

ОСНОВИ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОГО КЕРУВАННЯ

конспект лекцій для студентів напряму “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”

1. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОГО КЕРУВАННЯ

Більшість систем керування, які зараз використовуються, є комп'ютерно-інтегрованими, тому що основними технічними засобами таких систем є комп'ютери, застосування яких дозволяє інтегрувати кілька функцій управління. Практично комп'ютерно-інтегровані системи керування (KICK) виникли як розвиток інтегрованих автоматизованих систем керування (IACK), які в свою чергу є одним з багатьох видів АСК – автоматизованих систем керування.

Серед скорочених назв інтегрованих систем автоматизації найбільш поширені дві: IACK – інтегрована автоматизована система керування і KICK – комп'ютерно-інтегрована система керування. Водночас IACK – це один з багатьох видів АСК, стандартизоване визначення якої формулюється так: **АСК** – це автоматична система, призначена для автоматизації процесів збирання та пересилання інформації про об'єкт керування, її перероблення та видачі керувальних дій на об'єкт керування.

До найпоширеніших видів АСК належать:

АСКТП (АСК технологічними процесами) – автоматизована система, призначена для вироблення та реалізації керувальних дій на технологічний об'єкт керування згідно з прийнятими критеріями керування. АСКТП виконує свої функції на рівні окремого апарата або технологічного комплексу (ТК), до якого належать установка, відділення, цех або виробництво.

АСКП (АСК підприємством) – інтегрована АС, призначена для ефективного керування виробничо-господарською діяльністю підприємства.

ІАС (інтегрована АС) – сукупність двох і більше взаємопов'язаних АС, в якій функціонування однієї (кількох) з них залежить від функціонування іншої (інших) так, що цю сукупність можна розглядати як єдину АС.

Поняття «інтегрована» широко використовується в назві сучасних систем автоматизації, але дуже часто в нього вкладають різний зміст. Найчастіше під ним розуміють систему, що інтегрує функції АСКТП і АСКП, тобто функціонально $IACK = AСКТП + AСКП$. Іноді ця формула стає ширшою $IACK = AСКТП + AСКП + САПР + АСКЯ$, тобто додається система автоматизованого проектування (САПР) і автоматизована система керування якістю (АСКЯ). Але й саму АСКП, як видно із наведеного визначення, іноді також називають інтегрованою, маючи на увазі об'єднання кількох пакетів програмного забезпечення в один інтегрований.

З появою в системах керування комп'ютерів як основного технічного засобу з'являється новий термін: комп'ютерно-інтегровані системи керування (KICK). **KICK** – ієрахічно-розподілена система, що інтегрує функції керування технологічними та організаційно-економічними процесами підприємства і складається з робочих станцій, об'єднаних у локально-обчислювальні мережі.

Структурно інтегрована АСК складається з двох основних частин: АСКТП і АСКП. У свою чергу, АСКТП також має дві основні частини: це локальна обчислювальна мережа (ЛОМ) і система керування технологічними процесами (СКТП). Що стосується АСКП (зараз більш поширеною є інша її назва – корпоративна система керування бізнес-процесами – КСКБП), то вона в свою чергу, також містить в своєму складі також дві частини: корпоративну обчислювальну мережу (КОМ), яка об'єднує, як правило, кілька локальних обчислювальних мереж (ЛОМ) та систему керування бізнес-процесами (СКБП). КСКБП на відміну від АСКП вирішує дві проблеми: перша – це об'єднання різномірних мереж та друга – ство-

рення єдиної системи управління бізнес-процесами. Описана структура наведена на рис.1.1.

Обчислювальні мережі, як відомо, поділяють на:

локальні ЛОМ (LAN – Local Area Network),

корпоративні КОМ (EWN – Enterprise Wide Network),

міські МОМ (MAN – metropolitan Area Network),

регіональні РОМ та **глобальні** ГОМ (WAN – Wide Area Network).

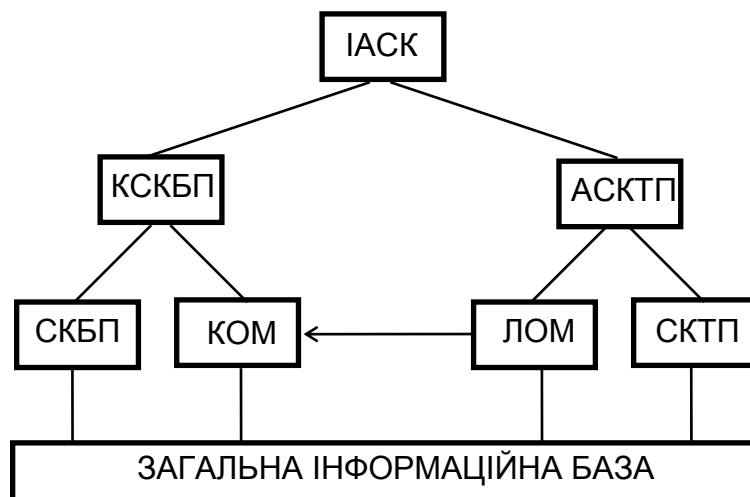


Рис. 1.1

Стандартизоване визначення ЛОМ формулюється так: **ЛОМ** – система, яка забезпечує на обмеженій території один чи кілька каналів зв'язку, наданим приєднаним до неї абонентам для короткочасного монопольного користування. Стандартизованого визначення інших мереж немає, але зазначені мережі суттєво відрізняються одна від одної значеннями основних характеристик: (1) максимальною швидкістю передавання даних (ШПД), (2) максимальною кількістю вузлів, (3) максимальною відстанню між вузлами, (4) топологією мережі, (5) апаратною та програмною платформами, (6) фізичним середовищем передавання даних (типом кабелю зв'язку) та (7) методом доступу до нього.

При цьому під терміном **вузол** розуміють точку мережі, в якій обслуговується користувач чи підмикається комунікаційний канал. У межах Стандартизоване визначення ЛОМ формулюється так: **ЛОМ** – система,

яка забезпечує на обмеженій території один чи кілька каналів зв'язку, наданим приєднаним до неї абонентам для короткочасного монопольного користування. Стандартизованого визначення інших мереж немає, але зазначені мережі суттєво відрізняються одна від одної значеннями основних характеристик: (1) максимальною швидкістю передавання даних (ШПД), (2) максимальною кількістю вузлів, (3) максимальною відстанню між вузлами, (4) топологією мережі, (5) апаратною та програмною платформами, (6) фізичним середовищем передавання даних (типом кабелю зв'язку) та (7) методом доступу до нього.

Наведена структура ІАСК є скоріш *технічною*, ніж *функціональною*. Розгляд **функціональної структури** потребує виділення функціональних рівнів з урахуванням значення інформаційної інтеграції, яку в даному випадку забезпечує, насамперед, наявність загальної інформаційної бази. Точна, своєчасна та достовірна інформація на виробництві все більшою мірою визначає продуктивність праці, рівень витрат, якість і конкурентну спроможність продукції. Інформатизація підприємства почалась одночасно з двох боків: «зверху» та «знизу». «Зверху» – в офісах створювалися інформаційні структури, що відповідали за роботу підприємства у цілому. Спочатку це було планування матеріальних ресурсів (**MRP** – Material Requirements Planning). Потім цей стандарт був розширений до планування усіх матеріальних ресурсів разом з обладнанням (**MRP II** – Manufacturing Resource Planning), необхідних для виробництва. Зараз цей рівень (**ERP** – Enterprise Resource Planning) об'єднує усі ресурси, необхідні для роботи підприємства, включаючи управління фінансами і матеріально-технічним постачанням, організацію документообігу і т.п.

«Знизу» на виробництві інформація від різних датчиків використовувався, насамперед, для безпосереднього керування технологічним процесом за допомогою пристроїв зв'язку з об'єктом, МПК та ІПК. Це рівень *локальних систем автоматизації* (**CL** – Control Level), на якому замика-

ються найбільш короткі контури управління виробництвом. Потік інформації від датчиків надходить далі на рівень *візуалізації контролю і управління (SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition)*. На цьому рівні здійснюється оперативне керування технологічним процесом, приймаються рішення, спрямовані, насамперед, на утримання стабільності процесу.

Якщо два нижні рівні належать до АСКТП, то верхній, безумовно, – до КСКБП. Для їх зв'язування – з метою використання цими системами загальної інформаційної бази – введено проміжний рівень *управління виробництвом (MES – Manufacturing Execution Systems)*. Його основне призначення – впорядкування та обробка первинної інформації про хід виробничого процесу таким чином, щоб ця інформація могла бути використаною в КСКБП у реальному часі та звичайній для цих систем формі.

Підсумовуючи викладене, слід зазначити, що ІАСК повинна мати, як мінімум, чотири функціональні рівні, розташовані в такому порядку згори донизу: ERP – MES – SCADA – LC. Кожний із цих рівнів реалізується, як зазначалося вище, з допомогою робочих станцій та обчислювальних мереж.

2. ЗБІР І ПЕРВИННА ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ В АСК

2.1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАДАЧ ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ В АСК

Основною функцією АСК, як свідчить її стандартизоване визначення (див. розділ 1), є збирання, пересилання та перероблення інформації про об'єкт керування. У той же час збір і первинна обробка інформації є функцією інформаційного забезпечення АСК, що є системою форм і методів інформаційного відображення об'єкта керування (ОК) і забезпечення ефективного систематичного обміну інформацією між АСУ і ОК з метою відстеження його стану і вироблення необхідних керувальних дій. У цьому визначенні відображено одну з основних особливостей інформа-

ційного забезпечення: без інформації неможливе керування, інформація потрібна як автоматизованим, так і неавтоматизованим системам. Це підкреслює і стандартизоване визначення: інформаційне забезпечення – це інформаційна база автоматизованої системи і засоби її організації та реалізації.

У процесі керування виконуються такі основні операції, пов'язані з інформацією:

- * збір і первинна обробка інформації про стан зовнішнього середовища і об'єкта керування;
- * вторинна обробка інформації і вироблення необхідних керувальних дій.

Зупинимось докладніше на першій операції, враховуючи, що зміст другої операції аналізуватиметься під час розгляду відповідних систем керування. Первинна інформація в АСУ може бути поділена за різними ознаками, причому найбільш суттєвими є такі: спосіб отримання та характер інформації. За першою ознакою виділяють **автоматичний** (здебільшого від датчиків) та **ручний** (здебільшого від технічних засобів для ручного вводу) **ввід**, за другою – **технологічна** та **бізнесова інформація**, тобто інформація про технологічні та економічні процеси.

Основним джерелом **бізнесової інформації** в АСК є документообіг, схема якого вказує на місця документоутворення і маршрутів руху документів. Виробничі документи поділяють за багатьма ознаками і, насамперед, на первинні та вторинні, причому до перших відносять ті, що мають дані про стан і фінансово-господарську діяльність підприємства. Для зручності вводу даних у ЕОМ інформацію документа поділяють на три частини:

- * *пояснювальну*, що має необхідні текстові пояснення, які в ЕОМ не вводяться;
- * *змістову*, яку становлять дані про виробничі об'єкти;
- * *службову*, що необхідна для машинної обробки документа.

Структура змістової частини документа складна і може містити різні інформаційні сукупності, якими є *реквізит* та *техніко-економічний показник* (ТЕП). Реквізит – це елементарна інформаційна сукупність, що складається з кількох символів, які утворюють слово або кілька слів, відокремлення яких неможливе без втрати економічного змісту. Виділяють *реквізит-ознаку* та *реквізит-основу*. Перший характеризує якісні властивості продукту (наприклад, найменування, гатунок, вид виконання, номенклатурний номер і т. і.), другий – його числові характеристики (наприклад, кількість, вартість і т. і.). Сукупність одного реквізита-основи та одного або кількох реквізитів-ознак складає ТЕП:

$$P = (Q, X_1, \dots, X_n), \quad (2.1)$$

де Q – реквізит-основа; X_1, \dots, X_n – реквізит-ознака. Наприклад, вартість 1 м матеріалу 1-го гатунку – 20 грн. Тут $Q = 20$, підмет – вартість (в реквізитах-ознаках іноді виділяють підмет), ознака продукту – 1 м матеріалу 1-го гатунку, одиниця виміру – грн. Таким чином, ТЕП визначає одну характеристику об'єкта.

Основним джерелом **технологічної інформації** в ІАСК є канал передавання сигналів (КПС), що складається з лінії зв'язку (ЛЗ) і пристроїв зв'язку з об'єктом (ПЗО). Комплекс КПС іноді називають системою зв'язку з об'єктом. Сукупність КПС з датчиком є *інформаційно-вимірювальним каналом* (ІВК) або *вимірювальним каналом* АСКТП (ВК АСКТП), тобто $ІВК = КПС + Д = Д + ЛЗ + ПЗО$.

Стандартизоване визначення ВК АСКТП таке: це функціонально об'єднана частина АСКТП, призначена для автоматизованого створення інформативного сигналу про властивості технологічного об'єкта керування (ТОК), перетворення його на інформаційний сигнал вимірюваної фізичної величини та подання його у вигляді натурального числа і (чи) цифрового коду. У ПЗО відбувається перетворення інформації з аналогової або дискретної форми на цифрову форму, в якій ця інформація вводиться та виводиться з ЕОМ. Існує стандартизоване визначення ПЗО: це пристрій,

призначений для введення сигналів з об'єкта в АС та виведення сигналів на цей об'єкт. Узагальнена структура ІВК наведена на рис. 2.1.

ПЗО залежно від виду сигналу складається з комутатора аналогового або дискретного сигналу (КАС або КДС) та аналогово-цифрового (АЦП) або дискретно-цифрового (ДЦП) перетворювача. З метою зменшення вартості АЦП та ДЦП виконують багатоканальними і канали по чергово підмикаються до відповідних датчиків через КАС або КДС. Між датчиком та ПЗО іноді вмикають модуль нормалізації (МН) або блок формування аналогового (БФАС) чи дискретного (БФДС) сигналів, які приводять сигнали до заданого рівня, а також можуть виконувати операції фільтрації, множення на коефіцієнт, перетворення струму на напругу.

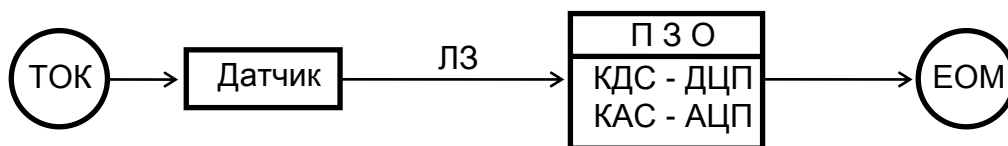


Рис. 2.1

Принцип зв'язку ЕОМ з датчиком може бути синхронним, асинхронним або комбінованим. Найбільш поширений зв'язок за *синхронним* принципом, коли процес передавання інформації розбивається на цикли рівної тривалості тактуючими сигналами пристрою поточного часу – таймера. На початку кожного циклу проводиться послідовне опитування датчиків і перетворення сигналів на цифровий код. Час, який витрачається на цю операцію, значно менший від інерційності об'єкта, тому вважається, що вся інформація від датчиків уводиться в оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП) ЕОМ практично одночасно. Після введення інформації ЕОМ протягом тривалості часу циклу виконує обробку даних і розрахунок необхідних керувальних дій, які лишаються незмінними до наступного тактуючого сигналу.

Якщо зв'язок побудований за *асинхронним* принципом на пристрій переривання замість тактуючих сигналів надходять сигнали від датчиків

переривань (ДП), безпосередньо зв'язаних з об'єктом (наприклад, датчиків аварійного стану). Кожний сигнал переривань є вимогою про припинення виконуваних обчислень і перехід до виконання підпрограм, які відповідають даному сигналу. ЕОМ реагує на сигнал переривання з урахуванням пріоритету одних сигналів переривання над іншими. В разі *комбінованого* принципу зв'язку використовують як синхронний, так і асинхронний принципи зв'язку.

2.2. ПЕРЕТВОРЕННЯ СИГНАЛІВ У ІВК І ЗАДАЧІ ПЕРВИННОГО ОБРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ

Основним видом технологічної інформації в ІАСК, як відзначалось вище, є поточні значення технологічних змінних, які перетворюються вимірювальними перетворювачами найчастіше на аналогові сигнали і далі приведені до цифрової форми вводяться в ЕОМ. Ця первинна інформація непридатна ні для подання її оператору, ні для подальшого Використання з метою розрахунку керувальних дій, тому її піддають різним видам обробки, яку називають *первинною*, маючи на увазі, що в результаті *вторинної* обробки вже будуть сформовані керувальні дії. Таким чином, метою первинної обробки інформації є отримання достовірних оцінок поточних значень контрольованих змінних на основі інформаційних сигналів, що надійшли до ЕОМ.

Розглянемо перетворення, яким піддають вимірювану величину у типовому ІВК (рис. 2.2). На виході датчика Д формується корисний сигнал $y(\tau)$, який зв'язаний з вимірюваною величиною $x(\tau)$ за допомогою статичної характеристики датчика $y(\tau) = f[x(\tau)]$.

