інші види АСУ. Можливий варіант взаємозв'язку локальних АСУ в рамках ІАСУ ілюструє рис. 7.2.

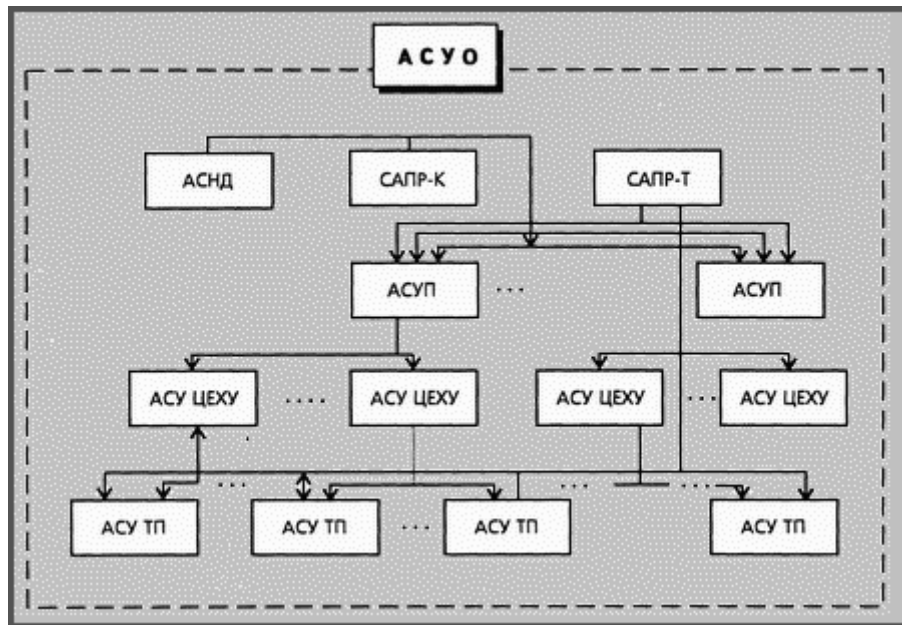


Рис. 7.2

ІАСУ може розглядатися як ієрархічно організований комплекс організаційних методів, технічних, програмних, алгоритмічних та інформаційних засобів, що мають модульну структуру і забезпечують наскрізне узгоджене управління матеріальними та інформаційними потоками об'єкта управління. На промислових підприємствах і об'єднаннях в ІАСУ органічно поєднуються автоматизація розв'язування економіко-організаційних задач управління з автоматизацією управління технологічними процесами та гнучкими автоматизованими виробництвами, проектуванням виробів і технологічних процесів тощо.

Сутність інтеграції в АСУ економічного об'єкта (ЕО) полягає в удосконаленні зв'язків управління процесами проектування й організації виробництва, технологічними процесами та випробуванням виробів.

Розрізняють інтеграцію процесів за рівнями управління (вертикальні зв'язки) та взаємодією об'єктів одного рівня (горизонтальні зв'язки). З просуванням нагору збільшуються нормативи, показники, інтервали планування і т. ін. Маємо неначе ефект часової інтеграції. У разі інтеграції по горизонтальних зв'язках досягається узгодження дій окремих служб (підсистем), діяльності постачальників і споживачів у рамках єдиного плану-

графіка постачання. Отут досягається ефект, так би мовити, просторової інтеграції.

Інтеграція полягає в об'єднанні окремих частин, підсистем, систем у рамках одної системи, яка охоплює повніші інформаційні аспекти управління на основі загального програмно-технічного, інформаційного й організаційного забезпечення. Поняття інтеграції можна поширити на однорідні системи (наприклад, лише АСУ ТП, лише АСУО і т. ін.), а можна віднести й до різнорідних систем (наприклад, АСУ ТП і АСУО; САПР і АСУП тощо).

ІАСУ — складна людино-машинна система, у якій поєднуються машинна обробка інформації та автоматизація прийняття рішень з діяльністю людини, яка відіграє роль оператора, керівника, експерта. Роль людини навіть за дуже високого рівня автоматизації управління є провідною, оскільки вона завжди виконуватиме найважливіші функції управління — вибір мети і критеріїв планування й управління, пошук альтернатив у досягненні мети, обґрунтування методів прийняття рішень і т. ін.

7.3 Технології диспетчеризації у виробничих системах

Сучасне комп'ютерно-інтегроване виробництво (КІВ) являє собою технологічну систему зі складною структурою циркулюючих матеріальних та інформаційних потоків. У загальній функціональній структурі КІВ можна виділити наступні основні локальні виробничі модулі (ЛВМ): системи вхідного і фінішного контролю, системи концентрації матеріальних потоків (автоматизовані склади результатної, проміжної і готової продукції), транспортні системи, системи обробки і системи вироблення продукції, що функціонують під контролем відповідних локальних систем управління.

В автоматичному і автоматизованому режимах роботи КІВ для синхронізації взаємодії всіх його елементів необхідний обмін інформацією між локальними системами і центральним керуючим пристроєм. Елемент КІВ нижнього рівня, отримавши команду U_{ni} , виконує певну дію, після чого посилає в систему диспетчеризації повідомлення C_{ni} і чекає нової команди на виконання наступної дії (рис. 7.3).

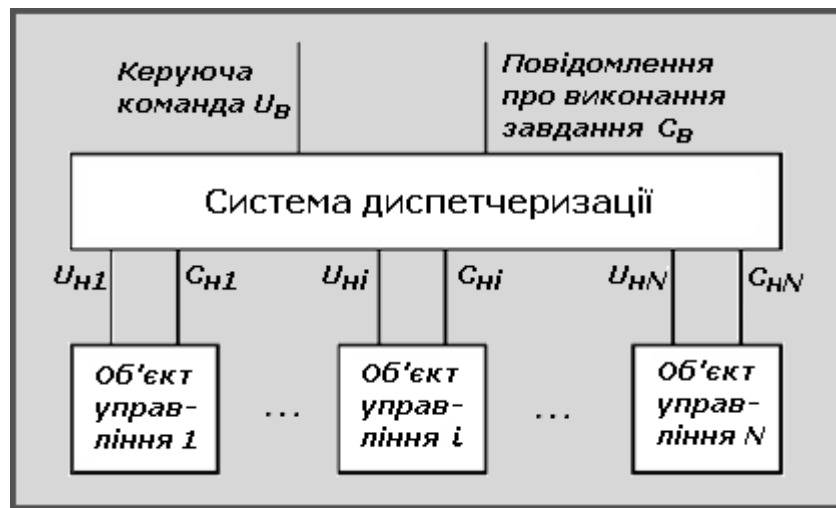


Рис. 7.3

Ритм роботи КІВ визначається частотою обміну командами і повідомленнями локальними системами і центральним керуючим пристроєм. Команди, що управляють, забезпечують узгоджену роботу устаткування з метою виконання планового завдання з обробки певної номенклатури виробів. Вироблення команд, що управляють, здійснюється на основі інформації про поточний стан елементів КІВ з використанням алгоритмів диспетчеризації і моделей локальних виробничих систем. На вході системи диспетчеризації є планове завдання U_e з системи планування, повідомлення про виконання якого C_e система диспетчеризації посилає в систему планування. Невчасна видача команд, що управляють, на елементи КІВ приводить або до неможливості їх виконання, або до простоїв з вини системи управління. Локальні системи управління елементами повинні мати можливість перевірки команди керування на її коректність і синтаксичну правильність.