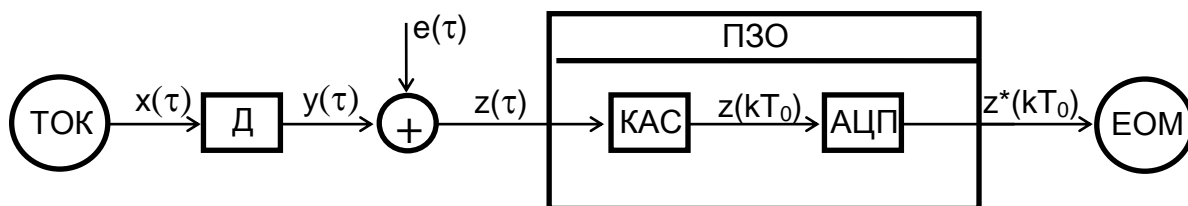


Рис. 2.2

Якщо y – стандартний електричний сигнал, то його подають на вхід ЕОМ, в інших випадках використовують додаткове перетворення сигналу. Оскільки при цьому відбувається тільки масштабне змінення сигналу, то таким перетворенням можна знехтувати. Під час вимірювань або передавання по лініях зв'язку на корисний сигнал $y(\tau)$ можуть накладатися шкідливі сигнали (шуми), в цьому разі, припускаючи що вони адитивні відносно корисного сигналу, отримаємо значення сигналу на вході до комутатора аналогового сигналу (КАС)

$$z(\tau) = y(\tau) + e(\tau), \quad (2.2)$$

де $e(\tau)$ – шкідливий сигнал.

У КАС сигнал $z(\tau)$ квантується за часом при кроці такого квантування T_0 (час, через який кожний канал з допомогою КАС підмикається до АЦП), тому до АЦП надходить не безперервна функція сигналу $z(\tau)$ (рис. 2.3,а), а послідовність імпульсів – «решітчаста» функція (рис. 2.3,б) сигналу $z(kT_0)$:

$$\begin{aligned} z(kT_0) &= z(\tau) \quad \text{при} \quad \tau = kT_0, \quad k = 0, 1, 2, \dots \\ z(kT_0) &= 0 \quad \text{при} \quad \tau \neq kT_0. \end{aligned} \quad (2.3)$$

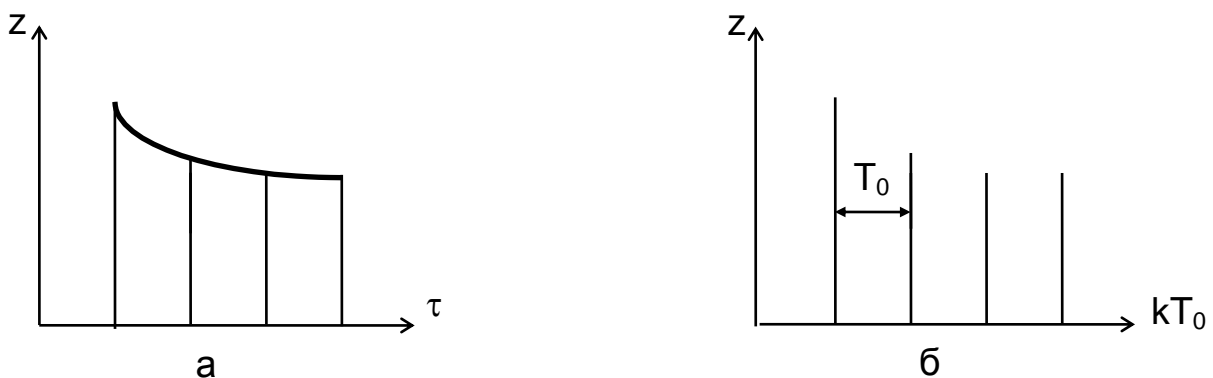


Рис. 2.3

В АЦП відбувається перетворення амплітуди імпульсів $z(kT_0)$ на числа $z^*(kT_0)$ у кодї ЕОМ. Сигнал квантується за рівнем, при якому весь діапазон можливих значень z ділиться 2^n частин, де n – кількість розрядів у двійковому кодї чисел, якими оперує ЕОМ. За такого квантування

$$z^*(kT_0) = \Delta z F[z(kT_0)/\Delta z], \quad (2.4)$$

де Δz – крок квантування за рівнем (ціна меншого розряду в кодї числа).

$$\Delta z = (z_{\max} - z_{\min})/2^n, \quad (2.5)$$

де z_{\max} , z_{\min} – найбільше і найменше значення z , $F[...]$ – функція «ціла частина від числа в [...]».

Дамо оцінку впливу квантування сигналу за часом і за рівнем на точність отриманої інформації. Найпростіше оцінити вплив квантування за рівнем. З виразу (2.4) випливає, що похибка від такого квантування не може перевищувати Δz , який визначається співвідношенням (2.5). Отже, найбільше відносне приведене значення цієї похибки не перевищує величини:

$$\delta_{\text{рв}} = \Delta z / (z_{\max} - z_{\min}) = 1/2^n. \quad (2.6)$$

Сучасні ЕОМ, як правило, працюють з $n > 16$, отже $\delta_{\text{рв}} < 1/65536 = 1,53^5$. Таким чином, похибкою від квантування за рівнем можна знехтувати і вважати $z^*(kT_0) = z(kT_0)$.

Похибка від квантування за часом значно більша. Квантування неперервної функції з періодом T_0 призводить до зміни її спектра і в загальному випадку до втрати інформації. Особливо чітко це видно на спектральних характеристиках неперервної та решітчастої функцій. Спектр неперервної функції – це монотонна функція з екстремумом при частоті ω_0 (рис. 2.4,а), а спектр решітчастої функції – періодична функція з періодом $T_0 = 2\pi/\omega_0$ (рис. 2.4,б).

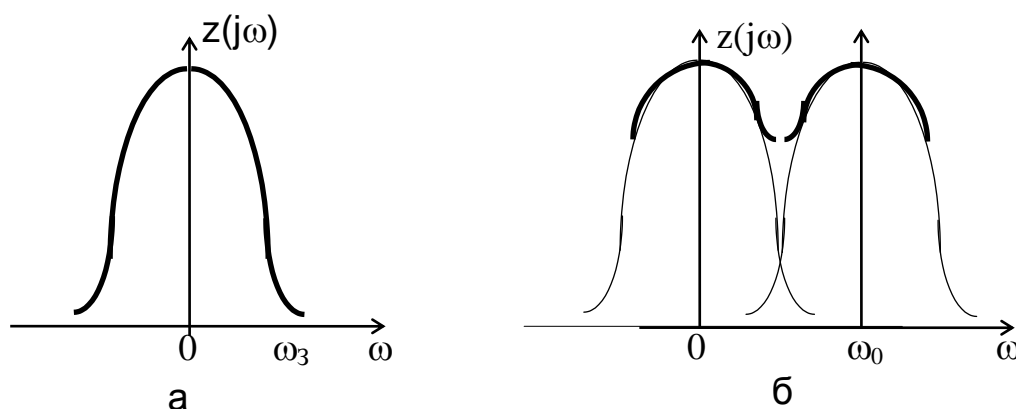


Рис. 2.4

Як видно з рис. 2.4 чим більше T_0 і менше ω_0 , тим більше накладання зміщених спектрів, особливо при високих частотах, що приводить до змінення спектра і втрат інформації. Втрат інформації не станеться при $\omega_0 \geq 2\omega_3$, тому що у цьому разі відсутнє накладання спектрів. Це суть відомої теореми Котельнікова – Шеннона, яка формулюється так: *якщо неперервна функція має обмежений спектр і кінцеве число екстремумів, то існує такий максимальний інтервал часу Δt між відліками, при якому є можливість відновити дану функцію за її дискретними відліками*

$$T_0 = 2\pi/\omega_0 = 2\pi/2\omega_3 = \pi/\omega_3 = \pi/2\pi f_3 = 1/2f_3. \quad (2.7)$$

де ω_3 або f_3 – частота зрізу, тобто гранична частота, якою обмежений спектр неперервної функції.

Аналіз перетворення інформації в ІВК показує, що для отримання оператором або подальшого використання інформації, отриманої від датчиків, потрібно розв'язати такі **задачі первинні обробки інформації** (ПОІ):

перша: відновити оцінку $z^\wedge(\tau)$ за $z(kT_0)$ за допомогою інтерполяції або екстраполяції з одночасним вибором T_0 ;

друга: відновити оцінку $y^\wedge(\tau)$ за значенням $z^\wedge(\tau)$ з допомогою фільтрації сигналу $z^\wedge(\tau)$, тобто відокремити шуми $e(\tau)$;

третья: відновити оцінку $x^\wedge(\tau)$ за значенням $y^\wedge(\tau)$ з допомогою аналітичного градування датчиків.

Таким чином, при виконанні цих операцій ПОІ відбувається ніби зворотний рух по ІВК і послідовне визначення оцінок сигналів $z^\wedge(\tau)$, $y^\wedge(\tau)$, $x^\wedge(\tau)$. Крім наведених до ПОІ належать також дві додаткові операції:

четверта: коригування відновлених значень $x^\wedge(\tau)$ з урахуванням відхилення умов вимірювання від номінальних;

п'ята: контроль і підвищення достовірності первинної інформації.

2.5. АЛГОРИТМІЧНА САМОДІАГНОСТИКА І ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ПЕРВИННОЇ ІНФОРМАЦІЇ

2.5.1. Загальна характеристика задачі

Алгоритмічна самодіагностика – одна з найважливіших задач ПОІ, то-му що в АСК використовують інформацію про сотні змінних величин, і для зниження імовірності попадання у систему невірогідної інформації необхідним є контроль її достовірності. Самодіагностика є одним з видів діагностики, що виконується автоматично. Іншим видом діагностики є тестування, яке виконує оператор. Розрізняють три види самодіагностики АСК: **апаратна** – контролюється справність технічних засобів, **програ-мна** – справність програмного забезпечення, **алгоритмічна** – справність алгоритмічного забезпечення.

Обсяг апаратної та програмної самодіагностики зазвичай фіксований і не залежить від структури системи управління. На відміну від цього, обсяг алгоритмічної самодіагностики визначають при розробці системи керувань. Однією з функцій алгоритмічної самодіагностики є виявлення відмови ІВК і підвищення достовірності інформації.

Недостовірна інформація з'являється при відмовах ІВК, які поділяють на **повні і часткові** (метрологічні або параметричні). При повній відмові технічні засоби ІВК втрачають працездатність, при частковій – на відміну від повної, технічні засоби ІВК зберігають првцездатність, але похибка вимірювання перевищує допустиму. Для виявлення часткової відмови необхідно створити інформаційну надмірність за рахунок апаратного резервування або використання логічних зв'язків між контрольованими змінними.

2.5.2. Виявлення повної відмови і підвищення достовірності інформації

Повну відмову виявляють з допомогою алгоритмів допускового контролю змінної та швидкості змінення сигналу. Алгоритм допускового кон-

ролю змінної величини базується на тому, що при роботі об'єкта змінна x_i або відповідний сигнал датчика y_i не можуть вийти за певні межі, які визначаються максимальними $(x_{i.max}, y_{i.max})$ і мінімальними $(x_{i.min}, y_{i.min})$ значеннями відповідних змінних

$$x_{i.max} < x_i < x_{i.min}, \quad y_{i.max} < y_i < y_{i.min}. \quad (2.49)$$

При виконанні цієї умови роблять висновок про відмову ІВК. Для більшої надійності подання такої інформації висновок про повну відмову ІВК роблять при виконанні також умов алгоритму допускового контролю швидкості зміни сигналу

$$\{y_i(k T_o) - y_i[(k - 1) T_o]\} / T_o > V_{i.max}, \quad (2.50)$$

де $V_{i.max}$ – максимальне можливе значення швидкості зміни сигналу.

Підвищення достовірності інформації при повній відмові пов'язане з заміною недостовірної оцінки сигналу ІВК, що відмовив, достовірною оцінкою, для чого використовують попереднє або усереднене на деякому часовому інтервалі значення змінної, що передуює виявленню відмови. При цьому оператору обов'язково виводиться повідомлення про відмову.

2.5.3. Виявлення часткової відмови з використанням апаратного резервування і підвищення достовірності інформації

Наявність апаратного резервування пов'язана з використанням двох і більше паралельних вимірів. При цьому вважаються малоімовірними такі ситуації:

- одночасна поява двох і більше джерел недостовірної інформації;
- одночасна зміна характеристик двох джерел інформації, при якій інформація про показник, що залежить від цих джерел, залишається незмінною;
- вихід показника, який залежить від кількох вимірюваних величин, за встановлені межі внаслідок варіації цих величин, кожна з яких достовірна.

Для виявлення часткової відмови використовують один з таких алгоритмів, причому інформація про часткову відмову з'являється при виконанні наведених нерівностей:

1) порівняння з середнім

$$|y_j - \overline{y_{\text{сер}}}| > c_j, \quad (2.51)$$

де $j \in \overline{1, m}$; m – кількість паралельних вимірів; $y_{\text{сер}}$ – середнє значення y ; c – найбільше допустиме значення модуля різниці, пов'язане з абсолютною похибкою Δ . Недоліками цього алгоритму є, по-перше, потреба у трьох і більше паралельних вимірах, по-друге, необхідність в обчисленні $y_{\text{сер}}$;

2) порівняння з еталоном

$$|y_j - y_e| > c_j, \quad (2.52)$$

де y_e – сигнал еталонного датчика, похибка якого у 4 і більш разів менша за похибку інших датчиків. Недоліком цього алгоритму є велика вартість еталонного датчика;

3) парне порівняння

$$|y_1 - y_2| > b, \quad (2.53)$$

де b – найбільше допустиме значення, як правило, визначається як сума абсолютних похибок обох датчиків, тобто $b = \Delta_1 + \Delta_2$. Недоліком цього алгоритму є неможливість визначення ІВК, де сталась відмова;

4) попарне порівняння

$$|y_j - y_k| > b, \quad (2.54)$$

де j та $k \in \overline{1, m}$, але $k \neq j$. Цей алгоритм використовують при $m > 2$. ІВК, який відмовив, знаходять, аналізуючи нерівності (2.54), що виконуються. Вони мають спільне значення y_j , що відноситься до ІВК, який відмовив. Перевага цього алгоритму порівняно з алгоритмом (2.51) полягає в тому, що в даному разі не потрібен розрахунок $y_{\text{сер}}$ на етапі виявлення відмови.

За умови незалежності похибки від оцінки вимірюваної величини середнє значення сигналу датчика визначається за формулою:

$$y_{\text{сер}} = k \sum_{j=1}^m (y_j / \sigma_j), \quad (2.55)$$

де σ_j – середнє квадратичне відхилення виміру величини y_j j -тим приладом; k – ваговий коефіцієнт, який приводить оцінку $y_{\text{сер}}$ до незміщеного вигляду. Якщо σ_j однакові, то $k = 1/m$, якщо σ_j різні:

$$k = \sum_{j=1}^m (1/\sigma_j)^{-1}, \quad (2.56)$$

і оцінка буде незміщеною.

Для підвищення достовірності інформації у разі виявлення часткової відмови і $m > 2$ вилучають джерело часткової відмови і визначають нове значення $y_{\text{сер}}$, а у разі $m = 2$ застосовують той же метод, що і при виявленні повної відмови.

2.5.5. Алгоритмічна самодіагностика в контролерах

Самодіагностика аналогових входів в реміконтах здійснюється з допомогою таких типових алгоритмів, як НОР (бібліотечний номер – 46) – «нуль-орган» або СИТ (53) – «середнє з трьох» в РСВК та ПОК (29) – «пороговий контроль» або СИТ (53) – в РМК. Можливі варіанти тут відрізняються кількістю ІВК.

При відсутності дублювання ІВК і відомому допустимому діапазоні змінення контрольованої величини використовують схему порогового контролю (аналог схеми виявлення повної відмови), яка для РСВК наведена на рис. 2.8. Сигнал, який діагностується, подається на один з немасштабованих входів (1,3,5,7) алгоблока (АБ) з НОР – алгоритмом. На відповідний масштабний вхід (2,4,6,8) подається опорний сигнал (100%), який інвертується. Коефіцієнт, який визначає поріг спрацьовування нуль-органа визначається за формулою:

$$H1 (H2, H3, H4) = (y_{\text{max}} - y_{\text{min}})/2, \quad (2.60)$$

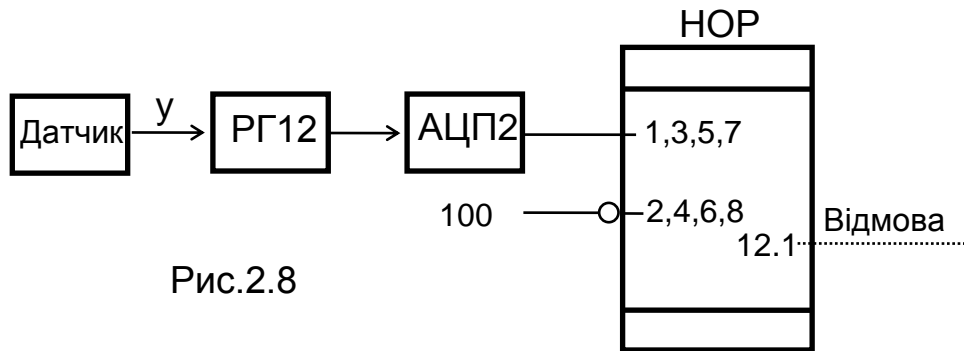


Рис.2.8

а масштабний коефіцієнт на вході суматора НОР-алгоритма за формулою

$$K2(K3, K4, K5) = - (y_{\max} - y_{\min}) / 200. \quad (2.61)$$

АБ з НОР-алгоритмом може діагностувати до 4 аналогових входів. У такому АБ налагодженню підлягають сталі часу фільтра ($T1-T4$), який має кожний канал, і $H5$ – гістерезис нуля-органа, однаковий для всіх каналів $H5 = 0$. Вихідний дискретний сигнал, який фіксує несправність, може бути використаний для перемикачів і блокування АБ, подаватися на індивідуальні дискретні виходи реміонта або надходити на вихід «відмова». Останній варіант доцільний у дубльованих моделях, де за сигналом «відмова» може здійснюватися перемикач на резервний комплект.

Якщо даних про граничноможливі значення сигналу y не має, то діагностування може вестися за схемою незбігів (аналог виявлення часткової відмови), при якій на пари входів АБ 1-2, 3-4, 5-6, 7-8 з НОР-алгоритмом подаються однакові аналогові входи. Тут може дублюватися весь ІВК при дублюванні датчиків, або лише КПС (при підмиканні одного датчика до двох КПС), або врешті лише ПЗО з відповідною перевіркою ІВК, КПС або ПЗО. У цьому випадку коефіцієнт $H1(H2, H3, H4)$ відповідає допустимому розходженню сигналів b (2.53), а $K2(K3, K4, K5) = 1$. Решта налаштувань і з'єднань ті ж самі, що й в попередньому випадку.

Обидва розглянутих варіанти здійснюють лише діагностику відмов без підвищення достовірності інформації. Для підвищення достовірності інформації застосовують схему виділення середнього з трьох за допомо-

гою АБ з СИТ-алгоритмом, який відкидає максимальний і мінімальний сигнали, пропускаючи середній за значенням сигнал. Так, як і в попередньому випадку, залежно від місця розпаралелювання сигналу, діагностуватися може ІВК, КПС або лише ПЗО. Вихідний сигнал СИТ-алгоритма фільтрується, підсумовується з завданням і обмежується стандартним обмежувачем. В алгоритмі передбачено також пороговий контроль відхилення вхідних максимального і мінімального сигналів від середнього. Якщо це відхилення більше від встановленої величини Н3 або Н5, то на дискретному виході 12.1 або 12.2 з'являється сигнал «відмова».

2.6. ВИЗНАЧЕННЯ УЗАГАЛЬНЕНИХ ПОКАЗНИКІВ

Розрахунок узагальнених показників, включаючи і техніко-економічні, є однією з найбільш поширених задач АСК, вирішення якої, в свою чергу, потребує розв'язання таких підзадач:

- * інтегрування і усереднення поточних значень вимірюваних величин;
- * визначення невимірюваної величини, включаючи і техніко-економічні показники (ТЕП), що пов'язані аналітичною або регресійною залежністю з декількома вимірюваними величинами.

2.6.1. Інтегрування та усереднення поточних значень вимірюваних величин

Задача дискретного інтегрування безперервно змінюваної за часом вимірюваної величини виникає в разі необхідності визначити сумарну кількість речовини або (та) енергії, які вносять або отримують на виробництві за певний інтервал часу (наприклад, витрати електроенергії, палива, різних речовин за годину, зміну, добу).

Дійсне значення сумарної кількості речовини або енергії S_x за інтервал часу T характеризується площею, обмеженою кривою $x(\tau)$ зміни витрати цієї речовини або енергії

$$S_x(T) = \int_0^T x(t) dt. \quad (2.62)$$

Звідси середнє значення

$$x_{\text{сер}} = S_x/T. \quad (2.63)$$

Найпростіший метод дискретного інтегрування – це **метод прямокутників** (рис. 2.9), що полягає у визначенні площі прямокутників (з постійним розміром одного боку T_0), які розміщені на площі інтегрування

$$S_x^{(kT_0)} = T_0 \sum_{k=0}^{n-1} x(kT_0). \quad (2.64)$$

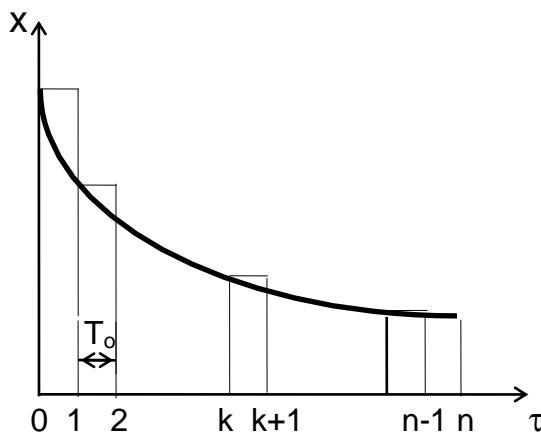


Рис.2.9

Безпосереднє використання формули (2.64) для дискретного інтегрування в ЕОМ нераціональне, оскільки при цьому треба зберігати n значень x в пам'яті машини. Тому застосовують рекурентну формулу (recurrens - лат., той, що повертається) з розрахунком площі на кожному кроці площі за формулою

$$S_x^{(kT_0)} = S_x^{[(k-1)T_0]} + T_0 \cdot x(kT_0), \quad (2.65)$$

при $S_x^{(0)} \neq 0$, $n - 1 \geq k \geq 0$. Це простий метод, однак він застосовується тільки при немалих n , оскільки він не враховує останнє значення ординати, що при малих n приводить до значних похибок. Значно менша похибка дискретного інтегрування у разі застосування **методу трапецій**, при використанні якого розраховується площа трапецій. Водночас же час метод трапецій потребує більших витрат пам'яті. Рекурентна формула розрахунку площі за цим методом має такий вигляд:

$$S_x^{(kT_0)} = S_x^{[(k-1)T_0]} + 0,5T_0\{x(kT_0) + x[(k-1)T_0]\},$$

(2.66) при $S_x^{(0)} = 0$; $n \geq k \geq 1$.

Дискретне усереднене значення знаходять за формулою:

$$x_{\text{сер}} = S_x / kT_o.$$

У контролерах типу «ремиконт-ломиконт» для інтегрування і усереднення використовують такі стандартні алгоритми: ИНТ(бібліотечний номер – 33) і ДИС (50) – в РМК, ИНТ(22) і ДСР(29) – в РСВК, ИНТ(012) – в ломиконтах.

2.6.2. Визначення невимірюваних величин

До невимірюваних величин відносяться як шукані величини, які неможливо безпосередньо виміряти через відсутність датчиків, так і узагальнені показники, включаючи і ТЕПи. Визначення **шуканої величини**, як правило, пов'язане з виміром непрямих показників, тобто величин, що якимось чином пов'язані з шуканою і характеризують її змінення. Потім за допомогою цих показників обчислюють шукану величину, причому зв'язок між непрямими показниками і шуканою величиною носить найчастіше стохастичний характер. В цьому випадку розрахунок шуканої величини здебільшого виконують методами регресійного аналізу, приводячи стохастичний зв'язок між ними до лінійної форми:

$$x^{\wedge} = b_o + \sum_{i=1}^L b_i \varphi_i, \quad (2.67)$$

де x^{\wedge} – оцінка шуканої величини; φ_i – непрямі показники. До такого виду зв'язку можуть бути приведені багато нелінійних форм рівнянь шляхом відповідних перетворень, включаючи і логарифмування, та заміни змінних.

Розрахунок параметрів рівняння (2.67) виконують методом найменших квадратів з одночасним вибором кількості членів регресійного полінома, аналізуючи значення дисперсії оцінки шуканої величини, що розраховується за формулою:

$$D = (N - L)^{-1} \sum_{n=1}^N [x(n) - b_o - \sum_{i=1}^L b_i \varphi_i(n)]^2, \quad (2.68)$$

де $n \in \overline{1, N}$ – обсяг вибірки; $i \in \overline{1, L}$ – кількість членів полінома.

З формули видно, що зі збільшенням обсягу вибірки збільшується точність визначення шуканої величини за рівнянням регресії (2.67). Що стосується кількості членів регресійного полінома L , то вплив цієї величини на D є двобічним. З одного боку, збільшення L дозволяє виявити все більш тонкі особливості поновлюваної функції і зменшити D за рахунок зменшення чисельника формули (2.68). З іншого боку, при L близьких до N збільшення кількості членів регресійного полінома приводить до зниження точності розрахунку, враховуючи зменшення знаменника формули (2.68). Тому в кожному конкретному випадку шукають оптимальне значення L .

Більш простою є задача визначення **узагальнених показників**, включаючи і ТЕПи, тому, що між цими шуканими величинами і показниками (вимірюваними величинами – ВВ), існує, як правило, відомий статичний зв'язок. Ускладнення, які тут виникають, іноді пов'язані з тим, що в момент вимірювання ТЕПи і ВВ можуть бути розділені динамічними каналами. Тому для підвищення точності розрахункової моделі бажано урахувати чи компенсувати динамічні зв'язки між величинами, що входять до цієї моделі. Подібна задача може виникнути і при використанні регресійної моделі. Для підвищення її точності також бажано відділити стохастичний зв'язок від динамічного.

Найчастіше шукана величина або узагальнений показник характеризують вихід об'єкта, а величини, що вимірюються – вхід. В цьому випадку величину, що вимірюється на вході об'єкта φ , треба привести до виходу об'єкта, тобто замінити величиною φ^n .

Для цього застосовують такі методи:

$$1) \varphi^n(\tau) = \varphi(\tau - \tau_{\text{зап}}), \quad (2.69)$$

де $\tau_{\text{зап}}$ – значення аргумента взаємкореляційної функції $R_{\varphi\varphi}(\Delta\tau)$, що відповідає її максимуму, тобто $\tau_{\text{зап}} = \arg \max R_{\varphi\varphi}(\Delta\tau)$;

$$2) \varphi^{\Pi}(\tau) = b \varphi(\tau - \tau_{\text{зап}}) + m_{\varphi}(1 - b), \quad (2.70)$$

де $b = R_{x\varphi}(\tau_{\text{зап}}) / k_{\varphi} D_{\varphi}$; m_{φ} – математичне сподівання величини φ ; k_{φ} – коефіцієнт передачі об'єкта по каналу « $\varphi - x$ »; D_{φ} – дисперсія зміни величини φ .

Найкращі результати компенсації динамічної похибки дає формула (2.70), але для її використання потрібно знати математичне сподівання та дисперсію величини φ , значення яких, як правило, невідоме. Тому найчастіше вживають формулу (2.69), використовуючи не тільки зсув у часі, але й усереднення вимірюваної величини.

3. ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

3.1. ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ ТА МЕТОДИ ДЕКОМПОЗИЦІЇ ЦИХ ЗАДАЧ

1. Технологічні комплекси як об'єкти керування. Технологічні комплекси (ТК) мають складну структуру і складаються з великої кількості взаємозв'язаних апаратів, об'єднаних матеріальними та енергетичними потоками у відділення, цехи та виробництва. В загальному випадку ТК складається з ланок – ділянок виробництва, які розглядаються як єдине ціле, причому ланкою може бути апарат, група апаратів або цех. У кожній ланці виділяють три групи змінних: вхідні x , вихідні y та керувальні дії u . Загалом ці величини є векторами, але можуть бути і скалярами. Параметрична схема ТК наведена на рис. 3.1, де x – вхідні змінні, що характеризують кількість і якість речовини та енергії на вході у ланку; y – вихідні змінні, що характеризують ті ж величини, але на виході з ланки; u – власні керувальні дії ланки. Змінні x і y називають змінними стану ТК, а виходи y , що є одночасно входами інших ланок – зв'язками.

Існує принципова відмінність між вихідними величинами у одного й того ж апарата або агрегату, коли він розглядається як автономний об'єкт автоматичного керування і коли він є ланкою ТК. У першому випадку вихідними величинами часто вважають такі, що характеризують техноло-

гічний процес усередині апарата або агрегату, наприклад, тиск, температура, рівень, густина тощо; у другому – такі, що характеризують матеріальний або енергетичний потік на виході з апарата або агрегату.

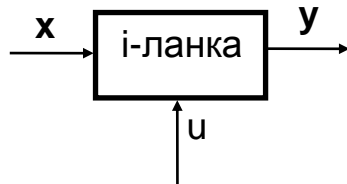


Рис. 3.1

Характер складного ТК визначається типом ланок та способом їх об'єднання. Виділяють 4 типи ланок: з'єднувальні (рис. 3.2,а), роз'єднувальні (рис. 3.2,б), об'єднувальні (рис. 3.2,в) та складні (рис. 3.2,г). За способом об'єднання ланок виділяють такі елементарні структури ТК: з послідовним з'єднанням ланок (рис. 3.3,а), з послідовним з'єднанням ланок та зворотним зв'язком (рециклом) (рис. 3.3,б), з паралельним з'єднанням ланок (рис. 3.3,в). Прикладом перших ТК є багатокорпусні випарні установки, других – дефекосатураційне відділення, третіх – парові котли, що працюють на загальну парову магістраль.

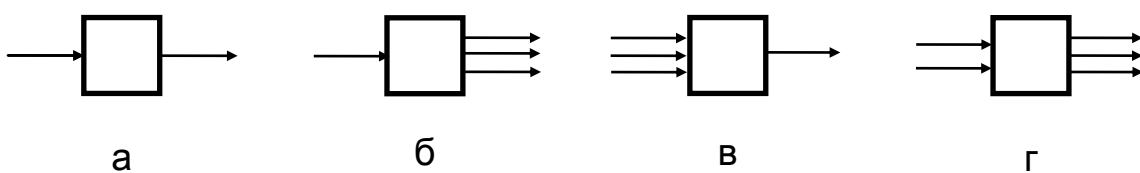
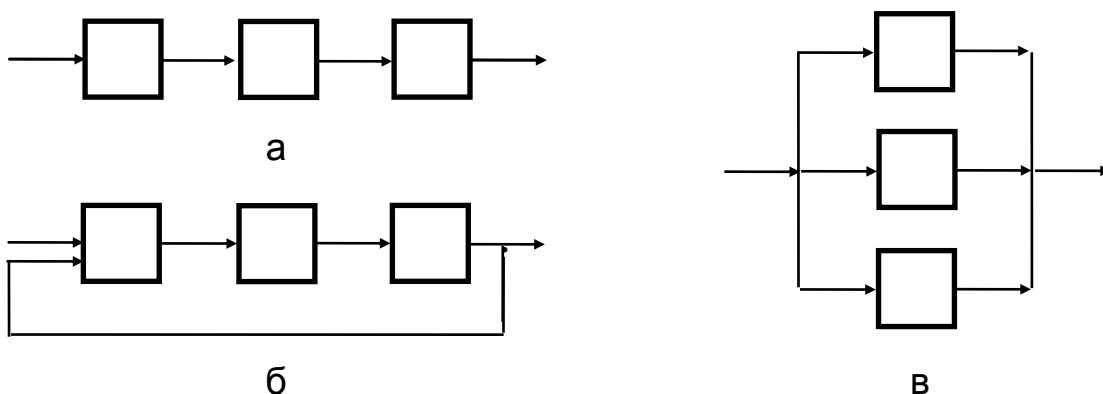


Рис.3.2



23
Рис. 3.3

2. Задача оптимального керування ТК. Розглянемо загальну постановку задачі оптимального керування складним ТК. Цільова функція оптимального керування складним ТК є функцією входів, виходів і керувальних дій ланок i , як правило, має адитивну форму

$$I = \sum_i^n \varphi_i(x_i, y_i, u_i) \rightarrow \text{opt}, \quad i \in \overline{1, n}, \quad (3.1)$$

де φ_i – цільова функція i -ї ланки; n – кількість ланок в ТК. Для послідовної структури ТК, коли критерій оптимізації є продуктивністю технологічного комплексу, цільова функція залежить від виходу останньої ланки

$$I = \varphi_n(y_n) \rightarrow \text{opt}. \quad (3.2)$$

Обмеження цієї задачі Ω складаються з математичної моделі ТК та власне обмежень на змінні. Математична модель ТК у свою чергу складається з математичних моделей i -ї ланки та зв'язків. Першу записують у такому вигляді:

$$y_i = f_i(x_i, u_i), \quad i \in \overline{1, n}, \quad (3.3)$$

а другу – у такому вигляді:

$$x_i = \sum_j^m c_{ij} y_j, \quad i \in \overline{1, n}, \quad j \in \overline{1, m}, \quad (3.4)$$

де m – кількість вихідних змінних, що об'єднує x_i ; c – коефіцієнт, який ураховує частку об'єднуваного потоку у загальному.