Диспетчеризація в КІВ здійснюється на двох рівнях: всередині ЛВМ і між ЛВМ. Таке ділення пов'язане з модульним принципом побудови КІВ. Локальний виробничий модуль має свою систему управління модулем.

Внутрішньомодульна диспетчеризація (ВМД) є узгодженням дій елементів КІВ, що входять в ЛВМ. Метою ВМД є забезпечення виконання дії в КІВ. Таким чином, система ВМД виконує функції оператора по управлінню виробничим процесом.

Міжмодульна диспетчеризація (ММД) полягає в розподілі планового завдання між окремими ЛВМ, визначенні і узгодженні виконання в часі дій з урахуванням їх забезпеченості ресурсами. Функції ММД відповідають функціям керівника виробництва. Тут управління йде з сумісним виконанням технологічних операцій КІВ, а не окремій операції.

Рішення при ВМД ухвалюються на основі поточної інформації про елементи ЛВМ, а при ММД використовується динамічна інформаційна модель, що відображає поточний стан КІВ.

Виділення при диспетчеризації двох рівнів дозволяє провести декомпозицію завдання управління на ряд підзадач, що дає можливість спростити завдання диспетчеризації і отримати ефективні методи рішення.

Склад функцій системи диспетчеризації може бути визначений з аналізу дій операторів автоматизованого устаткування і керівників виробництва при організації процесу випуску виробів в умовах випадкових збурень. Укрупнена структура цих функцій приведена на рис. 7.4.

Основна функція системи – вироблення керуючих команд на початок виконання дій елементами КІВ з метою забезпечення реалізації планового завдання або максимальної продуктивності устаткування. У окремих випадках можуть бути сформульовані і інші техніко-економічні критерії.

Інформація про поточний стан КІВ формується за рахунок аналізу повідомлень, що поступають з локальних систем управління або з датчиків системи контролю ходу виробничих процесів.

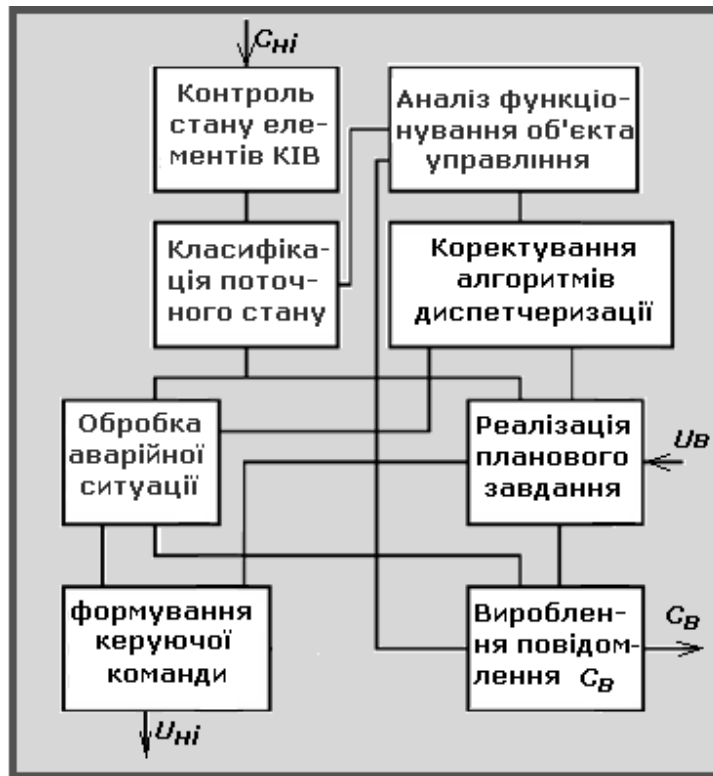


Рис. 7.4 – Структура функцій диспетчеризації КІВ

Динамічна інформаційна модель дозволяє провести ідентифікацію поточного стану КІВ з метою визначення можливості продовження нормального функціонування. Стан КІВ, при якому нормальне продовження роботи неможливе, ідентифікується як аварійна ситуація. В цьому випадку система диспетчеризації повинна виконувати обробку аварійної ситуації з метою визначення подальшої поведінки КІВ: або продовження роботи, або виявлення аварійного елемента, виведення його з множини доступних ресурсів і видача керуючої команди в ремонтну службу.

В кінці або протягом зміни центральний керуючий пристрій може зажадати від системи диспетчеризації статистичну інформацію про роботу КІВ. Ці дані можуть використовуватися системою планування в рамках автоматизованих робочих місць різних рівнів, а також для коректування алгоритмів самої системи диспетчеризації.

Система диспетчеризації будь-якого рівня повинна виконувати вказані функції, проте їх реалізація може бути різною. В цілому виконання дії в КІВ можна представити таким, що складається з наступних етапів:

- Етап 1 – визначення виду основної операції, реалізацією якої є дана дія.
- Етап 2 – забезпечення дії ресурсами:
 - а) підетап 2.1 – вибір елементів КІВ як ресурси дії;
 - б) підетап 2.2 – диспетчеризація допоміжних дій, що змінюють стан вибраних ресурсів від поточного до потрібного для початку виконання дії.
- Етап 3 – запуск дії на виконання:
 - а) підетап 3.1 – перевірка можливості почала дії;
 - б) підетап 3.2 – формування команди, що управляє, почала дії або виклик програми внутрішньомодульного управління.

Система диспетчеризації може працювати в різних режимах: програмна (циклова) диспетчеризація; диспетчеризація за наявності змінно-добового завдання, складена на етапі короткострокового оперативного планування; динамічна диспетчеризація.

При цикловій диспетчеризації виділяються послідовності дій елементів, що повторюються, - цикли. Для циклу фіксується склад ресурсів, їх стан і моменти початку кожної дії усередині циклу. Як правило, циклова диспетчеризація реалізується на внутрішньомодульному рівні. До початку циклу повинен бути забезпечений певний стан ресурсів ЛВМ. Управління полягає в запуску циклу і контролі його протікання, що дозволяє визначити момент переходу ЛВМ в аварійний стан або момент закінчення циклу.

Диспетчеризація за наявності змінно-добового завдання відбувається в умовах, коли послідовність виконання робіт є заданою. Диспетчеризація полягає у виборі чергової дії з наявної в змінно-добовому завданні послідовності, в перевірці можливості її початку, і, якщо така є, видачі керуючої команди на початок дії. У разі невиконання умов почала дії, наприклад, через відсутність одного з ресурсів, система або чекає їх появи, або переходить до виконання наступної по порядку дії.

При динамічній диспетчеризації всі етапи виконуються на основі тільки поточної інформації про стан КІВ. Система диспетчеризації аналізує

можливість виконання дій над наявними в КІВ партіями заготовок і напівфабрикатів і в міру можливості видає команди, що управляють, на початок виконання дій.

Для нормального функціонування КІВ в реальному масштабі часу необхідне виконання всіх функцій диспетчеризації. Розподіл функцій диспетчеризації між системами керування визначається вибраною концепцією управління.

Мають місце дві концептуальні моделі диспетчеризації КІВ: централізована і децентралізована (розподілена).