Кожна з трьох груп змінних має власні обмеження:

$$x_i \in \overline{x_{i \min}, x_{i \max}}, \quad (3.5)$$

$$y_i \in \overline{y_{i \min}, y_{i \max}}, \quad (3.6)$$

$$u_i \in \overline{u_{i \min}, u_{i \max}}. \quad (3.7)$$

Таким чином, загальна математична постановка задачі оптимального керування складними ТК включає співвідношення (3.1 – 3.7).

3. Декомпозиція задачі оптимального керування ТК. Розмірність такої задачі дуже велика і дорівнює $n(s_x + s_y + s_u)$, де s_x, s_y, s_u – кількість складових відповідно до векторів x, y і u , тому розв'язанню цієї задачі обов'язково передуює її декомпозиція як засіб зменшення розмірності. Найпоширенішим методом декомпозиції є декомпозиція з проміжними завданнями (ДПЗ), при цьому використовується та обставина, що змінні u_i належать тільки до однієї ланки, а змінні x_i та y_i визначають міжланкові зв'язки ТК.

ДПЗ полягає у тому, що значення внутрішніх зв'язків, які з'єднують окремі ланки, задаються верхнім рівнем ієрархії управління, а на нижньому рівні розв'язують підзадачі керування при заданих зв'язках. Це означає, що задаються значеннями y_i^* , далі за допомогою (3.4) розраховують x_i^* . Після чого задачу оптимізації ТК розбивають на $n+1$ підзадач: n локальних підзадач керування окремою ланкою і одну підзадачу координації (центру), яка є задачею верхнього рівня ієрархії. При цьому розмірність локальної підзадачі буде становити s_u , а розмірність підзадачі координації $n(s_x + s_y)$.

Локальні підзадачі формулюються таким чином: знайти керувальні дії u_i , що забезпечують максимум цільової функції φ_i при заданих входах x_i^* і виходах y_i^* :

$$\begin{aligned} & \varphi_i(x_i^*, y_i^*, u_i) \rightarrow \text{opt}, & (3.8) \\ \Omega: & \left[\begin{array}{l} y_i = f_i(x_i, u_i), & (\text{див. 3.3}) \\ x_i = x_i^*, & (3.9) \\ y_i = y_i^*, & (3.10) \\ u_i \in \underline{u_{i\min}}, \overline{u_{i\max}}. & (\text{див. 3.7}) \end{array} \right. \end{aligned}$$

На верхньому рівні розв'язується така задача: знайти x_i^* і y_i^* , що забезпечують максимум цільової функції I при заданих керувальних діях:

$$I = \sum_i^n \varphi_i(x_i, y_i, u_i^*) \rightarrow \text{opt}, \quad (\text{див. 3.1})$$

$$x_i = \sum_j c_{ij} y_j, \quad (\text{див. 3.4})$$

$$\Omega: x_i \in x_{i \min}, x_{i \max}, \quad (\text{див. 3.5})$$

$$y_j \in y_{j \min}, y_{j \max}, \quad (\text{див. 3.6})$$

Враховуючи, що методи розв'язання задач нижнього рівня вивчаються в інших дисциплінах, розглянемо далі методи розв'язання підзадачі верхнього рівня.

3.2. ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ТК З АГРЕГАТАМИ НЕПЕРЕРВНОЇ ДІЇ

3.2.1. Оптимальне керування ТК з паралельно працюючими агрегатами

Системи паралельно працюючих агрегатів неперервної дії (АНД) досить поширені. До них відносяться системи паралельно працюючих насосів, теплообмінників, котлоагрегатів та інших апаратів. Паралельна структура ТК має певні переваги:

- підвищує надійність роботи устаткування за рахунок перерозподілу навантажень;

- дає можливість узгодити навантаження агрегатів різної продуктивності шляхом послідовного з'єднання ділянок з різною кількістю апаратів;

- дозволяє нарощувати потужність групи паралельно працюючих агрегатів за рахунок підмикання нових.

Якщо окремий ТК паралельної структури працює з недовантаженням, то виникає задача оптимального перерозподілу навантажень, яка розв'язується як підзадача координації задачі оптимізації такого комплексу. Існують два варіанту постановки такої підзадачі: перший – розподіл вхідного навантаження і другий – розподіл вихідного навантаження. Найбільш поширений перший варіант, коли необхідно розподілити задану кількість сировини або енергії для досягнення максимальної продуктивності:

$$\sum_i \varphi_i(x_i) \rightarrow \max, \quad (3.11)$$

$$\Omega: \begin{cases} \sum_i^n x_i = x_0, \\ x_i \in \overline{x_{i \min}, x_{i \max}}. \end{cases} \quad (3.12) \quad (\text{див. 3.5})$$

За такої постановки задачі задане навантаження комплексу на вході x_0 (3.12) фактично використовується як математична модель зв'язків.

Вибір способу розв'язання цієї задачі залежить від виду цільової функції. Якщо вона *лінійна*, то задачу можна розв'язують методами лінійного програмування. Якщо цільова функція *нелінійна, безперервна, опукла та її можна диференціювати*, тобто є задачею нелінійного програмування, то вона може бути розв'язана за допомогою невизначених множників Лагранжа. При цьому для визначення максимуму необхідно, щоб характеристика ланки була опукла угору, тобто $d^2\varphi/dx^2 < 0$, а при визначенні мінімуму – опукла донизу, тобто $d^2\varphi/dx^2 > 0$, якщо $\varphi_i(x_i)$ може бути двічі продиференцьована. І, нарешті, якщо цільова функція має *довільну форму*, то застосовують метод динамічного програмування (МДП), покроково розв'язуючи задачу. При цьому спочатку навантаження розподілюють між двома агрегатами, потім між третім і двома першими, які розглядають, як один, і т.д.

Більш докладно розглянемо перший і другий випадки, враховуючи що найчастіше МДП використовують для паралельної структури ТК. При лінійності цільової функції:

$$\varphi_i(x_i) = a_i + b_i x_i, \quad (3.13)$$

де a_i, b_i – постійні коефіцієнти. Для розв'язання задачі (3.11) крім методів лінійного програмування можна застосувати і більш простий **метод ранжування агрегатів** за величиною b_i з побудовою ряду:

$$b_1 > b_2 > \dots > b_i > \dots > b_n. \quad (3.14)$$

Далі задачу розв'язують в такій послідовності. Спочатку для всіх агрегатів встановлюють навантаження $x_i = x_{i,max}$. Якщо при цьому сумарне навантаження перевищує задане

$$\sum_{i=1}^n x_i > x_0, \quad (3.15)$$

то зменшують до найменшого значення навантаження агрегату з найменшим нахилом характеристики b_n , тобто $x_n = x_{n,min}$ і знову перевіряють наявність нерівності (3.15), зменшуючи навантаження агрегатів $n - 1$, $n - 2$ і т.д. доти, доки загальна сума не стане меншою x_0 . Тоді визначають навантаження j -го агрегату за формулою:

$$x_j = x_0 - \sum_{i=1}^{j-1} x_{i,max} - \sum_{i=j+1}^n x_{i,min}, \quad (3.16)$$

причому всі агрегати з 1-го по $(j-1)$ -й залишають з максимальним навантаженням, а агрегати з $(j+1)$ -го по n -й – з мінімальним. На практиці, коли загальне навантаження паралельних агрегатів близьке до максимально можливого, виявляється, що всі агрегати, крім останнього за рангом, повинні працювати з постійним максимальним навантаженням, а всі коливання загального навантаження сприймає останній за рангом агрегат.

Як зазначалось вище, у разі безперервної, нелінійної, опуклої цільової функції, яка може бути продиференційована, застосовують **метод невизначених множників Лагранжа**. При цьому спочатку складають допоміжну функцію Лагранжа з урахуванням (3.11) і (3.12):

$$\Phi(x_i, \lambda) = \sum_{i=1}^n \varphi_i(x_i) + \lambda(x_0 - \sum_{i=1}^n x_i) \quad (3.17)$$

де λ – невизначений множник Лагранжа. Далі визначають часткові похідні за всіма незалежними змінними, тобто x_i і λ , розв'язуючи систему $n+1$ рівнянь. Отриманий таким чином розв'язок є необхідною умовою оптимізації такого ТК і має бути перевірений на достатність. Зазначимо, що при відсутності обмеження на сумарний потік (3.12) розглянута задача

розв'язується методом класичного аналізу, а попередня, при лінійній цільовій функції, надання всім $x_i = x_{i \max}$.

3.2.2. Оптимальне керування ТК з послідовно працюючими агрегатами

Ця система з'єднання агрегатів неперервної дії (АНД) також поширена, як і попередня. Головна її перевага – це простота міжагрегатних зв'язків. Схема такого ТК з позначенням основних змінних наведена на рис. 3.4.

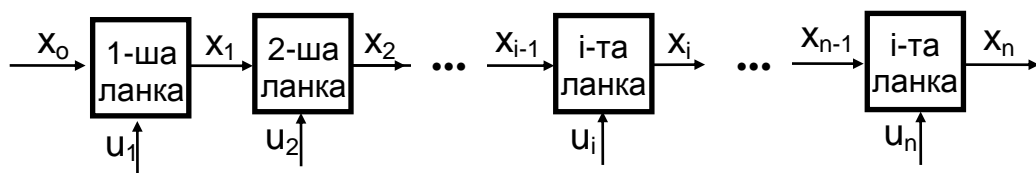


Рис. 3.4

Постановка підзадачі координації задачі оптимального керування таким комплексом має вигляд:

$$\sum_{i=1}^n \varphi_i(x_i, x_{i-1}) \rightarrow \max, \quad (3.18)$$

$$\Omega: \begin{cases} x_i = f(x_{i-1}), & (3.19) \\ x_i \in x_{i \min}, x_{i \max}, & (3.20) \end{cases}$$

де (3.18) – цільова функція, а (3.19) – математична модель зв'язків, причому для такої структури ТК вона одночасно є і математичною моделлю ланки.

Вибір методу розв'язання цієї задачі так, як і в попередньому випадку, залежить від виду цільової функції і виконується аналогічно. Якщо лінійна цільова функція має такий вигляд

$$\varphi_i(x_i, x_{i-1}) = a_i + b_i x_{i-1} + c_i x_i, \quad (3.21)$$

то співвідношення (3.18) після перетворень можна записати таким чином:

$$\sum_{i=1}^n$$

$$\sum_i a_i + \sum_i (b_{i+1} + c_i)x_i + b_1 x_0 + c_n x_n \rightarrow \max \quad (3.22)$$

У цьому випадку задача лінійного програмування виявляється виродженою, оскільки значення x_i визначається знаками при коефіцієнтах. Якщо цільова функція максимізується, то

$$\text{при } b_{i+1} + c_i > 0 \quad x_i = x_{i \max}, \quad (3.23)$$

$$\text{при } b_{i+1} + c_i < 0 \quad x_i = x_{i \min}. \quad (3.24)$$

Розглянемо більш докладно випадок, коли цільова функція довільна для розв'язання задачі застосовують метод динамічного програмування (МДП) Р.Беллмана, що є ефективним методом оптимізації багатостадійних процесів. Ідея методу полягає у заміні багатомірної задачі оптимізації послідовністю задач меншої розмірності, причому така декомпозиція залежить від виду функції цілі і обмежень. В основі МДП лежить сформульований Р.Беллманом **принцип оптимальності**, згідно з яким *оптимальне керування визначається кінцевою ціллю керування і початковим станом системи і не залежить від стану, який передує початковому*. Це означає, що для будь-якої траєкторії кожна її дільниця, яка зв'язує будь-які проміжну і кінцеву точки траєкторії, також є оптимальною траєкторією.

Покроковий розрахунок оптимальних значень змінних керування і змінних стану найчастіше виконують «з кінця», починаючи з останнього і закінчуючи першим агрегатом за допомогою рекурентної формули Беллмана, записаної для випадку, коли критерій оптимізації максимізується:

$$I_i^*(x_{i-1}, x_n^*) = \max_{x_i \in \Omega_x} [\varphi_i(x_{i-1}, x_i) + I_{i+1}^*(x_i, x_n^*)] \quad (3.25)$$

Таким чином, на i -му кроці оптимальне управління вибирають з умов максимуму двох членів суми, що містяться у квадратних дужках, з яких другий I_{i+1}^* – відповідає оптимальному значенню критерію на попередньому $(i+1)$ -му інтервалі, а перший φ_i за допомогою x_{i-1} змінюють так, щоб максимізувати суму у квадратних дужках.

Процес розв'язання задачі за допомогою МДП поділяють на два етапи. На першому – для кожної наступної ланки (кроку) записують таблично чи аналітично залежність, що зв'язує $x_i^{\text{опт}}$ і $\varphi_i^{\text{опт}}$ з входом даної ланки x_{i-1} , а на другому – знаходять конкретні значення x_i^* і φ_i^* .

Розглянемо детальніше процес розрахунку оптимального керування для випадку, коли задано вихід ТК і задачу розв'язують «з кінця». Спочатку при заданому x_n^* знаходять таку величину x_{n-1} , при якій функція цілі для останньої ланки була б максимальною, тобто виходячи з (3. 25) і враховуючи, що $I_{n+1} = 0$, отримуємо

$$I_n^*(x_{n-1}, x_n^*) = \max_{x_{n-1}} [\varphi_n(x_{n-1}, x_n^*)]. \quad (3. 26)$$

У цьому виразі x_n^* – задане число, тому процедура максимізації цільової функції непотрібна і необхідне значення $x_{n-1}^{\text{опт}}$ може бути знайдене з математичного опису n -ї ланки

$$x_{n-1}^{\text{опт}} = f_n(x_n^*). \quad (3. 27)$$

На другому кроці оптимізації до останньої ланки приєднують $(n-1)$ -у ланку і визначають x_{n-2} так, щоб функція цілі для двох ланок була б максимальною. При цьому дві ланки розглядають як одну з виходом x_n^* і входом x_{n-2}

$$I_{n-1}^*(x_{n-2}, x_n^*) = \max_{x_{n-2}} [\varphi_{n-1}(x_{n-2}, x_{n-1}) + I_n^*(x_{n-1}, x_n^*)]. \quad (3. 28)$$

Одночасно визначають залежність

$$x_{n-2}^{\text{опт}} = f_{n-1}(x_n^*, x_{n-1}). \quad (3. 29)$$

Далі до двох ланок додають 3-тю, 4-ту і т.д. Дійшовши до 1-ї ланки, знаходять x_0 , що забезпечує максимум функції цілі всієї системи

$$I_1^*(x_0, x_n^*) = \max_{x_0} [\varphi_1(x_0, x_1) + I_2^*(x_1, x_n^*)], \quad (3. 30)$$

$$x_0^{\text{опт}} = f_1(x_n^*, x_1). \quad (3. 31)$$

На другому етапі оптимальні зв'язки розраховують за формулами:

$$\begin{aligned} x_{n-1}^* &= f_n(x_n^*), \\ x_{n-2}^* &= f_{n-1}(x_n^*, x_{n-1}^*), \\ &\dots \dots \dots \\ x_0^* &= f_1(x_n^*, x_1^*). \end{aligned}$$

У тому випадку, коли ні вхід, ні вихід системи не задані, не має значення з кінця чи зпочатку технологічного комплексу починають розрахунок, але при цьому вхід ТК x_0 чи його вихід x_n є функціями, а не заданими числами, що збільшує розмірність задачі, яка розв'язується.

Розглянемо випадок, коли задачу ускладнює наявність рециклу (повернення) продукту. Такі системи застосовують у випадку, коли ступінь вилучення продукту з сировини при одноразовому проходженні ланцюжка послідовних агрегатів виявляється малою і потрібно повторити процес. Схема такого комплексу зображена на рис. 3.5.

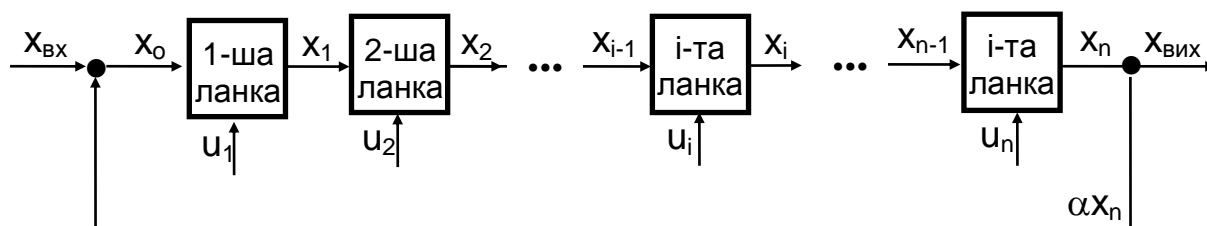


Рис. 3.5

Цю задачу прагнуть звести до попередньої з урахуванням таких співвідношень

$$x_{вх} = x_0 - \alpha x_n, \quad x_{вих} = x_n (1 - \alpha), \tag{3.32}$$

де α – ступінь рециркуляції. Якщо вхідні і вихідні змінні системи вільні, то задачу оптимізації розв'язують для відповідної розімкнутої системи, а потім визначають $x_{вх}$ та $x_{вих}$, використовуючи (3.32). Якщо вхідні і вихідні змінні $x_{вх}^*$ та $x_{вих}^*$ задані, то задача керування зводиться до оптимізації розімкнутої системи із заданими входом x_0^* і виходом x_n^*

$$x_0^* = x_{вх}^* + [\alpha x_{вих}^* / (1 - \alpha)], \quad x_n^* = x_{вих}^* / (1 - \alpha). \tag{3.33}$$

Аналогічно чинять, коли задане лише $x_{вх}^*$ або тільки $x_{вих}^*$.

Розрахунок можна також вести за методом розриву зворотніх зв'язків. У цьому разі величину x_0 вважають незалежною змінною, а рівняння зв'язку, пов'язане з рециклом – обмеженням у формі рівності, накладеним на змінні величини. Далі розрахунок ведуть за будь-яким методом, який застосовують для розрахунку систем послідовної структури.

3.3. ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ТК З АГРЕГАТАМИ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ

Для узгодження роботи агрегатів періодичної дії (АПД) з безперервно функціонуючим виробництвом їх організують в технологічні комплекси (ТК), які за умови безперервної подачі сировини чи початкового напівпродукту безперервно видають готовий продукт або напівпродукт за рахунок підключення одних агрегатів після закінчення розвантаження інших. У найбільш загальному випадку такий ТК може мати n паралельних ланок по m паралельно увімкнених агрегатів у кожному з них.

Для вирішення задач керування ТК АПД має значення не тільки кількість паралельних ланок і кількість апаратів у кожній ланці, але й можливість одночасного завантаження або вивантаження кількох АПД. У подальшому будемо відрізняти ТК АПД з *послідовно-часовим* (ПсЗ) або *паралельно-часовим* (ПрЗ) завантаженням чи вивантаженням (ПсВ, ПрВ). При ПсЗ комплекс має таку потоково-транспортну завантажувальну систему, яка одночасно може здійснювати завантаження лише одного АПД. При ПрЗ можливе одночасне завантаження кількох АПД. Аналогічно, в залежності від можливості одночасного вивантаження кількох АПД відрізняють ТК з ПсВ та ПрВ. Останні, звичайно, мають на виході накопичувальні ємності, до яких у період вивантаження можуть одночасно підмикатися кілька АПД.

Комплекси з ПрЗ і ПрВ мають більшу гнучкість в керуванні порівняно з тими, що мають ПсЗ і ПсВ. Особливо це стосується тих систем керування, де основні керувальні дії пов'язані з часом початку завантаження і

вивантаження АПД, але наявність накопичувальних ємностей збільшує втрати корисного продукту за рахунок збільшення часу перебування продукту в переробці. Можливі 4 схеми поєднання видів завантаження-вивантаження: ПсЗ – ПсВ, ПсЗ – ПрВ, ПрЗ – ПсВ, ПрЗ – ПрВ.

Кількість агрегатів комплексу з ПсВ за умови безперервної видачі готового продукту чи напівпродукту визначають за формулою:

$$m \Rightarrow K_3 m_p = K_3 \tau_{\text{ц}} / \tau_{\text{вив}} = K_3 (\tau_{\text{зав}} + \tau_p + \tau_{\text{вив}} + \tau_{\text{під}}) / \tau_{\text{вив}}, \quad (3.34)$$

де m_p – кількість агрегатів комплексу, що беруть участь у циклі; K_3 – коефіцієнт запасу, який визначає кількість резервних апаратів; $\tau_{\text{зав}}, \tau_p, \tau_{\text{вив}}, \tau_{\text{під}}$ – тривалість операцій відповідно завантаження, робочої стадії, вивантаження, підготовчих (до завантаження), що у сумі визначають тривалість циклу $\tau_{\text{ц}}$. При цьому час вивантаження визначається з умов забезпечення необхідної продуктивності комплексу:

$$\tau_{\text{вив}} = V_p / g^*, \quad (3.35)$$

де V_p – робочий об'єм апарата, g^* – задана продуктивність комплексу. Якщо в процесі керування комплексом необхідно змінювати g^* , то для визначення m беруть мінімальне $\tau_{\text{вив}}$.

У цілому ряді задач оптимізації режимів роботи АПД критерій керування I , який оптимізують, відносять до тривалості циклу $\tau_{\text{ц}}$ або до тривалості робочої стадії τ_p , тобто

$$I_B = I / T, \quad (3.36)$$

де $T = \tau_{\text{ц}}$ або τ_p . Для визначення оптимального керування в умовах, коли верхня межа T підлягає вибору, знаходять безліч оптимальних розв'язків I^* для різних значень $T \in (0, T_{\text{max}})$. А далі побудувавши залежність $I^*(T)$, у випадку пошуку максимального I_B , проводять з початку координат дотичну до кривої $I^*(T)$, а точка дотику визначить шукані значення I_B^* і T^* (рис. 3.6).

У тому разі, коли мета керування зводиться до максимізації циклової продуктивності апарата $g_{\text{ц}} = G / \tau_{\text{ц}}$, максимальне зняття продукту G за

одиницю часу може бути визначене за допомогою кінетичної кривої $G(\tau)$, за якою знаходять таке значення $\tau_{ц}$, що відповідає максимальному g . Для цього на від'ємній напівосі абсцис графіка кінетичної кривої $G(\tau)$ (рис. 3.7) відкладають час допоміжних операцій $\tau_{д} = \tau_{зав} + \tau_{вив} + \tau_{під}$. Потім з точки А проводять дотичну до кінетичної кривої, визначаючи таким чином точку В. Проекція точки В на вісь абсцис дає оптимальне значення $\tau_{р}^*$ і $\tau_{ц}^*$, тому що всі інші прями з точки А, які будуть мати спільні з кінетичною кривою точки будуть мати менші значення g .

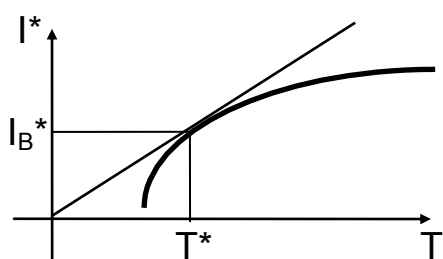


Рис.3.6

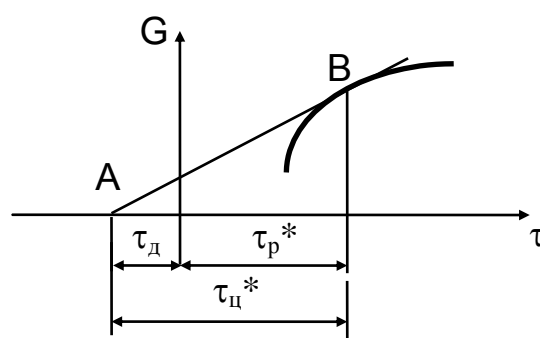


Рис. 3.7

Для комплексу АПД з ПсВ і безперервним вихідним потоком основні керувальні дії пов'язані з часом початку вивантаження і завантаження агрегатів цього комплексу, тому використання, наприклад, часу початку вивантаження для організації безперервного вихідного потоку буде приводити до відхилень від оптимальних режимів, оскільки в цьому разі

$$\tau_{ц}^* \neq \tau_{ц}^H, \quad (3.37)$$

де $\tau_{ц}^*$ – тривалість циклу, що доставляє екстремум функціоналу (3.36), включаючи і знаття продукту за одиницю часу; $\tau_{ц}^H$ – тривалість циклу, вибрана з умов безперервності вихідного потоку комплексу.

Для ТК АПД з ПрЗ - ПсВ зменшенню критерію

$$I = \sum_{i=1}^m |t_{ци}^* - t_{ци}^H| \rightarrow \min \quad (3.38)$$

сприяє такий алгоритм вибору АПД для вивантаження: *по закінченні вивантаження одного з АПД наступає початок вивантаження того з готових до цієї операції АПД, який раніше за інші досяг оптимальної три-*

валості циклу $\tau_{\text{ц}}^*$. Якщо таких АПД немає, то вивантажують агрегат, який має найбільшу тривалість робочої стадії τ_p в даний момент. Логічна схема алгоритму (ЛСА) для випадку, коли ТК має три АПД, має такий вигляд:

$$\Lambda^* = B_0 \downarrow p_1 \uparrow \downarrow B_1 q_1 \downarrow p_2 \uparrow \downarrow B_2 q_2 \downarrow p_3 \uparrow \downarrow B_3 q_3 \downarrow p_7 \uparrow p_4 \uparrow p_5 \uparrow p_6 \uparrow, \quad (3.39)$$

де B_0 – оператор початку; B_1, B_2, B_3 – оператор відповідно вивантаження 1-го, 2-го і 3-го АПД; p_1, \dots, p_7 – логічні умови, що залежать від виконання нерівності $\tau \geq \tau_{\text{ц}}^*$ і стану апарата; q_1, q_2, q_3 - очікувальні логічні умови.

$$\begin{aligned} p_1 &= y_1^2 \wedge y_1^3, \quad y_1^2 = x_1 \wedge \bar{y}_2, \quad y_1^3 = x_1 \wedge \bar{y}_3, \\ p_2 &= y_2^1 \wedge y_2^3, \quad y_2^1 = x_2 \wedge \bar{y}_1, \quad y_2^3 = x_2 \wedge \bar{y}_3, \\ p_3 &= y_3^1 \wedge y_3^2, \quad y_3^1 = x_3 \wedge \bar{y}_1, \quad y_3^2 = x_3 \wedge \bar{y}_2, \end{aligned} \quad (3.40)$$

де x_1, x_2, x_3 – логічні змінні, при $\tau_{\text{ц}i} < \tau_{\text{ц}i}^*$ $x_i = 0$, при $\tau_{\text{ц}i} \geq \tau_{\text{ц}i}^*$ $x_i = 1$, $i = 1, 2, 3$; $y_1^2, y_1^3, y_2^1, y_2^3, y_3^1, y_3^2$ – сигнали, за якими дається дозвіл відповідно 2-м АПД на вивантаження 1-го, 3-м – на вивантаження 1-го, 1-м – на вивантаження 2-го і т.д.

При наявності дозволу $y_i^j = 1$, при відсутності – $y_i^j = 0$, $i = 1, 2, 3$; $j = 1, 2, 3$; $i \neq j$. Кожна з логічних умов p_1, p_2, p_3 виконується, якщо є дозвіл на вивантаження від двох інших АПД. Такий дозвіл надходить, якщо для даного АПД $\tau_{\text{ц}i} \geq \tau_{\text{ц}i}^*$ і $x_i = 1$, а також відсутні дозволи на вивантаження інших АПД від даного. Наприклад, при $x_1=1, x_2=0, x_3=0$, відсутні дозволи на вивантаження 2-го та 3-го АПД від першого $y_2^1=0, y_3^1=0$, отже $y_2=1, y_3=1$, а $p_1=1$, тобто логічна умова p_1 виконується, що приводить до вивантаження 1-го АПД. Якщо в період його вивантаження спочатку умови $\tau_{\text{ц}i} \geq \tau_{\text{ц}i}^*$ досягає 2-ий АПД $x_2=1$, а потім 3-ій $x_3=1$, то першим у чергу на вивантаження стає 2-ий АПД.

Дійсно, оскільки при $x_3=0, \bar{y}_3=0$ і $y_3=1$, то при появі сигналу $x_2=1, y_2^3=1$, а y_2^1 буде дорівнювати 1, коли закінчиться вивантаження 1-го

АПД. Із закінченням вивантаження 1-го апарата пов'язане також виконання очікувальної умови $q_1 = y_1$.

* Оператори (позиційні), як і логічні умови, можуть приймати значення 0 або 1. Як правило, значення операторів відповідає увімкненню (1) або вимкненню (0) вико-навчого пристрою. Виконуються оператори зліва направо при відсутності зліва логічних умов (ЛУ) або якщо ці умови виконуються, тобто $p_i = 1$. При невиконанні ЛУ ($p_i = 0$) відбувається перехід за стрілкою, початок якої $\hat{\uparrow}$ ставлять праворуч від ЛУ, а кінець \downarrow ліворуч від того оператора, до якого здійснюється перехід. Адресу переходу знаходять за допомогою чисел, проставлених над стрілками. Крім звичайних ЛУ p_i є також очікувальні q_i , після яких не ставлять стрілки, тому виконання наступного опе-ратора почнеться тільки в разі змінення очікувальної умови свого значення з 0 на 1.

Якщо ні одна з логічних умов p_1, p_2, p_3 , тобто

$$p_7 = \bar{p}_1 \vee \bar{p}_2 \vee \bar{p}_3 = 1, \quad (3.41)$$

то здійснюється перехід до другої частини алгоритму, пов'язаної з вико-нанням ЛУ p_4, p_5, p_6 , які забезпечують вивантаження того апарата, в якому раніше, ніж в інших, почала виконуватися робоча стадія

$$\begin{aligned} p_4 &= y_4^2 \wedge y_4^3, \quad y_4^2 = x_4 \wedge \bar{y}_2, \quad y_4^3 = x_4 \wedge \bar{y}_3, \\ p_5 &= y_5^1 \wedge y_5^3, \quad y_5^1 = x_5 \wedge \bar{y}_1, \quad y_5^3 = x_5 \wedge \bar{y}_3, \\ p_6 &= y_6^1 \wedge y_6^2, \quad y_6^1 = x_6 \wedge \bar{y}_1, \quad y_6^2 = x_6 \wedge \bar{y}_2, \end{aligned} \quad (3.42)$$

де x_4, x_5, x_6 - логічні умови, пов'язані з тривалістю τ_p відповідно 1-го, 2-го і 3-го апарата, тобто, для апарата з максимальним τ_p $x_{i+3} = 1$, для решти $x_{i+3} = 0$ або $x_{i+3} = 1$ при $\tau_{pi} = \max$ і $x_{i+3} = 0$ при $\tau_{pi} \neq \max$.

Описаний алгоритм управління комплексом АПД доцільно використо-вувати при ПрЗ - ПсВ. При ПсЗ - ПсВ в режимі нормального функціо-нування комплексу послідовність завантаження апаратів зберігається і при їх вивантаженні. Однак незалежно від того, чи використовується ПрЗ, чи ПсЗ при ПсВ для мінімізації (3.38) доцільно коригувати час початку завантаження наступного апарата на основі прогнозованого значення $\tau_{ци}^*$

$$\tau_{pi} = k_n \left(\sum_{i=1}^m \tau_{вив i} - \tau_{ци}^* \right), \quad (3.43)$$

де τ_{pi} – зміщення за часом початку завантаження i -го апарата відносно завантаження попереднього $i-1$ (за часом завантаження) апарата; k_n –

поправковий коефіцієнт, який ураховує неточність прогнозу $\tau_{ци}^*$. Значення коефіцієнта вибирають в інтервалі $[0,9...1,1]$ залежно від характеру функції $I^*(T)$ біля точки $\tau_{ци}^*$. Що стосується ТК АПД з ПрВ, то в цьому разі у зв'язку з відсутністю вимог до $\tau_{ци}^H$ вивантажується той апарат, який у цей момент досяг $\tau_{ци}^*$.

3.5. СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧОГО ПОТОКУ СИПКИХ ПРОДУКТІВ

3.5.1. Характеристика об'єкта керування

Автоматизація взаємної узгодженості за продуктивністю суміжних технологічних комплексів залишається однією з основних вимог до АСК і стосовно виробничого потоку сипких продуктів, тому що і в цьому разі відсутність системи автоматизації виробничого потоку може призвести до роботи окремих ТК в режимах недовантаження або перевантаження, що, у свою чергу, викликає додаткові втрати корисних продуктів.

Об'єктом керування в цьому разі є потоково-транспортна система (ПТС), що являє собою комплекс машин та механізмів для транспортування та переробки твердих матеріалів в єдиному технологічному потоці. Транспортуючими засобами ПТС є транспортери, елеватори, норії, шнеки, пневмопроводи тощо, які забезпечують переміщення твердих матеріалів за рахунок роботи їх електроприводів. ПТС складеться з дільниць і трактів. Дільниця – це частина ПТС, обмежена буферними ємностями БЄ (бункерами, накопичувачами тощо) і призначена для виконання окремого технологічного процесу. Тракт – це частина дільниці, що може функціонувати автономно.

Буферні ємності сипких продуктів також установлюють на вході та виході технологічних комплексів, що виконують операції переробки (ТКП), однак крім демпфірування коливань витрат, БЄ часто виконують

функції дозуючих живильників. ПТС більш складні за конфігурацією, ніж системи транспортування рідинних продуктів. Крім того, об'єм БЄ, як правило, впливає тільки на час переробки продукту і не впливає на його втрати.

Системи автоматизації ПТС часто складаються з двох підсистем: дискретного керування електроприводами та неперевного регулювання витрати сипких продуктів.