Концепція централізованої системи диспетчеризації КІВ припускає наявність могутнього центрального керуючого пристрою, на який передаються більшість функцій по управлінню КІВ в реальному масштабі часу. Центральний пристрій проводить аналіз стану КІВ, визначає дії для кожного модуля і планує їх початок, розподіляє ресурси між діями, видає керуючі команди, контролює виконання змінного завдання і його коректування. ЛВМ здійснює прийом керуючої команди, її виконання і видачу в центральний керуючий пристрій повідомлення про закінчення виконання команди. Крім того, ЛВМ видає ще ряд повідомлень про прийом команди, збої при виконанні дії і т.п.

При використанні концепції децентралізованої диспетчеризації більшість функцій передані на виконання в локальні системи. Основною відмінністю є можливість ЛВМ в процесі функціонування КІВ спілкуватися між собою минувши при цьому центральний пристрій (якого в системі може і не бути) і за яким залишається лише передача змінно-добового завдання ЛВМ, контроль за його виконанням і при необхідності коректування. Решта всіх функцій диспетчеризації виконується самими ЛВМ. Модуль аналізує свій стан, видає заявки іншим модулям на потрібні йому ресурси, аналізує заявки або приймає заявки на виконання, видавши при цьому повідомлення інших модулів. Таким чином, в децентралізованій системі циркулюють заявки і повідомлення.

Централізована система диспетчеризації вимагає складного центрального і порівняно простих локальних систем. Наявність всієї інформації про полягання КІВ в центральному керуючому пристрої дозволяє шукати оптимальну взаємодію ЛВМ, застосовуючи складні методи і алгоритми. Проте в цьому випадку потрібно багато часу на ухвалення рішення, а при виході з ладу центрального пристрою КІВ перестає функціонувати. Чим менше операційна гнучкість ЛВМ, тим більше потреба в централізованій системі диспетчеризації. При ЛВМ великої гнучкості відбувається їх адаптація до поточного стану КІВ і у будь-який момент часу склад виконуваних дій можна легко змінити.

Децентралізована система диспетчеризації володіє вищою надійністю, ніж централізована, оскільки при виході з ладу одного з ЛВМ інші продовжують функціонувати.

7.4 Системи автоматизації виробничих потоків

Організацією і керуванням системою руху матеріальних та пов'язаних з ними інформаційних потоків займається логістика. Задачею логістики є: забезпечити наявність продукту у потрібній кількості і стані, у правильному місці, у правильний час, за правильною ціною.

При керуванні матеріальними потоками в рамках внутрівиробничих логістичних систем використовують два основних способи: що штовхає і що тягне.

Система, що штовхає, являє собою систему організації виробництва, у якій предмети праці, що надходять на виробничу ділянку, безпосередньо цією ділянкою в попередньої технологічної ланки не замовляються. Матеріальний потік "виштовхується" одержувачу по команді, що надходить на передавальне ланку з центральної системи керування виробництвом.

Моделі керування, що штовхають, характерні для традиційних методів організації виробництва. Можливість їхнього застосування для логістичної організації виробництва з'явилася в зв'язку з масовим застосуванням комп'ютерної техніки. Упровадження програмних продуктів дозволило

компаніям погоджувати й оперативно коректувати плани і дії всіх підрозділів підприємства: постачальницьких, виробничих і збутових, з урахуванням постійних змін у реальному масштабі часу. Використання програмного забезпечення дозволило істотно скоротити робочий час на прийняття і виконання управлінських рішень.

Системи, що штовхають, здатні ув'язувати складний виробничий механізм у єдине ціле, мають проте природні границі своїх можливостей. Параметри "матеріального потоку, що виштовхується" на ділянку, оптимальні настільки, наскільки керуюча система в стані врахувати й оцінити усі фактори, що впливають на виробничу ситуацію на цій ділянці. Однак чим більше факторів по кожному з численних ділянок підприємства повинна враховувати керуюча система, тим досконаліше і дорожче повинне бути її програмне, інформаційне і технологічне забезпечення.

На практиці застосовуються різні варіанти систем, що штовхають, відомі за назвою "системи MRP". Можливість їхнього впровадження обумовлена початком масового використання обчислювальної техніки. Системи MRP характеризуються високим рівнем автоматизації керування, що дозволяє реалізовувати наступні основні функції:

- а) забезпечувати поточне регулювання і контроль виробничих запасів;
- б) у реальному масштабі часу погоджувати й оперативно коректувати плани і дії різних служб підприємства - постачальницьких, виробничих, збутових.

Основним недоліком MRP систем, що штовхають, є необхідність створення і підтримки значних буферних запасів між виробничими підрозділами й етапами технологічного циклу.

Система, що тягне, являє собою систему організації виробництва, у якій деталі і напівфабрикати подаються на наступну технологічну операцію з попередньої в міру необхідності.

Тут центральна система керування не втручається в обмін матеріальними потоками між різними ділянками підприємства, не встановлює для них

поточних виробничих завдань. Виробнича програма окремої технологічної ланки визначається розміром замовлення наступної ланки. Центральна система керування ставить задачу лише перед кінцевою ланкою виробничого технологічного ланцюга.

Переваги системи, що тягне:

а) відмова від надлишкових запасів, інформація про можливість швидкого придбання матеріалів, або наявність резервних потужностей для швидкого реагування на зміну попиту;

б) заміна політики продажу зроблених товарів політикою виробництва продаваних товарів;

в) задача повного завантаження потужностей заміняється мінімізацією термінів проходження продукції по технологічному процесі;

г) зниження оптимальної партії ресурсів, зниження партії обробки;

д) виконання замовлень з високою якістю;

е) скорочення усіх видів простоїв і нерациональних внутрішньозаводських перевезень.

Для того, щоб зрозуміти механізм функціонування системи, що тягне, розглянемо приклад

Нехай підприємство одержало замовлення на виготовлення 10 одиниць продукції. Це замовлення система керування передає в цех збирання. Цех збирання для виконання замовлення запитує 10 деталей з цеху №1. Передавши зі свого запасу 10 деталей, цех №1 з метою заповнення запасу замовляє в цеху №2 10 заготовок. У свою чергу, цех №2, передавши 10 заготовок, замовляє на складі сировини матеріали для виготовлення переданої кількості, а також з метою відновлення запасу. Таким чином, матеріальний потік "витається" кожною наступною ланкою. Причому персонал окремого цеху в стані врахувати набагато більше специфічних факторів, що визначають розмір оптимального замовлення, чим це змогла б зробити центральна система керування.

Але впровадження цієї моделі управління виробництвом може бути дуже ризикованим – потрібні корінні зміни, як у виробництві, так і в управлінні і корпоративній культурі.

Свій внесок у розвиток світової логістичної системи внесла Японія, що розробила і застосувала вперше у світі прогресивну логістичну концепцію "just in time" – JT (точно в термін) і внутрівиробничу систему KANBAN (у перекладі з японського – картка), розроблену і реалізовану фірмою "Тойота" (Японія).

Система "KANBAN" не вимагає тотальної комп'ютеризації виробництва, однак вона передбачає високу дисципліну постачань, а також високу відповідальність персоналу, тому що центральне регулювання внутрівиробничого логістичного процесу обмежено. Система "KANBAN" дозволяє істотно знизити виробничі запаси. Наприклад, запаси деталей у розрахунку на один автомобіль, що випускається, у фірми "Тойота" складає 77 доларів, у той час як на автомобільних фірмах США цей показник дорівнює приблизно 500 дол. Система "KANBAN" дозволяє також прискорити оборотність оборотних коштів, поліпшити якість продукції, що випускається.

Системи типу "KANBAN", усуваючи зайві запаси, можуть ефективно працювати лише при відносно коротких виробничих циклах, точному прогнозуванні попиту і деяких інших виробничо-технологічних умовах. Для виправлення недоліків, властивим обоим системам, були початі спроби їхнього об'єднання в єдиному планово-виробничому і диспетчерському комп'ютерному комплексі.

Одним з найбільш удалих прикладів синтезу у виробництві продукції ключових елементів MRP і KANBAN на основі сучасних інформаційно-комп'ютерних технологій з'явилася розроблена на початку 1980-х років логістична система "Optimized Production Tehnology" – OPT (оптимізована виробнича технологія).

Згідно концепції OPT, все те, що заважає організованій системі досягти своєї мети, називається обмеження. Будь-яке підприємство розглядається як

система ресурсів, зв'язаних між собою процесами, в яких вони використовуються. Всі ресурси працюють на досягнення мети підприємства.

Стосовно управління виробництвом і запасами виділяються три типи обмежень:

- а) обмеження внутрішніх ресурсів (потужність устаткування, кваліфікація персоналу і т.п.);
- б) обмеження ринку (надмірний ринок);
- в) обмеження в методах ведення бізнесу (бізнес процеси і процедури управління).

Теорія обмежень пропонує п'ять кроків управління системою:

виявити обмеження системи ("вузьке місце", критичний ресурс);

визначити способи найбільш ефективного використання вузького місця;

зробити все можливе для того, щоб "вузьке місце" використовувалося найефективніше і оптимально;

підвищити пропускну спроможність вузького (т.е. усунути його, наприклад, за рахунок залучення додаткових ресурсів);

повернутися до кроку першого – тобто не дозволити інерції (старим методам управління, розробленим на другому і третьому кроці) перетворитися на нове обмеження.

Як показує практика, в компанії, що використовує ОРТ, багато внутрішніх обмежень усуваються в період від одного до шести місяців. При цьому промисловим підприємствам завдяки оптимізації виробничих завдань вдається обійтися без додаткових вкладень в устаткування.

У системі ОРТ здійснюється автоматизоване оперативно-виробниче планування і диспетчеризація. Комп'ютерний розрахунок виробничих розкладів виконується на зміну, день, тиждень і т.д. Вирішуються також задачі контролю відвантаження запасів готової продукції споживачам, пошуку альтернативних ресурсів, видачі рекомендацій з повноцінних замін у випадку відсутності необхідних матеріальних ресурсів. При формуванні графіка виробництва використовуються наступні критерії ефективності:

- ступінь задоволення потреби виробництва в ресурсах;

- ефективність використання ресурсів;
- засоби, іммобілізовані в незавершеному виробництві;
- гнучкість.

ОРТ – приватна розробка і її "повна версія" належить консалтинговій компанії, що створила її. Тим не менше, її ключові теоретичні положення можна використовувати для управління будь-яким виробництвом.

7.5 Електронно-цифрове виробництво

Технології комп'ютерного моделювання, суміщені з процесом виготовлення, отримали назву електронно-цифрового виробництва (Digital Manufacturing). За допомогою засобів моделювання в реальному масштабі часу фірми-виготівники усувають огріхи в своїх процесах і знаходять більш довершені схеми розміщення устаткування, минувши дорогі рішення в металі і виготовлення дослідних зразків. Таким чином, інженери піддають перевірці новаторські ідеї, визначаючи доцільність реалізації в нових продуктах, і експериментують з новими методами виробництва, не витрачаючи час і засоби на виготовлення фізичних прототипів.

У основу електронно-цифрового виробництва покладена ідея використання інформаційних технологій для сумісної розробки виробничих планів і устаткування одночасно з вдосконаленням продукту. Описане рішення дозволяє усувати конструктивні недоробки, огріхи виробництва і покращувати неефективні процеси на ранніх стадіях, коли зміни не спричиняють за собою неприпустимих відставань в графіці підготовки виробу до виходу на ринок.

Загалом цю концепцію не можна вважати абсолютно новою. Раніше аналогічні ідеї були відомі як комплексне проектування і проектування з урахуванням вимог збірки, але широке впровадження цих концепцій починається тільки сьогодні. Фахівці, що спеціалізуються на питаннях управління життєвим циклом продуктів, вважають, що впродовж найближчих років інвестиції в технології електронно-цифрового виробництва щорічно збільшуватимуться більш ніж на 25%.

Наприклад, за допомогою впровадження електронно-цифрового виробництва і інших інформаційних технологій канадська компанія P&WC скоротила період, що відокремлює початковий задум нового авіаційного двигуна до його впровадження на ринок, до двох з половиною років. Застосування методів моделювання для виявлення недоліків масового виробництва і оцінки витрат на обслуговування дозволяє компанії економити 500 тис. дол. на кожному новому типі виробу, оскільки тепер можна обходитися без фізичних моделей у натуральну величину. Більш того, близько 70% т.з. інтерференцій - конфліктів між серійно виготовленими деталями - в даний час вирішується на ранніх стадіях проектування.

Додатково, моделювання допомагає понизити витрати на обслуговування виробу. Якщо раніше для того, щоб визначити, чи будуть робочі по ремонту і обслуговуванню мати вільний доступ до тих або інших вузлів двигуна, доводилося створювати з дерева або пластика дорогі моделі у натуральну величину, то тепер інженери P&WC мають можливість засобами імітаційного моделювання точніше заміряти ергономічні параметри і оцінювати час, необхідний для виконання процедур обслуговування.

З 2000 р. корпорація General Motors відмовилася від створення фізичних прототипів своїх автомобілів і почала використовувати цифрові моделі. Вже в перший рік вона заощадила 75 млн. дол. Ще однією важливою віхою на шляху цієї компанії до цифрового виробництва з'явилося моделювання ключових виробничих операцій, а також випробування ергономічних характеристик.

Серед фірм, що виявляють особливу цікавість до ідеї електронно-цифрового виробництва, слід назвати виготівників складних електронних приладів, медичного устаткування, фармацевтичних препаратів і продуктів на базі біотехнологій.

Підприємства фармацевтичної індустрії застосовують ці технології не стільки у виробництві нових медичних препаратів, скільки в процесі їх розробки. Проте, у міру того як процеси розробки ліків ставатимуть все більш віртуальними, підприємства галузі, швидше за все, стануть приділяти все

більше уваги методам електронно-цифрового виробництва, щоб швидше починати випуск лікарських препаратів і скорочувати час циклів виробництва.

Втім, утілити цей віртуальний світ в реальному виробничому середовищі зовсім не просто. Програмні засоби електронний-цифрового виробництва вельми складні і коштують великих грошей. Крім того, їх використання припускає серйозні зміни бизнес-процесів. Забезпечити спільну роботу виробничих і інженерних груп на ранніх етапах процесу розробки неможливо без радикального перегляду культурних стереотипів, що склалися.

Ще одна причина, протидіюча вкоріненню нових технологій, полягає в тому, що потоково-масове виробництво - сфера традиційна і тому не дуже сприйнятлива до нових віянь. Багато менеджерів середньої ланки як і раніше скептично відносяться до заяв постачальників засобів цифрового виробництва і представників фірм, що вже реалізували цю ідею. Вони не готові ризикувати своїм майбутнім, надаючи вищестоящим менеджерам право на вкладення в нову справу таких істотних засобів.