3.5.2. Системи автоматизації виробничого потоку

1. Підсистема дискретного керування електроприводами. Основне призначення – запобігання утворенню завалів твердих матеріалів на транспортуючих механізмах. Для цього послідовно запускаються механізми у напрямку, зворотному потоку матеріалів, та автоматично зупиняються всі механізми, що розташовані за потоком перед тим механізмом, який аварійно зупинився. Через це нумерацію двигунів тракту чи ділянки ПТС починають з першого за запуском двигуна, що розташований в кінці тракту або ділянки. При керуванні ПТС може бути використаний один з таких режимів:

місцевий – керування механізмами з місця їх установки при відсутності блокування з іншими механізмами;

місцевий заблокований – пуск механізму місцевий, а послідовність пуску інших механізмів та їх зупинки через блокувальні зв'язки;

автоматизований або диспетчерський автоматизований (ДАК) – єдина ручна операція – це пуск першого (головного) механізму, всі інші операції виконуються автоматично.

Для вибору режиму керування використовують перемикач вибору режиму (ПВР), який в простих ПТС є загальним, а в складних – індивідуальним, тобто кожний механізм має власний ПВР. Алгоритми дискретного керування електроприводами повинні задовольняти таким технологічним та електричним вимогам:

* наявність нульового захисту і повернення системи у початковий стан після закінчення роботи, що виключає можливість самозапуску механізмів після їх зупинки;

* наявність вимикача аварійної зупинки і захисту від дистанційного пуску у кожного механізму поза залежністю від режиму керування;

* наявність тросів, натягнутих вдовж конвеєрів і зв'язані з вимикачем аварійної зупинки, та електричних тормозів, які попереджують пересування стрічки нахиленого конвеєра, що зупинився під дією ваги матеріала;

* наявність блокування, що не дозволяє дистанційний запуск без дозволу з місця;

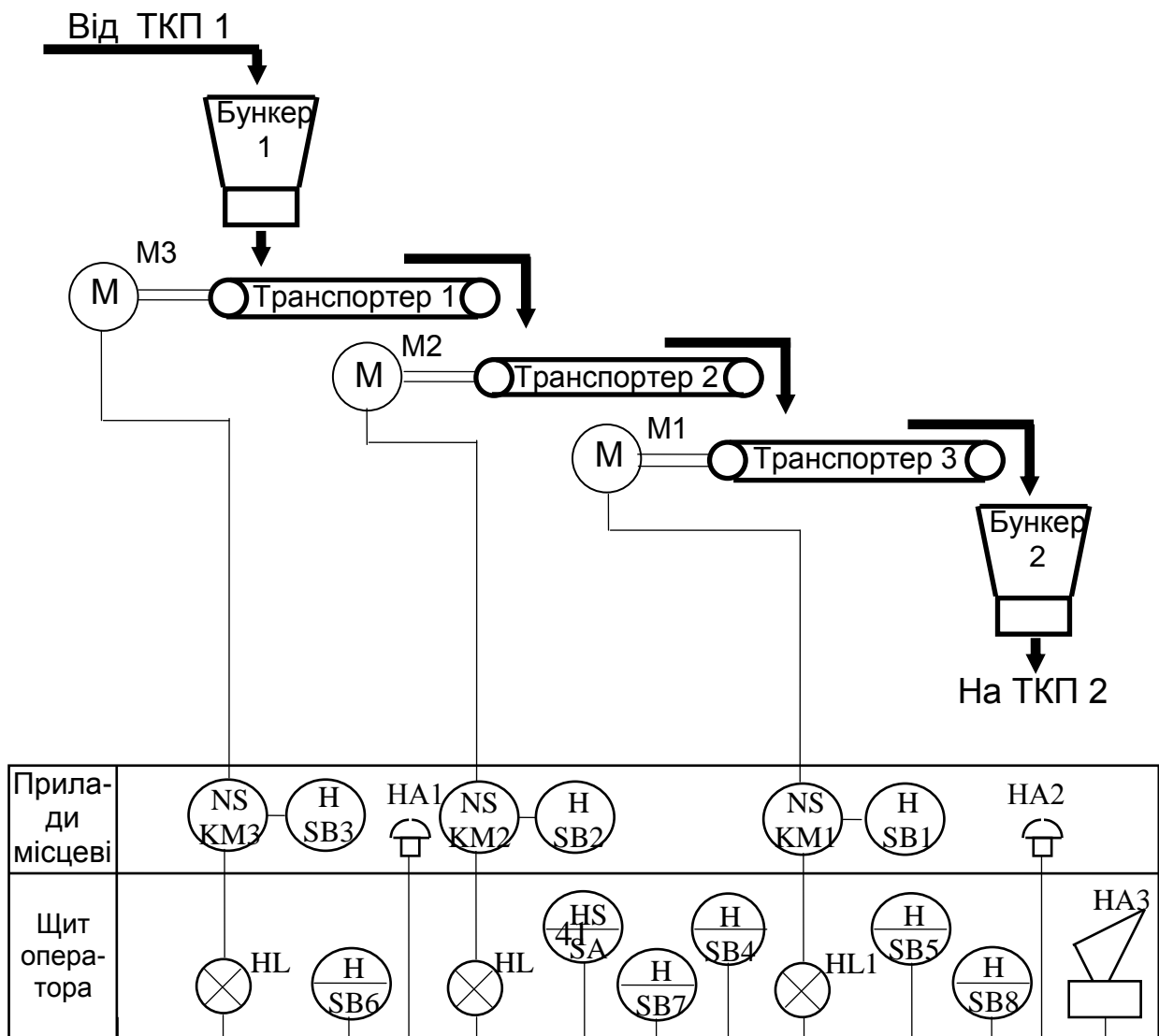
* наявність реле швидкості конвеєра, що спрацьовує у разі обриву чи пробуксовки стрічки;

* пуск електродвигунів у функції часу або розгону механізмів, щоб запобігти можливості їх запуску з інтервалом 0,05 – 0,1 с.

На рис.3.11 наведена функціональна схема підсистеми дискретного керування електроприводами найпростішої ділянки ПТС, що складається з трьох транспортерів з двигунами М1 – М2 – М3, які запускаються та зупиняються з допомогою магнітних пускачів КМ1 – КМ2 – КМ3. Підсистема має загальний ПВР і працює за таким алгоритмом. При виборі перемикачем ПВР (на рис. 3.11 – SA) режиму ДАК і натисканні на кнопку SB4 вмикається передпускова сигналізація HA1 і HA2, встановлена біля механізмів. Після закінчення необхідної витримки часу відбувається послідовний запуск двигунів М1 – М2 – М3 з включенням відповідних сигнальних ламп HL1 – HL2 – HL3. Після запуску останнього двигуна М3 передпускова сигналізація вмикається, а сигнальні лампи всіх двигунів крім останнього можуть бути відключені кнопкою SB6. У разі аварійної зупинки одного з двигунів, наприклад М2, автоматично зупиняються всі наступні за запуском двигуни, причому зупинка останнього (у даному випадку М3) вмикає звуковий сигнал HA3 і всі лампи механізмів, що зали-

шились у роботі (у даному випадку двигун М1 і лампа HL1), а лампи двигунів, що зупинилися (HL2 і HL3), будуть погашені. Звуковий сигнал HA3 можна відключити кнопкою квітирування SB7. Дільниця зупиняється натисканням на кнопку SB5, а лампи працюючих двигунів у безаварійному режимі можуть бути включені кнопкою SB8.

У разі вибору перемикачем SA місцевого зблокованного режиму всі двигуни запускають та зупиняють кнопками, встановленими біля механізмів SB1 – SB2 – SB3. Однак запустити всі двигуни крім першого можна тільки за умови, що вже працює попередній за запуском двигун. Крім того аварійна зупинка будь-якого двигуна приводить до вимикання всіх послідовних за запуском двигунів. Звукова сигналізація в цьому режимі не працює, а світлова працює як в режимі ДАК. При місцевому режимі, обраному перемикачем SA, двигуни автономно запускаються та зупиняються кнопками SB1 - SB2 - SB3, а сигналізація працює так, як і у попередньому випадку.



Ускладнення цього алгоритма пов'язано з використанням крім передпускової сигналізації – сигналізації дозволу на запуск, коли у режимі ДАК централізований запуск стає можливим тільки за умови натискання на кнопки дозволу, що розташовані біля механізмів. При цьому на щиті оператора вмикаються додаткові сигнальні лампи і звуковий сигнал дозволу на централізований запуск. Існують також алгоритми, що забезпечують пуск двигунів у функції часу, а також автоматичний перезапуск двигунів у разі зникнення напруги не більш, ніж на 2 с.

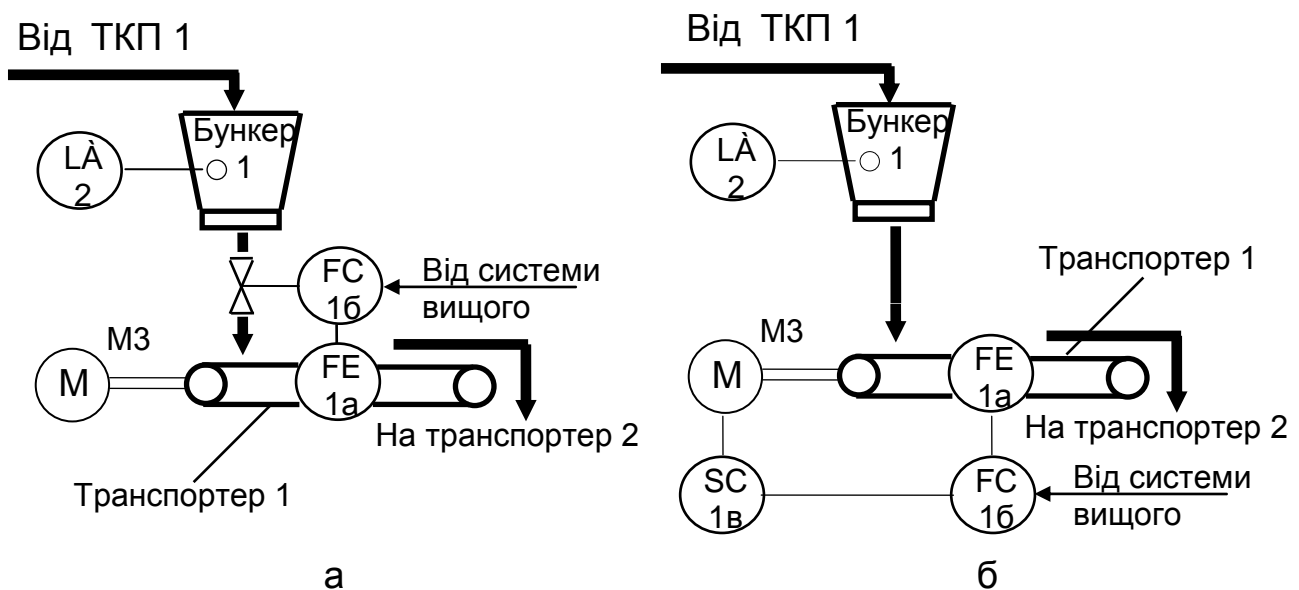


Рис. 3.12

2. Підсистема неперевного регулювання витрати сипких продуктів. Узгодження продуктивності суміжних технологічних комплексів переробки (ТКП) твердих матеріалів реалізується з допомогою стабілізації витрат цих матеріалів на окремих ділянках ПТС (рис. 3.12), причому завдання регуляторам витрати (поз.1б) корегуються в залежності

задач, що розв'язуються на рівні керування виробництвом. Так само, як у разі автоматизації потоку рідинних продуктів (див. п.3.4), існують два способи зміни витрати сипких продуктів: перший – зміною роботи живильників або дозаторів, які встановлюють на БЄ (рис.3.12,а); другий – за допомогою каскадної АСР, в якій головним регулятором є регулятор витрати (поз. 1б), а допоміжним – регулятор швидкості обертання робочого вала електродвигуна (поз.1в) з використанням частотного перетворювача. Обов'язковою є сигналізація граничних рівнів сипких матеріалів у БЄ (поз.2).

4. АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

4.1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМИ

4.1.1. Призначення системи

Відповідно до стандартизованого визначення, **автоматизована система керування технологічними процесами (АСКТП)** – це автоматизована система, призначена для вироблення та реалізації керувальних дій на технологічний об'єкт керування згідно з прийнятими критеріями керування. Критерій керування в АСКТП може мати як техніко-економічний (собівартість вихідних продуктів, прибуток, продуктивність при заданій якості вихідного продукту тощо), так і технологічний (параметри процесу, характеристики вихідних продуктів) характер, тому в цих системах використовується як технологічна, так і техніко-економічна інформація.

Технологічний об'єкт керування (ТОК) АСКТП – це сукупність технологічного устаткування і реалізованого за відповідними інструкціями або регламентами технологічного процесу виробництва продуктів, напівпродуктів, виробів чи енергії. Сумісно функціонуючи, ТОК і АСКТП утворюють автоматизований технологічний комплекс (АТК). У машинобудуванні та інших дискретних виробництвах як АТК застосовують гнучкі вироб-

ничі системи (ГВС). Тобто, $АТК = АСКТП + ТОК$. На відміну від АСКТП **система локального керування (СЛК)** – це сукупність та взаємодія керівного (КЕ) та керованого елементів, а **об'єкт керування (ОК)** – це умовно відокремлена частина системи, на яку впливає система керування для досягнення необхідного результату, тобто $СЛК = КЕ + ОК$. Таким чином, якщо в поняття СЛК об'єкт керування входить, то в поняття АСКТП – ні.

При класифікації ТОК використовують такі ознаки:

рівень, який посідає об'єкт в організаційно-виробничій ієрархії. При *дворівневій ієрархії* (нижній-верхній): агрегат або комплекс агрегатів – виробництво, при *трьохрівневій ієрархії* (нижній – середній – верхній): агрегат – комплекс агрегатів (цех, відділення) – виробництво;

характер перебігу технологічного процесу. На *рівні виробництва* існує їх поділ на *неперервні*, *дискретні* та *неперервно-дискретні*. Для перших при неперервному введенні сировини характерним є випуск однорідної продукції, що являє неперервний (у певних межах) об'єм. У других готова продукція неоднорідна, вона поділена на окремі порції або вироби. На *рівні агрегатів* їх поділяють залежно від ступеня сполучення двох складових будь-якого технологічного процесу (транспортування продукту або виробу та його перетворення) на *неперервні* та *періодичні*. У неперервному процесі ці дві складові невід'ємні одна від одної у часі, у періодичному вони чергуються. В англійській літературі для визначення дискретних виробництв використовують термін *Manufacturing*, для визначення неперервних – *Continuos*. Крім того іноді додатково виділяють ще три види виробництв:

групові (Batch), які пов'язані з дозуванням і паралельною обробкою продуктів;

енергопостачальні (Utility Management), до яких належать постачання енергії, як правило, на великі відстані та розподіл енергоресурсів;

промислові будівлі (*Building Management Systems – BMS*), до яких належать інженерні комунікації та захист промислових будівель;

умовна інформаційна потужність ТОВ, що характеризується кількістю технологічних змінних величин, які контролює дана система: найменша (до 40), мала (до 160), середня (до 650), підвищена (до 2500) та велика (понад 2500).

4.1.2. Функції системи

Функції АСКТП – це сукупність дій системи, які направлені на досягнення конкретної мети керування і являють собою послідовність операцій і процедур, що виконує система. Метою керування може бути економія палива, сировини, матеріалів і інших виробничих ресурсів; забезпечення безпеки функціонування об'єкта; підвищення якості вихідного продукту або забезпечення заданих його параметрів; досягнення оптимального завантаження устаткування; оптимізація технологічних режимів тощо.

Функції АСКТП розподіляють:

за спрямованістю дії – на основні і допоміжні, причому перші спрямовані за межі системи, другі – в середину системи;

за змістом дії – на керувальні та інформаційні.

До **основних керувальних функцій** належать: регулювання (стабілізація) окремих технологічних змінних, однократне логічне керування операціями або апаратами (наприклад, захист), програмне логічне керування технологічними апаратами, оптимальне та адаптивне керування ТОК тощо.

До **допоміжних керувальних дій** належать: реконфігурація обчислювального комплексу чи обчислювальної мережі; перемикання технічних засобів на аварійне джерело живлення тощо.

Для того, щоб виконати керувальну дію, необхідно послідовно здійснити такі три операції: підготувати рішення, прийняти рішення, виробити (реалізувати) керувальну дію.

До **основних інформаційних функцій** належать: контроль та вимірювання технологічних величин, непрямі вимірювання технологічних величин, визначення узагальнених показників, включаючи ТЕР, підготовка і передавання інформації у суміжні системи тощо.

До **допоміжних інформаційних функцій** належать: контроль стану устаткування АСКТП, визначення показників, які характеризують якість функціонування АСКТП або її частин тощо.

Для того, щоб виконати інформаційну функцію, необхідно послідовно здійснити такі три операції: збір і первинну обробку інформації, контроль інформації (на достовірність) та аналіз інформації.