Нарешті, для повної реалізації потенціалу цифрового виробництва керівникам більшості компаній необхідно провести значну підготовчу роботу. Їм потрібно до тонкощів розібратися у всіх процесах, щоб вони могли точно моделювати процедури створення продуктів, а це зовсім несхоже на традиційні підходи до організації виробництва.

Історично склалося так, що співпраця між інженерними і виробничими департаментами приймає форму багатостадійного процесу. Спочатку інженери за допомогою своїх систем автоматизованого проектування працюють над проектами нового виробу. Потім вони створюють прототип і, так би мовити, передають естафету інженерам по організації виробництва, які за допомогою власних наборів інструментів визначають, чи можна виготовити такий продукт і якою ціною. Далі починається карусель: прототип допрацьовується, знов тестується для з'ясування можливості його промислового виготовлення, знову допрацьовується, знову тестується і т.д.

Цей ітераційний процес приводить до величезного збільшення циклу, який новий продукт проходить до впровадження на ринок, і до істотного зростання витрат, пов'язаних з тим, що старі прототипи доводиться викидати і виготовляти нові. Якщо ви спробуєте спроектувати виріб без засобів імітаційного моделювання, то напевно допустите пару-трійку помилок або раптом виявите, що якісь деталі не стикуються через те, що були прийняті невірні допуски. Зазвичай такі проблеми утрясаються в ході експериментів в заводських цехах.

У цифровому світі все відбувається інакше. Взаємодія між групами інженерів і виробничників відбувається безпосередньо на рівні моделей, фізичні прототипи при цьому не застосовуються. Як тільки інженери створюють ескіз виробу, його цифрове уявлення можуть проглядати фахівці з організації виробництва. Вони називають можливі проблемні ділянки, і необхідні зміни вносяться до ескіза ще до створення цифрових прототипів. Аналогічним чином здійснюється тестування на віртуальному конвейєрі, де також фігурує цифрове представлення виробу.

Використовуючи описані технології, компанії можуть не тільки економити час і гроші. Вони дістають сприятливіші можливості для оптимізації процесу виробництва. При нових засобах моделювання з'являється можливість випробувати різні альтернативні рішення і вибрати оптимальний спосіб виготовлення виробу.

Програмне забезпечення реалізації концепції цифрового виробництва зв'язане з великими витратами - і у фінансовому плані, і з погляду необхідних змін в бізнесі і процесах. Отже, ці програмні системи повинні бути прив'язані до основної бізнес-стратегії.

Відчуваючи все більш жорсткий тиск з боку конкурентів у всьому світі, виробники випробовують гостру потребу в нових технологіях і методах роботи, які могли б забезпечити застосування новаторських рішень як у виготовленні продуктів, так і в організації бізнес-процесів.

Одна з найбільш багатообіцяючих ініціатив в цій сфері - інтеграційна стратегія управління життєвим циклом виробу (Product Lifecycle Management, PLM), що забезпечує безпроблемну доставку даних, що стосуються певного продукту, всім співробітникам, що мають відношення до тієї або іншої стадії його життєвого циклу. Стратегія PLM – логічна попередниця концепції електронно-цифрового виробництва, і за останні пару років ці інфраструктури поступово реалізовувалися у ряді компаній.

PLM припускає уніфіковане уявлення відомостей про продукти, значно полегшуючи співпрацю і обробку інформації, необхідної для цифрового виробництва. Це важливо, оскільки різні групи фахівців, зокрема, інженери і планувальники асортименту виробів, використовують неоднакові набори даних і різні засоби моделювання, що у край утрудняє побудову інтегрованих моделей.

Концепція цифрового виробництва, будучи складовою частиною ширшої стратегії PLM, змінює правила гри. З'являється можливість внести до цифрового моделювання компонент реального часу, що дозволяє виготівникам планувати оптимальні заводські потоки, тестувати процеси, відмовлятися від використання прототипів і скорочувати число переробок (відомих як "Scrap and rework" - "викинути і зробити наново"). Проектувальники виробів вже багато років роблять те ж за допомогою систем автоматизованого проектування - створюють цифрові прототипи нових моделей автомобілів або авіаційних двигунів перед тим, як реалізовувати їх в металі або створювати дорогі прототипи, призначені для одноразового використання. Цифрове виробництво – спроба розповсюдити ці принципи на масове виробництво виробів.

7.6 Контрольні тестові питання до розділу 7

7.6.1 Рішенням задач організації виробництва на окремій ділянці (цеху, установці) займається система:

- ERP;
- MRP;

- EAM;
- MES;
- DCS;
- SCADA.

7.6.2 Виконавська система виробництва на рівні технологічного процесу має назву:

- ERP;
- MRP;
- EAM;
- MES;
- DCS;
- SCADA.

7.6.3 Система планування ресурсів, орієнтована на бізнес-процеси підприємства:

- ERP;
- MRP;
- EAM;
- MES;
- DCS.
- SCADA.

7.6.4 Використання єдиного комплексу обчислювальних засобів, автоматизованих робочих місць спеціалістів та локальних мереж, об'єднаних у розподілену обчислювальну систему - це:

- функціональна інтеграція;
- організаційна інтеграція;
- інформаційна інтеграція;
- програмна інтеграція;
- технічна інтеграція;
- економічна інтеграція.

7.6.5 Використання узгодженого та взаємопов'язаного комплексу моделей, алгоритмів і програм для забезпечення спільного функціонування компонентів КІСУ - це:

- функціональна інтеграція;
- організаційна інтеграція;
- інформаційна інтеграція;
- програмна інтеграція;
- технічна інтеграція;
- економічна інтеграція.

7.6.6 Забезпеченні узгодженого функціонування усіх компонентів КІСУ для досягнення найбільшої ефективності функціонування усієї системи - це:

- функціональна інтеграція;
- організаційна інтеграція;
- інформаційна інтеграція;
- програмна інтеграція;
- технічна інтеграція;
- економічна інтеграція.

7.6.7 Перевагою логістичної системи, "що штовхає" є:

- скорочення робочого часу на прийняття і виконання управлінських рішень;
- скорочення буферних запасів між виробничими підрозділами й етапами технологічного циклу;
- скорочення усіх видів простоїв і нераціональних внутрішньозаводських перевезень;
- мінімізацією термінів проходження продукції по технологічному процесі.

7.6.8 Недоліком логістичної системи, "що тягне" є:

- необхідність буферних запасів між виробничими підрозділами й етапами технологічного циклу;
- збільшення термінів проходження продукції по технологічному процесі;

- впровадження її може бути дуже ризикованим, бо вимагає корінних змін у виробництві;
- потребує потужної центральної системи керування.

7.6.9 Труднощі впровадження концепції ОРТ викликані:

- обмеженням внутрішніх ресурсів підприємства;
- обмеженням ринку;
- обмеження в методах ведення бізнесу;
- це приватна розробка, що належить консалтинговій компанії;
- впровадження її може бути дуже ризикованим, бо вимагає корінних змін у виробництві.

7.5.10 У основу електронно-цифрового виробництва покладена ідея:

- підвищення пропускної спроможності "вузького місця" виробництва;
- використання інформаційних технологій для виробництва продукції;
- мінімізації термінів проходження продукції по технологічному процесі;
- взаємодії проєктантів і виробничників безпосередньо на рівні моделей
- комп'ютеризації управління на всіх рівнях.

8 ГЛОСАРІЙ

CALS (Computer-aided Acquisition and Logistics Support) – комп'ютерна підтримка процесу постачань і логістики підприємств.

DCE (Data Circuit-terminal Equipment) – устаткування закінчення каналу даних, що забезпечує доступ кінцевого устаткування DTE до передавального середовища.

DDC (Direct Digital Control) – пряме цифрове управління, коли центральна ЕОМ розраховує керуючі сигнали для виконавчих пристроїв.

DDDC (Distributed Direct Digital Control) – розподілене пряме цифрове управління, коли обчислювальна система має розподілену архітектуру, а цифрові регулятори реалізовані на основі локальних процесорів, розташованих поблизу технічного процесу.

DSE (Data Switchin Equipment) – устаткування комутації та маршрутизації даних у мережі від джерела до одержувача.

DTE (Data Terminal Equipment) – кінцеве устаткування даних мережі (комп'ютер, контролер, робоча станція або будь-який пристрій введення-виведення інформації).

ERP (Enterprise Resource Planning) – верхній рівень в ієрархії систем керування підприємством, що стосується ключових аспектів його виробничої і комерційної діяльності, таких як виробництво, планування, фінанси і бухгалтерія, матеріально-технічне постачання і збут, керування кадрами, керування запасами, ведення замовлень на виготовлення (постачання) продукції і надання послуг.

FBD (Function Block Diagram) – це графічна мова програмування, елементи якої виглядають як функціональні блоки, сполучені проводами в електричне коло.

FTP (File Transfer Protocol) – протокол пересилання файлів

HTML [від англ. Hypertext Markup Language – мова розмітки гіпертексту] – це стандартна мова розмітки документів в Усесвітній павутині. Всі веб-

сторінки створюються за допомогою мови HTML. Мова HTML інтерпретується браузером і відображається у вигляді документа, зручного для людини..

IL (Instruction List) – це мова низького рівня, що нагадує асемблер. Використовується для програмування контролерів з низькою обчислювальною потужністю.

IP datagram (дейтаграма протоколу IP) – основна одиниця інформації, передаваної в розподіленій мережі, побудованій на базі TCP/IP. Містить адреси джерела і одержувача разом з даними і поля, що визначають довжину дейтаграмми, контрольну суму заголовка і прапори, що говорять про фрагментацію дейтаграми

IP-адреса [від англ. Internet Protocol Address] – унікальний ідентифікатор (адреса) пристрою (зазвичай комп'ютера), підключеного до локальної мережі і (або) Інтернету. IP-адресою є 32-бітове або 128-бітове двійкове число. Адреса складається з номера мережі, необов'язкового номера підмережі і номера хоста.

LAN (Local Area Network) – Локальна мережа, яка зазвичай встановлюється в межах одного підприємства.

LD (Ladder Diagram) – графічна мова програмування, що використовує стандартизований набір символів релейної логіки для ступінчастого програмування.

MAC-адреса – апаратна (уявна) адреса канального рівня, необхідна кожному порту або пристрою для з'єднання з ділянкою мережі. Ці адреси використовуються різними пристроями мережі для точного визначення місця логічних адрес. Вони складаються з шести символів. Синоніми: апаратна адреса, фізична адреса, уявна адреса.

MAN (Metropolitan Area Network) – регіональна або міська обчислювальна мережа. Будь-яка мережа, об'єднуюча область, що приблизно є рівною великому місту.

MRP (Manufacturing Resource Planning) – планування виробничих ресурсів

MTU (Master Terminal Unit) – головний термінал чи диспетчерський пункт керування, що здійснює обробку даних про процес для диспетчера і перетворення команд диспетчера в сигнали керування об'єктом.

OPC (Object Linking and Embedding for Process Control) – технологія зв'язування і впровадження об'єктів для систем промислової автоматизації, призначена для забезпечення універсального механізму обміну даними між датчиками, виконавчими механізмами, контролерами, пристроями зв'язку з об'єктом і системами представлення технологічної інформації, оперативного диспетчерського управління, а також системами управління базами даних.

OSI (Open Systems Interconnection) – еталонна модель взаємозв'язку відкритих систем, розроблена Міжнародною організацією зі стандартизації ISO.

RTU (Remote Terminal Units) – віддалений термінал (датчики стану устаткування, виконавчі пристрої і контролери, що забезпечують керування устаткуванням у реальному часі).

SCADA-система (Supervisory Control And Data Acquisition) – система диспетчерського керування і збору даних.

SNMP (Simple Network Management Protocol) – простий протокол мережевого управління.

ST (Structured Text) – це мова програмування ПЛК високого рівня, схожа на Паскаль. Розроблена для структурного програмування.

TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol – протокол управління передачею/Internet протокол) – багаторівнева архітектура, що є попередником моделі OSI і в даний час лежить в основі Інтернет і більшій частині корпоративних мереж.

WAN (Wide Area Network) – глобальна мережа, яка, на відміну від LAN, охоплює значно більші території і навіть більшість регіонів земної кулі.

Wi-Fi (Wireless Fidelity) – технологія бездротової передачі даних (діапазон 2,4 ГГц і 5 ГГц).

Адреса – унікальний ідентифікатор, що привласнюється мережі або мережевому пристрою для того, щоб інші мережі і пристрої могли розпізнати його при обміні інформацією. Адреса може бути як логічною, так і фізичною. Прикладом логічної адреси може служити IP-адреса, прикладом фізичної – MAC-адреса.

Аналоговий сигнал – безперервний сигнал безперервного часу.

База даних реального часу (БДРЧ) – база, що містить настройки технологічних змінних, поточні значення змінних і їх властивості.

Брандмауер або міжмережевий екран [англ. firewall] – комплекс апаратних і/або програмних засобів, що здійснюють контроль і фільтрацію мережевих пакетів, що проходять через нього. Основним завданням міжмережевого екрану є захист комп'ютерних мереж або окремих вузлів від несанкціонованого доступу.

Веб-оглядач або браузер [англ. Web browser] – це програмне забезпечення для перегляду веб-сайтів, тобто для запиту веб-сторінок, їх обробки, виведення, і переходу від однієї сторінки до іншої..

Веб-сайт, або просто сайт [англ. website, від web – павутина, site – місце] – це одна або сукупність сторінок, доступних в інтернеті через протоколи HTTP/HTTPS. Сторінки веб-сайту об'єднані загальною кореневою адресою, а також зазвичай темою, логічною структурою, оформленням і/або авторством..

Веб-сторінка [англ. Web page] – гіпертекстовий ресурс Інтернет, зазвичай написаний на мові HTML. Веб-сторінка може містити посилання для швидкого переходу на інші сторінки, а також статичні і динамічні зображення..

Гіперпосилання – активне посилання, розміщене на веб-сторінці. Це може бути слово, словосполучення або малюнок, при наведенні на які курсора та кліку мишею відбувається відкриття нового вікна або перехід до нового документа чи іншого місця у документі.

Додаток [англ. application] – прикладна комп'ютерна програма.

Ентропія – міра невизначеності в поведінці джерела повідомлень.

Інтернет-портал [від англ. portal – головний вхід; ворота] – веб-сайт, що надає користувачу можливість подальшого отримання інформації з інших сайтів, іншими словами, що містить велику кількість зовнішніх [тобто таких, що ведуть на інші ресурси] посилань. Як правило, портали також надають користувачеві ряд додаткових можливостей по вибору і структуризації інформації, що відповідає його інтересам..