Залежно від участі людини у виконанні керувальних і інформаційних функцій розрізняють **автоматизований** (за участю людини) і **автоматичний** (без участі людини) режими. Реалізація **автоматизованого режиму виконання керувальних функцій** відбувається за такими варіантами:

ручний режим – підсистема технічних засобів (ПТЗ) надає оператору інформацію про стан ТОК, а вибирає і здійснює керувальні дії оператор;

режим порадника – ПТЗ виробляє рекомендації з керування об'єктом, а рішення про їх використання реалізує оператор;

діалоговий режим – модифікований режим порадника, тому що оператор має можливість коригувати постановку і умови задачі, яку розв'язує ПТЗ при виробленні рекомендацій із керування об'єктом.

Реалізація **автоматичного режиму виконання керувальних функцій** відбувається за такими варіантами:

режим непрямого (супервізорного) керування – засоби обчислювальної техніки (ЗОТ) змінюють уставки і (або) параметри настроювання ЛСК;

режим прямого (безпосереднього) керування – ЗОТ безпосередньо впливають на виконавчий механізм.

Перелічені режими визначають класифікацію АСКТП за типом функціонування, який може бути інформаційним, локально-автоматичним, порадицьким та автоматичним. При **інформаційному** типі функціонування автоматично виконуються лише інформаційні функції, а керувальні здійснюються в ручному режимі. При **локально-автоматичному** типі функціонування автоматично виконуються інформаційні функції і функції локального керування, а керування процесом у цілому реалізується в ручному режимі. При **порадицькому** типі функціонування для керування процесом у цілому використовують режим порадицька або діалоговий режим. При **автоматичному** типі функціонування керувальні і інформаційні функції виконуються автоматично.

4.1.3. Склад системи

Для функціонування будь-якої системи з засобами обчислювальної техніки потрібно п'ять компонентів: *дані* (інформаційне забезпечення); *правила перетворення даних* (програмне забезпечення); *пристрої для перетворення даних* (технічне забезпечення); *персонал*, який забезпечує функціонування системи (*персонал*); *правила функціонування персоналу і користувачів* (*організаційне забезпечення*);

Організаційне забезпечення – це сукупність документів, що установлюють організаційну структуру, права та обов'язки персоналу і користувачів при експлуатації автоматизованої системи (АС). Тобто організаційне забезпечення визначає взаємодію персоналу і користувачів з технічним і програмним забезпеченням, а також між собою. Воно складається з функціональної, технічної і організаційної структур АСУТП, інструкцій і регламентів для персоналу, і користувачів.

Персонал – це сукупність осіб, що забезпечують функціонування АС. Ту частину персоналу, що забезпечує нормальні умови функціону-

вання АС відповідно до комплектів експлуатаційних документів відносять до експлуатаційного персоналу. **Користувач** – це особа, що бере участь у функціонуванні АС або має право використовувати і використовує результати її функціонування. До користувачів належать оператори-технологи.

Технічне забезпечення – сукупність апаратних і комунікаційних засобів, носіїв даних та допоміжних матеріалів, які забезпечують реалізацію функцій АС, причому під *апаратними засобами* розуміють пристрої, що використовуються для оброблення даних, а під *комунікаційними засобами* – сукупність ліній пересилання даних та комунікаційних пристроїв, що дозволяє здійснювати взаємне сполучення прикінцевого обладнання.

Програмне забезпечення – це сукупність програм, процедур, правил та документації, що забезпечує функціонування АС. Воно складається з загального та спеціального програмного забезпечення. До *загального програмного забезпечення* належить частина програмного забезпечення (операційна система, драйвери тощо), призначена для організації обчислювального процесу; до *спеціального програмного забезпечення* – частина програмного забезпечення, розроблена під час створення конкретної АС.

Інформаційне забезпечення – це інформаційна база АС і засоби її організації та реалізації. Тобто це система форм і методів інформаційного відображення об'єкта управління і забезпечення ефективного систематичного обміну інформацією між АС і об'єктом керування з метою відслідковування його стану і вироблення необхідних керувальних дій. Водночас, інформаційне забезпечення – це сукупність інформації і відповідної документації, до якої входять: перелік і характеристика сигналів АТК; опис правил класифікації і кодування інформації і перелік класифікаційних угруповань; опис масивів інформації, форм документів, відеокадрів,

використаних у системі; нормативно-довідкова (умовно-постійна) ін формація.

Під час створення АСКТП розроблюють деякі «проміжні» види забезпечення, до яких належать математичне, лінгвістичне та метрологічне.

Математичне забезпечення – це сукупність математичних методів, моделей та алгоритмів, використаних в АС. На базі математичного забезпечення далі створюється програмне забезпечення.

Лінгвістичне забезпечення – це тезауруси* та мовні засоби опису та маніпулювання даними. Воно використовується у розробці організаційного та програмного забезпечень.

***Тезаурус** - словник найменувань понять та їх класифікаційних зв'язків, призначений для єдиного уніфікованого та формалізованого подання інформації в АС.

Метрологічне забезпечення – це сукупність наукових і організаційних методів, норм, правил і технічних засобів, необхідних для досягнення єдності та потрібної точності вимірювань в АС. Цей вид забезпечення має самостійне значення, але використовується й у розробці інформаційного забезпечення.

Стандартизоване визначення також іще трьох, додаткових видів забезпечення АС:

ергономічне забезпечення – сукупність реалізованих в АС рішень з узгодження психологічних, психофізіологічних, антропометричних, фізіологічних характеристик і можливостей користувачів АС із технічними характеристиками комплексу засобів автоматизації АС і параметрами робочого середовища на робочих місцях користувачів АС;

методичне забезпечення – сукупність документів, що описують технологію проектування, створення та функціонування АС, методи вибору та застосування користувачами технологічних прийомів для отримання конкретних результатів при функціонуванні АС;

правове забезпечення – сукупність норм, що регламентують правові взаємини при функціонуванні АС та юридичний статус результатів функціонування.

Кожний вид забезпечення АСУТП може розглядатися як система, що має певну структуру, тобто сукупність підсистем, компонентів, елементів, які входять в АС, способів і засобів зв'язку між ними, а також засобів зв'язку з іншими АС. Таким чином, структурний ланцюжок системи має такий вигляд: система – підсистема – компонент – елемент. При цьому *підсистема* – це частина системи, що визначена за функціональною ознакою і є сукупністю компонентів, які беруть участь у виконанні цієї функції; *компонент* – це частина підсистеми, виділена за певною ознакою чи сукупністю ознак, яка бере участь у реалізації однієї чи кількох функцій підсистеми; *елемент* – це окрема, відносно самостійна частина компонента, що реалізує одну чи кілька функцій АС і розглядається як неподільне ціле.

4.1.4. Структура системи

Сучасні АСКТП, основною ознакою яких є використання офісних (ОПК) і індустріальних (ІПК) персональних комп'ютерів, мікропроцесорних контролерів (МПК) та цифрової передачі даних, мають ієрархічно-розподілену структуру. Їх розподільність пов'язана з розподільністю процесорів і функцій керування (*distributed control system*), а ієрархічність з багаторівневою архітектурою побудови. У разі розгляду загальної структури таких систем виділяють їх функціональну і технічну структури.

Функціональна структура (ФС) АСКТП визначає функції оперативного персоналу і автоматичних пристроїв із керування технологічними процесами та послідовність їх виконання. Вона має найвищий рівень узагальнення серед інших структур такої системи, тому структурування АСКТП починають з розробки її ФС, будуючи в подальшому на її засадах алгоритмічну (математичну), технічну та організаційну структури. Функ-

ціональна структура АСКТП організується за принципами багаторівневої архітектури, причому кожний рівень у виконанні своїх функцій користується послугами суміжного, нижчерозташованого рівня. Найбільш узагальнена функціональна структура таких багаторівневих АСУТП подана в п.1.2: на нижньому рівні *Control Level* знаходяться контури безпосереднього керування технологічним процесом. Потік інформації від датчиків надходить також на *SCADA*-рівень, де здійснюється оперативне керування технологічними комплексами.

Технічна структура ієрархічно-розподілених АСКТП визначає вузли мережі передачі даних та їх з'єднання. Стандартизовано *вузол* обчислювальної мережі (ОМ) визначається як множина ресурсів, зосереджених в одному місці для виконання основних функцій оброблення інформації. Вузли поділяють на крайні, проміжні і суміжні. *Крайній вузол* – це вузол, якій належить лише одній вітці (шлях, що зв'язує два суміжних вузли і не має проміжних вузлів); *Суміжні вузли* – це два вузли, зв'язані між собою хоча б одним шляхом, який не містить жодного іншого вузла. *Проміжний вузол* - це вузол, який належить декільком віткам. Вузли з'єднуються між собою каналами зв'язку, що утворюють мережу. За стандартизованим визначенням *мережа* – це сукупність вузлів та віток, які їх зв'язують. Лінія зв'язку, по якій сигнали передаються в цифровій формі, називають також *лінією передачі даних*. Функціональний пристрій вузла, через який дані переходять з вузла в мережу та у зворотньому напрямку називають *портом*. Передавання даних через порт може бути: *симплексним* – передавання даних в одному напрямку від передатчика до приймача; *дуплексним* – одночасне передавання інформації у двох напрямках; *напівдуплексним* – неодноразове передавання інформації у двох напрямках.

Основним вузлом обчислювальної мережі АСКТП є *робоча станція* (РС), яка за стандартизованим визначенням є станцією оброблення даних, призначених для роботи з користувачем, і, як правило, розміщена у

крайньому вузлі. В АСКТП РС поділяють на *локальні технологічні* (ЛТС), *операторські* (ОПС) і *диспетчерські або координуючі* (ДКС) (рис.4.1).

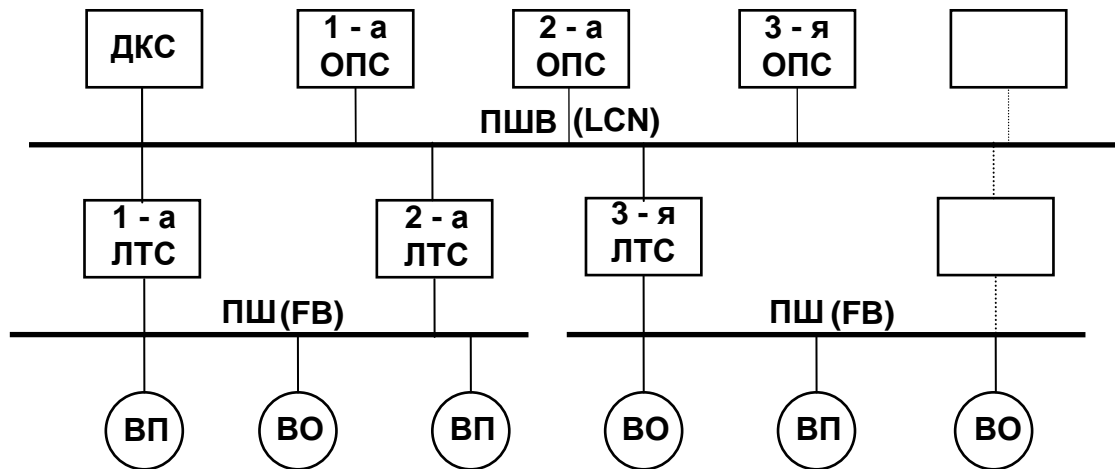


Рис. 4.1.

ЛТС – це робоча станція, призначена для безпосереднього зв'язку з конкретною ділянкою технологічного процесу і вирішення автономних задач керування цією ділянкою. ОПС – це робоча станція більш високого рівня для керування комплексом технологічних ділянок, з якої можливе керування як безпосередньо технологічним процесом, так і відповідними ЛТС. ДКС – це центральна робоча станція, як правило, призначена для диспетчерського управління виробництвом (без безпосереднього виходу на технологічний об'єкт), включаючи й узгодження роботи окремих технологічних комплексів.

Найчастіше ЛТС реалізується за допомогою одного або кількох МПК, що мають засоби для роботи у складі мереж. У разі об'єднання кількох МПК нижнього рівня, а також підмикання віддалених ПЗО до датчиків і виконавчих механізмів вони утворюють обчислювальну мережу нижнього рівня, яку називають *польовою шиною ПШ (Fieldbus – FB)*. Основною обчислювальною мережею АСКТП є ЛОМ верхнього рівня – *промислова шина виробництва ПШВ (Local Control Network – LCN)*. Склад цієї мережі може суттєво змінюватися залежно від особливостей виробництва, програмного забезпечення та ідеології розробника. Як правило, до неї підмикають ЛТС, ОПС та ДКС, а іноді і окремі МПК. Необхідність безпо-

середнього підмикання МПК виникає при керуванні невеликими технологічними дільницями, які розташовані на значній відстані від основного технологічного обладнання.

Існують три варіанти розподілу функцій серед станцій у розв'язанні задач керування: у першому – задачі керування розв'язують тільки в ЛТС та ОПС, а у ДКС передаються кінцеві результати; у другому – задачі керування розв'язують в ЛТС, ОПС та ДТС; у третьому – задачі керування розв'язують в ОПС і ДКС, а ЛТС займається тільки збором даних. В останньому випадку ЛТС виконує функції концентратора даних, що дозволяє замінити декілька ліній зв'язку – однією.

Таким чином, обчислювальна мережа в АСКТП – це сукупність комп'ютерів, мережевих кабелів і апаратури, які працюють під керуванням мережевої операційної системи (МОС) і прикладного програмного забезпечення (ППЗ). Комп'ютери в ЛОМ використовують як *робочі станції та сервери*. За принципом керування мережі поділяють на: *мережі з централізованим управлінням* (типу «клієнт-сервер») та *мережі з децентралізованим управлінням* (однорангові). Однорангові мережі називають ще інакше *мережами з рівноправною архітектурою*, тому що більшість користувачів отримує спільний доступ до файлів більшої кількості ПК. Завдяки своїй простоті та невеликій вартості однорангові мережі мають поширення у системах з невеликою кількістю рівноправних РС. До недоліків цього принципу керування належать утруднення, що виникають у захисті інформації, а також у побудові ієрархічних систем керування, тому в останньому випадку найчастіше орієнтуються на архітектуру «клієнт-сервер». Мережі такої архітектури мають *адміністратора мережі*, що керує обміном інформації між РС. Крім того, вони мають засоби загального користування: СУБД-сервери, мережеві принтери тощо.

4.1.5. Створення системи

Існують два варіанти створення АСКТП: традиційний, коли система створюється *проектним* шляхом за допомогою *системної інтеграції*, та *комплексний*, коли для побудови АСКТП використовують програмно-технічні комплекси (ПТК), і система створюється з допомогою *трансферу ПТК*.

Системна інтеграція зводиться до вибору для досягнення певного чи певних ТЕП створюваної системи, програмно-технічних засобів (ПТЗ) різних виробників і побудови ієрархічно-розподіленої АСКТП з двома, як мінімум, рівнями керування: нижнім – керування агрегатами та верхнім – керування всім виробництвом. Зазначимо однак, що термін «системна інтеграція» не є дуже вдалим через те, що семантика слова «система» поглинає семантику слова «інтеграція», тому краще говорити про інтеграцію програмно-технічних засобів при створенні системи.

Трансфер ПТК – це застосування для створення АСКТП програмно-технічних засобів одного виробника, причому ПТК – це набір ПТЗ, основними ознаками якого є сумісність засобів і можливість функціонування їх в єдиній системі, стандартизація інтерфейсів, функціональна повнота, що дозволяє будувати повністю АСКТП із засобів тільки цього набору. Існує також стандартизоване визначення ПТК як організованої сукупності технічних і програмних засобів АС. Виробництво ПТК почалось у 80-х роках провідними світовими виробниками засобів автоматизації. На даний час відомо кілька десятків ПТК, створених у нашій країні та в країнах близького та далекого зарубіжжя.

Із цих двох варіантів створення АСКТП системна інтеграція забезпечує меншу вартість ПТЗ та більшу вартість проектування, ніж трансфер ПТК.

4.2. ВУЗЛИ ВЕРХНЬОГО РІВНЯ

4.2.1. Апаратні засоби вузлів

Вузли верхнього рівня АСКТП – це робочі станції (РС), основними апаратними засобами яких є ОПК або ІПК та сервери, де формується база даних. ОПК застосовують при розташуванні РС у спеціальному приміщенні, а ІПК – при розташуванні РС у виробничому приміщенні. Апаратні засоби РС використовуються для керування технологічним процесом, доступу до ресурсів комп'ютерної мережі та взаємодії з іншими РС.

У склад обчислювальної системи на базі ПК входять такі основні підсистеми:

- * обчислювальна підсистема (центральний процесор, співпроцесор, оперативна пам'ять);
- * дискова підсистема (контролер дисків, жорсткий магнітний диск, ди-ковод гнучких магнітних дисків);
- * монітор з адаптером монітора;
- * клавіатура з контролером клавіатури;
- * адаптери (паралельний, послідовний і мережний). Перший, як правило, використовується для підмикання принтера; другий – для підмикання модема, сканера тощо; третій – для підмикання до обчислювальної мережі.