Інтерфейс [англ. interface] – сукупність технічних і програмних засобів, що забезпечують обмін інформацією між окремими технічними пристроями, а також між технічними пристроями і оперативним персоналом.

Квантування – заміна відлікових значень сигналу значенням лінійного дозволеного рівня.

Кеш [англ. cache] — проміжний буфер зі швидким доступом; у проксі-серверах застосовується для зберігання нещодавно проглянутих веб-сторінок щоб економити час на їх повторне завантаження.

Коннектор [англ. connector] – з'єднувач, пристрій для з'єднання (стиківки) кабелів з іншою апаратурою або між собою.

Контролінг [англ. controlling] – це інформаційно-аналітична підтримка прийняття рішень у менеджменті.

Логістика [англ. Logistics] – стратегічне управління (менеджмент) матеріальними потоками в процесі закупівлі, постачання, перевезення і зберігання матеріалів, деталей і готового інвентаря (техніка і інш.). Поняття логістики включає також управління відповідними потоками інформації та фінансовими потоками.

Модем [аббревіатура, складена із слів модулятор-демоулятор] – пристрій, що застосовується в системах зв'язку і дозволяє комп'ютеру зв'язуватися з іншим комп'ютером, обладнаним модемом, через телефонну мережу [телефонний модем] або кабельну мережу [кабельний модем]..

Монітор (у операційних системах) – програма, що керує виконанням задач.

Операційна система [англ. OS] – організована сукупність програмних засобів, призначена для керування ресурсами обчислювальної системи.

Операційна система реального часу (ОС РЧ) – операційна система, яка обслуговує зовнішні процеси, що розвиваються у пристроях, які мають жорсткі обмеження на час відповіді.

Пакет – частина повідомлення, представлена у вигляді блоку із заголовком, що має встановлений формат (структуру даних) і обмежену довжину і передається по мережі як єдине ціле.

ПЗО – пристрій зв'язку керуючого пристрою з об'єктом управління.

Прикладний процес – процес введення, зберігання, обробки і видачі інформації для потреб користувача.

Проксі-сервер [англ. Proxy] – це програма для підключення локальних користувачів до мережі Інтернет через одну зовнішню IP-адресу.

Протокол [англ. protocol] – угода, що стосується управління процедурами інформаційного обміну між об'єктами, що взаємодіють.

Ресурс [англ. resource] – будь-який з компонентів обчислювальної системи та можливості, що нею надаються.

Сервер [англ. server] – вузол мережі, в якому забезпечується обслуговування інших вузлів шляхом управління розподілом ресурсів загального користування.

Система реального часу (СРЧ) – апаратно-програмний комплекс, що реагує протягом передбаченого часу на непередбачуваний потік зовнішніх подій.

Спам [англ. spam] – безкоштовна рекламна розсилка, що надходить до поштової скриньки всупереч бажанню її хазяїна.

Спектр амплітуд (фаз) – сукупність амплітуд (фаз) гармонік, що входять до складу сигналу.

Супервізор [англ. supervisor] – частина операційної системи, що постійно знаходиться в оперативній пам'яті і управляє фізичними компонентами обчислювальної системи.

Топологія мережі [від грецького “топос” – місце і “логія” – наука] – схема, за якою вузли інформаційної мережі з'єднуються між собою.

Транзакція [англ. transaction] – процес зміни бази даних внаслідок передачі одного вхідного повідомлення.

Трафік [англ. traffic] – робоче навантаження лінії. Це міра об'єму даних, що проходять між пунктами у мережі зв'язку.

Фрейм [англ. frame] – одиничне повідомлення або пакет, що пересилається по каналу передачі даних з використанням протоколів управління цим каналом. Синонім – кадр.

Хост [англ. host] – будь-який пристрій, що надає сервіси формату «клієнт-сервер» в режимі сервера по яких-небудь інтерфейсах і унікально визначене на цих інтерфейсах. У більш окремому випадку під хостом можуть розуміти будь-який комп'ютер, сервер, підключений до локальної або глобальної мережі.

Цифровий сигнал послідовність, що складається імпульсів і пауз однакової тривалості, що чергуються певним чином; при цьому імпульс позначають як 1, а паузу – 0.

Часове розділення сигналів (каналів) – принцип розділення передаваних сигналів, що базується на періодичному виділенні кожному сигналу проміжку часу для передачі у відведеному інтервалі часу.

Частотне розділення сигналів (каналів) – принцип розділення передаваних сигналів, що базується на відведенні кожному сигналу своєї смуги частот в заданому частотному діапазоні.

Шина [англ. bus] – середовище передачі сигналів, до якого можуть паралельно підключатись кілька компонентів обчислювальної системи і через яку здійснюється обмін даними.

Шлюз [англ. gate, gateway] – пристрій, що забезпечує з'єднання двох мереж, що мають різні принципи адресації або різні протоколи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авербух В. Каналы с гальванической изоляцией для передачи аналоговых сигналов // Электронные компоненты. – 1999. – №5. – С. 13–24.
2. Авербух В. Каналы с гальванической изоляцией для передачи дискретных сигналов // Электронные компоненты. – 1999. – №4. – С. 25–30.
3. Агунов А.В. Схемотехника систем автоматизации : Учеб.пособие. – СПб. : СПбГМТУ, 2005. – 104 с
4. Биленко Г.М., , Бородин А.Ф., Епрынцева Н.А., Хомов А.В. Информационные технологии на транспорте : Учебное пособие – М. : РГОТУПС, 2006. – 220 с.
5. Васецкий В.В., Питолин В.М. Технологии диспетчеризации в производственных системах // Информационные технологии моделирования и управления. – 2006. – №1(26). – С. 117–127.
6. Горнев Ф.Ф., Емельянов В.В., Овсянников М.В. Оперативное управление в ГПС. М. : Машиностроение, 1990. 256 с.
7. Дроздов В.Н. и др. Системы автоматического управления с микроЭВМ. – Л. : Машиностроение, 1989. – 284 с.
8. Игнатов В. А. Теория информации и передачи сигналов : Учебник для вузов. – М. : Сов. радио, 1979. – 280 с.
9. Како Н., Яманэ Я. Датчики и микро-ЭВМ: Пер. с япон. — Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986 — 120 с.
10. Карпенко Е. Возможности CAN-протокола // Современные технологии автоматизации. – 1998. – №4. – С. 16–20.
11. Лапа В.Г. Математические основы кибернетики. – М. : Высшая школа, 1971. – 418 с.
12. Локальные компьютерные сети : Электронный ученик. – <http://256bit.ru/Book/Glava%201/Index1.htm>
13. Олссон Г., Пиани Д. Цифровые системы автоматизации и управления. – СПб. : Невский Диалект, 2001. – 557 с.

14. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. – М. : Высшая школа, 1983.
15. Патрахин В.А. Средства программирования РС-совместимых контроллеров // Промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика. – 2003. – № 1, 2. – С. 34–40.
16. Полетаев В.А. Компьютерно-интегрированные производственные системы / Учебное пособие – Кемерово : КузГТУ, 2006. – 199 с.
17. Сахнюк А.А. Зачем она нужна эта ваша гальваническая развязка? // Промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика. – 2004. – №1. – С. 56–58.
18. Справочник инженера по контрольно-измерительным приборам и автоматике : Учебно-практическое пособие / Под ред. А.В. Калиниченко. – М. : Инфра-Инженерия, 2008. – 576 с.
19. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. – К. : Техніка, 1975. – 768 с.
20. Телекоммуникационные системы и сети : Учебное пособие. В 3 томах. Том 1 – Современные технологии / Б. И. Крук, В. Н. Попантонолуло, В. П. Шувалов; под ред. профессора В. П. Шувалова. – М. : Горячая линия-Телеком, 2003. – 647 с
21. Телекоммуникационные системы и сети : Учебное пособие. В 3 томах. Том 3. – Мультисервисные сети / В. В. Величко, Е. А. Субботин, В. П. Шувалов, А. Ф. Ярославцев; под ред. профессора В. П. Шувалова. – М. : Горячая линия-Телеком, 2005. – 592 с.
22. Технические средства автоматизации. Программно-технические комплексы и контроллеры : Учебное пособие. – М. : «Издательство Машиностроение-1», 2004. – 180 с.
23. Токовый контур 4–20 мА / Справочные данные от ООО «УРАЛ – ТЕСТ». – <http://www.uraltest.perm.ru>

24. Топоркова О.М. Учебное пособие по информатике для специальностей АС, ВС, ИЭ // Калининградский государственный технический университет – ЛИТЕРАТУРА. – <http://www.klgtu.ru/>

25. Федоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП: Проектирование и разработка / Учебно-практическое пособие. – М. : Инфра-Инженерия, 2008. – 928 стр.

26. Шандров Б. В. Технические средства автоматизации : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Б. В. Шандров, А. Д. Чудаков. — М. : Издательский центр «Академия», 2007. — 368 с.

27. Шевкопляс Б. В. Синхронизация в телекоммуникационных системах. Сборник задач. – М. : Изд-во «РадиоСофт», 2009. – 368 с.

ПРЕДМЕТНИЙ ВКАЗІВНИК

S

SCADA-система, 173, 240

A

аварійне зупинення, 181

аварійні допуски, 186

алгоритм

вироблення керуючих впливів, 198

вірогідності аналогових сигналів, 190

запису дискретних сигналів, 188

контролера загальний, 187

нормалізації та фільтрації сигналів, 192

розрахунку витрати водяної пари, 195

алфавіт, 39

ансамбль реалізацій, 23

Б

Безпека КІСУ, 258

безударний перехід, 202

біт, 58

В

вита пара, 75

Г

гальванічна розв'язка, 166

гармоніка, 19

Д

дельта-функція, 22

дискретизація, 35

диспетчеризація, 273

діагностика, 203

домен, 137

Е

експонентне згладжування, 193

електронно-цифрове виробництво, 283

ентропія

бінарного повідомлення, 54

властивості, 52

неперервного сигналу, 54

умовна, 58

часткова, 53

Шеннона, 52

еталонна модель

канальний рівень, 71

мережевий рівень, 71

прикладний рівень, 72

сеансовий рівень, 72

транспортний рівень, 71

фізичний рівень, 71, 291

еталонна модель OSI, 70, 293

ефективність, 60

З

завадостійкість, 156

задача автоматизованої системи, 178

захист інформації, 258

І

ідеальний дискретизований сигнал, 36

ідеальний одиничний імпульс, 22

інтеграція

вертикальна, 268

горизонтальна, 268

інформаційна, 267

організаційна, 267

програмна, 268

функціональна, 267

Інтернет-портал, 138

інтерфейс

ISDN, 133

RS-232, 98

RS-485, 98

USB, 103

визначення, 151

ОРС, 233
інформація
кількість, 50
корисна Бонгарда, 58
IP-адреса, 137

К

кабель
коаксіальний, 76
оптоволоконний, 78
канал
інфрачервоний, 82
радіоканал, 81
супутниковий, 83
квантування, 31
код
Манчестер-II, 161
кодування, 39
ефективне, 40
завадозахисне, 40
числове, 40
комп'ютерно-інтегроване виробництво, 263, 272
комутатор, 73
концентратор, 73

Л

логістика, 278

М

маніпуляція
амплітудна, 43
імпульсно-кодова, 46
квадратурна, 46
фазова, 45
частотна, 44
маркер, 109
масштабування, 192
мережа
Bluetooth, 110
Ethernet, 105
GPRS, 142
Intranet, 139

Token Ring, 108
визначення, 151
глобальна, 86, 293
Інтернет, 135
локальна, 86, 292
міська, 87
радіомережа, 109
стільникового зв'язку, 142

модем, 84
модуляція, 43
фазо-імпульсна, 47
широко-імпульсна, 47
моніторинг, 179

Н

надійність, 155
надмірність, 60
невизначеність, 50
неорганізованість, 51
номінальний ступінь квантування, 31
нормалізація, 192

О

октет, 137
операційна система
визначення, 217
Операційна система
реального часу, 229
оптимізована виробнича технологія OPT, 281

П

ПІД-регулятор, 199
повідомлення
визначення, 48
дискретне, 48
неперервне, 48
похибка квантування, 33
програмне забезпечення
мережевих ОС, 253
прикладне, 217
робочих станцій, 255
програмування

ОРС, 232
контролерів, 218
продуктивність джерела, 59
пропускна спроможність, 60
протокол
HART, 100
передачі гіпертексту HTTP, 138
пряме цифрове управління, 182, 291

Р

резервування, 208
гаряче, 211
мережі, 210
на рівні задач, 210
пара і резерв, 212
потроєння з голосуванням, 211
робоча станція, 254
розподілена інформаційна система, 68

С

сайт, 138
сервер
FTP, 138
виділений, 69
імен, 137
мережі, 69
поштовий, 138
технологічний, 126, 152
файловий, 94
сигнал
NAMUR, 160
аналоговий, 156
визначення, 17
випадковий, 23
дискретний, 158
постійний, 22
синусоїдальний, 23
типу «сухий контакт», 159
цифровий, 160
система
KANBAN, 281
автоматизації виробничих потоків, 278
диспетчеризації, 276

інтегрована управління підприємством, 270
підтримки прийняття рішень, 269
штучного інтелекту, 269
що тягне, 279
що штовхає, 278
система числення, 40
одинична, 42
позиційна, 41
унітарна, 42
спектр
визначення, 18
дискретний (лінійчастий), 19
дисперсій, 25
неперервний, 19
спектральна щільність, 20, 36
стандарт X.25, 133
струмова петля, 157

Т

теорема Котельникова, 38
теорія обмежень, 282
технологічні допуски, 186
технологія
“клієнт-сервер”, 69, 93
“хазяїн-слуга”, 69
IsaGRAF, 226
рівнорангова, 70
топология мережі, 87
традиційна система диспетчеризації, 172

У

управління життєвим циклом виробу, 287

Ф

фільтр
аналоговий, 26
верхніх частот, 27
експоненціальний, 30
KIX, 29
ковзаючого середнього, 30
нижніх частот, 27
NIX, 29

режекторний, 27
рекурсивний, 29
смуговий, 27
цифровий, 28
фільтрація, 192
фільтрація сигналів, 26
функція
автоматизованої системи, 178
виборочна, 23
відліків, 37
інформаційна, 178
керування, 178
Фур'є

дискретне перетворення, 28
перетворення, 20
ряд, 18

Ш

шина
визначення, 150
підключення HART, 101
польова, 86
топологія, 88
універсальна послідовна (USB), 103
ШИМ-регулятор, 199