Монітор, принтер, модем, сканер є активними зовнішніми пристроями (ЗП), тому що в їх складі є спеціальні контролери чи адаптери, які забезпечують обмін інформацією між ними і іншими підсистемами. За відсутності спецконтролера ЗП зараховують до пасивних. До основних характеристик РС з ПК належать:

- * тип центрального процесора та максимальна тактова частота;
- * наявність арифметичного співпроцесора;
- * ємність оперативної пам'яті;
- * наявність та вид кеш-пам'яті;
- * тип шини плати розширення;

* наявність послідовного асинхронного та паралельного адаптерів, а також адаптера обчислювальної мережі;

* характеристики дискової підсистеми (обсяг пам'яті, конфігурація та швидкодія нагромаджувача на жорсткому диску; спосіб підмикання до дисковода, протокол обміну та швидкість передачі контролера диска);

* характеристики відеоадаптера (вид та ємність відеопам'яті, кількість кольорів, роздільна здатність, наявність графічного співпроцесора);

* характеристики дисплея (розмір екрану, тип інтерфейсу зв'язку з відеоадаптером, роздільна здатність, кількість кольорів, розмір пікселів зображення) тощо.

Розглянемо деякі особливості застосування ПК на вузлах верхнього рівня:

1) *залежність апаратних засобів вузлів верхнього рівня від способу управління мережею*. При **децентралізованому управлінні** основне навантаження лягає на робочі станції (РС), а мережні ресурси розглядаються як допоміжні, тому ці РС оснащені потужними ПК з великою ємністю оперативної та зовнішньої пам'яті, а також пристроями вводу-виводу інформації. При **централізованому управлінні** основне навантаження лягає на мережні сервери, які надають свої ресурси іншим ПК-клієнтам, оброблюють і зберігають основну інформацію комп'ютерної мережі, тому у цьому випадку на РС може бути відсутніми нагромаджувач на жорсткому магнітному диску (ЖМД) та дисковод гнучких магнітних дисків (ДГМД). Однак до серверів у цьому випадку ставлять більш високі вимоги стосовно продуктивності, ємності пам'яті та надійності;

2) *застосування у виробничих приміщеннях індустриальних ПК (ІПК), які відрізняються від офісних ПК (ОПК) функціонально і конструктивно*. До **функціональних особливостей** належить підвищена надійність та можливість цілодобової роботи у виробничих приміщеннях в умовах запиленості, великих перепадів температур, вібрацій, значних електромагнітних випромінювань, паразитних електромагнітних інтерфе-

ренцій та інших несприятливих факторів. **Конструктивні** особливості – це, насамперед:

* *використання пасивної об'єднувальної панелі (ПОП)*, в один із слотів якої вставляється процесорна плата. При цьому, враховуючи наявність значної кількості зовнішніх пристроїв, допустима кількість плат розширення у ПОП в два-три рази більша, ніж у стандартної материнської плати в ОПК. Іноді використовують секціонування ПОП, що дозволяє компонувати кілька комп'ютерів в одному корпусі;

* *наявність спеціальних захисних засобів* для забезпечення підвищеної вібростійкості, захищеності від забруднення та несанкціонованого доступу до ЖМД та ДГМД, а також розвинена система повітряного охолодження зі змінними фільтрами пиловловлення і невеликим тиском очищеного повітря або інертного газу всередині корпусу та зміцнений мета-левий корпус. Коли потрібні висока надійність, широкий діапазон температур та підвищена ударостійкість, використовують нагромаджувачі з флеш-пам'яттю. Найскладніше забезпечити підвищений ступінь захисту від зовнішніх впливів для дисплеїв. У тих випадках, коли габаритні розміри дисплея можуть бути невеликими (до 20" за діагоналлю) перевагу мають плоскі дисплеї з рідиннокристалічними індикаторами (РКІ), але при низьких температурах не придатні ні дисплеї з електронними трубками, ні дисплеї з РКІ. В цьому випадку застосовують електролюмінісцеві чи плазмові дисплеї, що мають робочий діапазон температур – 55...+70⁰С при непоганих показниках вібростійкості. В особливо важливих випадках використовують відмовостійкі ІПК з дублюванням основних вузлів і можливістю їх заміни під час роботи;

* *застосування сенсорних екранів*. Використання сенсорного екрану дає можливість малювати на ньому функціональну клавіатуру як частину мнемосхеми ТОК. Можливо також мати на екрані кілька функціональних клавіатур залежно від операції, що виконується. Поряд із цим використовуються і стандартні клавіатури з наклеєними накладками

із прозорого пластика для пило- та бризкозахисту або клавіатури, Виконані за мембранною технологією. Існують клавіатури, що можуть працювати в агресивних середовищах. З такими ж ступенями захисту випускаються маніпулятори типу «миша», що не мають рухомих частин. Отримали розповсюдження також індустріальні РС (Industrial Workstation), у яких системний блок і дисплей розташовані в одному захищеному корпусі, а клавіатура, виконана за мембранною технологією, вбудована в передню панель.

4.2.2. Програмні засоби

1. Загальна характеристика. Програмні засоби АСКТП входять до складу програмного забезпечення, яке, як зазначалось вище (п. 4.1.3), є сукупністю програм, процедур, правил та документації, що забезпечують функціонування АСК. Воно складається з загального (ЗПЗ) та спеціального (СПЗ) програмного забезпечення. Перше містить програми для контролю та управління обчислювальним процесом, а також стандартні та службові програми, друге – програми для управління технологічним процесом, тобто програми реалізації основних функцій АСУТП. Основним програмним засобом ЗПЗ АСКТП є *операційна система (ОС)*, а основним програмним засобом СПЗ – *SCADA-програма*.

ОС виконує базові функції з інтерфейсу з оператором, запуску програм, розподілу пам'яті, підтримки файлової системи і т.п. Сучасні ОС, що використовуються в АСКТП, поділяють на *універсальні і спеціалізовані*. Універсальні ОС, у свою чергу можуть бути поділені на *клієнтські (ОС робочих станцій) та серверні (мережні)*. У складі останніх виділяють протоколи як набір правил, за якими відбувається обмін інформацією в мережі. Таким чином, до основних програмних засобів АСКТП можна віднести: клієнтську ОС, мережну ОС і SCADA-програми.

До програмного забезпечення АСКТП ставлять такі вимоги:

- надійність і, насамперед, відсутність «зависання»;

- швидке реагування на зовнішні дії, тобто робота в реальному масштабі часу (РМЧ), причому для інерційних об'єктів час реагування може складати не десятки мікро-, а десятки та сотні мілісекунд (м'який реальний час – МРЧ);

- багатозадачність, тобто можливість одночасної реалізації кількох алгоритмів, та *багатопотоковість*, тобто можливість виконання в межах однієї задачі кількох незалежних потоків команд.

2. SCADA-програма (Supervisory Control and Data Acquisition – супервізорне керування та збір даних) візуалізує функції контролю і керування, фактично об'єднуючи функції спеціального програмного забезпечення, програм зв'язку з оператором і систем керування базою даних. Ці пакети програм дозволяють без програмування або з невеликим програмуванням на простих мовних засобах створити повне програмне забезпечення пультів операторів.

Останнім часом SCADA-програма стала розглядатися як одна з форм людино-машиного інтерфейсу і отримала більш точну назву SCADA/MMI- або SCADA/HMI-програма, де MMI (Man Machine Interface) або HMI (Human Machine Interface) – інтерфейс людина-машина. Зазначимо, що приставка HMI може використовуватися і без терміну SCADA для класу пристроїв більш низького рівня (наприклад, кількарядковий екран), які мають деякі типи контролерів. SCADA-програма є складовою частиною більшості ПТК, але створюватися як відкриті системи ці програми почали тільки з другої половини 80-х років, коли з'явилися перші універсальні та відкриті SCADA-програми. Існуючі SCADA-програми відрізняються за програмним середовищем, структурою, функціональними, технічними, економічними характеристиками, а також методами супроводження.

Основні функції SCADA-програми такі:

- * збір поточної інформації від МПК та інших пристроїв, зв'язаних без-посередньо або через мережу з пультом оператора (ПО);

- * первинна обробка інформації;
- * зберігання архівів та поточної інформації;
- * подання поточної, архівованої й аварійної інформації за допомогою динамізованих мнемосхем та трендів;
- * показ и запис аварійної інформації в моменти її виникнення;
- * друк звітів та протоколів;
- * ввід і передача керувальних дій та повідомлень оператора в контролери та інші пристрої;
- * вирішення прикладних задач користувача;
- * інформаційний зв'язок із серверами та іншими РС через мережі.

Структурно SCADA-програма складається з *інструментальної підсистеми*, що використовується для розробки дисплейного пульта, та кількох *виконавчих підсистем*, які забезпечують роботу пульта в реальному масштабі часу. Перша, як правило, складається з конфігуратора, графічного редактора та різних допоміжних програм. *Конфігуратор* дозволяє програмно сформувати мережу підмикання МПК к ПК. Функціями *графічного редактора* є розроблення мнемосхем, трендів та меню. Друга ВП використовує драйвери для зв'язку з контролерами, протоколи інформаційних мереж для зв'язку з базами даних і між робочими станціями.

Вимоги до сучасних SCADA-програм насамперед стосуються їхньої максимальної відкритості:

- можливість їхньої роботи у типових операційних середовищах;
- наявність програмних інтерфейсів для зв'язку з іншими програмами;
- наявність програмних інтерфейсів для зв'язку з системою керування базою даних (СКБД);
- наявність стандартного інтерфейсу взаємодії з контролерами OPC і спеціальних OPC-серверов, що дозволяє безпосередньо інформаці-

йно з'єднувати SCADA-програму і контролер без використання спеціальних драйверів;

- декомпозиційна модульна побудова SCADA-програми з можливістю подальшої її модифікації за рахунок додавання нових модулів;
- інтеграційне існування SCADA-програми у межах програмного пакета, що охоплює всі рівні управління підприємством: а) програми контролю і управління для контролерів, б) SCADA для операторів, в) SCADA для диспетчера, г) SCADA для управління бізнес-процесами, д) програми обміну інформацією з віддаленими користувачами підприємства та за його межами.

4.3. ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕРЕЖІ ВЕРХНЬОГО РІВНЯ

4.3.1. Загальна характеристика мереж

До мереж верхнього рівня АСКТП належать мережі, що реалізують функції ПШВ. Основними апаратними засобами вузлів цих мереж, як зазначалося вище, є офісні та індустріальні комп'ютери, тому ці мережі є комп'ютерними. Враховуючи, що комп'ютерні мережі є об'єктом вивчення і в інших дисциплінах даної спеціальності, коротко зупинимось на їх основних характеристиках, важливих для функціонування АСКТП.

1. Принцип керування мережею може бути *централізованим* (мережі «клієнт-сервер»), *децентралізованим* (однорангові мережі – див. п.4.1.4) і *комбінованим*, коли однорангова частина мережі дає можливість обміну файлами без участі адміністратора мережі, а централізована частина керує файлами, друкуванням, засобами зв'язку та іншими мережевими ресурсами. В АСКТП, враховуючи необхідність ієрархічної архітектури системи, використовують централізований або комбінований принципи управління.

2. Топологія мережі може бути *магістральною* («шина»), *радіальною* («зірка»), *кільцевою* («петля»), *дерезовидною* («дерево») або *довільною*. «Шина» має найвищу структурну надійність та найменшу дов-

жину з'єднувальних ліній при нерівномірному розташуванні вузлів. «Зірка» має найвищу надійність зв'язку та переваги перед іншими топологіями за всіма характеристиками, крім довжини з'єднувальних ліній, яка у неї найбільша. «Петля» забезпечує найменшу довжину з'єднувальних ліній при рівномірному розташуванні РС на території квадратної форми. «Дерево» затосовується для передачі однієї й тієї ж інформації різним РС. Найчастіше в АСКТП використовують топологію «шина» (приблизно до 65 % випадків), на «зірку» припадає до 25 %, «петля» і «дерево» – найменш поширені.

3. Фізичне середовище передачі даних (кабелі зв'язку). Застосовують виту пару – неекранована (ВП) та екранована (ВПЕ), волоконо-оптичний кабель (ВОК) – одномодовий (ВОК-ОМ) та багатомодовий (ВОК-БМ) та коаксиальний кабель – вузькосмуговий (ВК) та широкосмуговий (ШК). Зараз в АСКТП для передавання даних на невеликі відстані (до 100м) використовується ВП 5-ї категорії (UTP-5), яка забезпечує швидкість передавання даних (ШПД) до 150 Мбіт/с, а для передавання даних на великі відстані (до 2 км без підсилення) – ОВ-БМ, максимальна ШПД якого дорівнює кільком Гбіт/с.

4. Мережева ОС може бути *універсальною* або *спеціалізованою*. Перевагами перших є розвинуте прикладне програмне забезпечення та мережева ідеологія, що сприяє більш простій інтеграції даної системи в систему вищого рівня та меншій вартості, а також багатопотоковість і багатопріоритетна багатозадачність, сталість до зависань, однак вони працюють у «м'якому» реальному часі (час реакції не гірше десятків мілісекунд) і при підвищених вимогах до часу реакції і необхідності реалізувати «жорсткий» (не гірше десятків мікросекунд) використовують ОСРВ (докладніше в п.4.2.2).

5. Мережева архітектура OSI. Практика створення обчислювальних мереж привела їх розробників до застосування деякої стандартної декомпозиції функцій – розподілу їх на рівні. До цього часу існує певна невиз-

наченність при застосуванні, наприклад, такого поширеного терміну як «протокол», під яким можуть розуміти і апаратне забезпечення зв'язку, і якість сигналу, і правила обміну інформацією, і методи доступу. Для стандартизації цього поняття використовують стандарт з рівневої архітектури обчислювальних мереж. Міжнародна організація стандартів OSI (International Standards Organization) запропонувала семи рівневу мережеву архітектуру.

1-й, фізичний рівень (Physical Layer) визначає фізичні, механічні та електричні характеристики ліній зв'язку, відповідає за апаратне забезпечення мережі, тобто забезпечує передачу даних між вузлами мережі, генерує імпульси визначеної форми в певні моменти часу, перетворює сигнали від більш високого рівня для передачі їх по кабелю. Іноді, називаючи цей рівень фізичним, всі інші рівні відносять до програмних.

2-й, каналний рівень (Data Link) є рівнем керування лінією передачі даних. Він устанолює та перериває взаємодію абонентів; визначає формати кадрів або пакетів (блоки даних, що передаються як одне ціле) інформації, що передаються; містить керувальну інформацію (синхронізуючі символи, адреси станцій, величини контролю помилок), а також змінну кількість даних. У разі виникнення помилок автоматично виконує повторне засилання кадра. Враховуючи складність цього рівня, в ньому виділяють два підрівні:

1-й підрівень MAC (Media Access Control) – контроль доступу до мережі (передачею маркера або виявленням колізій) і управління нею;

2-й підрівень LLC (Logical Link Control) – логічний контроль мережі, пов'язаний з контролем і передачею повідомлень.

3-й, мережевий рівень (Network Layer) забезпечує маршрутизацію та управління потоком даних у мережі, тобто відповідає за адресацію і доставку пакетів, може виконувати буферизацію даних.

4-й, транспортний рівень (Transport Layer) виконує розподіл повідомлень на пакети при передачі інформації та збір при її прийомі, контро-

лює чергу проходження пакетів, узгоджує мережеві рівні різних несумісних між собою мереж.

5-й, сеансовий рівень (Session Layer) забезпечує взаємодію між робочими станціями (PC), які беруть участь у сеансі зв'язку, визначає початок, проведення і закінчення сеансу обміну інформацією між PC.

6-й рівень представлення (Presentation Layer) забезпечує представлення кадрів їх одержувачу, тобто перетворення їх з внутрішнього формату комп'ютера в інший формат, який підходить одержувачу.

7-й прикладний рівень (Application Layer) відповідає за підтримку прикладного програмного забезпечення користувача, тобто забезпечує прийом повідомлень, їх віртуальне транспортування через сім рівнів до першого, на якому повідомлення передається на іншу PC.

Беррі Нанс, американський спеціаліст із комп'ютерних мереж, так порівнює ці рівні з роботою пошти. Функцію 7-го рівня виконує написаний лист, 6-го – чистий конверт, 5-го – підписаний конверт з листом, 4-го – поштове відділення, 3-го – листоноша, 2-го – поштова скринька, 1-го – засоби поштового зв'язку.

6. Протоколи та методи доступу. Відповідно до стандарту ДСТУ протокол – це сукупність правил, що регламентують формат і процедури обміну даними між двома чи кількома незалежними пристроями, в той же час відповідно до мереженої архітектури OSI можна виділити протоколи верхнього та нижнього рівнів. Протоколи нижнього рівня за безпечують передачу інформації через канали зв'язку без урахування її змісту і відповідають нижнім рівням архітектури OSI. Протоколи верхнього рівня визначають вид і характер взаємодії (пересилання файлів, віддалений ввід завдань для розрахунків, діалогова взаємодія користувача з БД тощо) користувачів та обчислювальних процесів у різних комп'ютерах через обчислювальні мережі і відповідають середнім та верхнім рівням архітектури OSI.

Рівень протоколу і рівень АСКТП – це різні поняття, і мережі верхнього рівня АСКТП можуть використовувати протоколи як верхнього, так і нижнього рівнів OSI, однак найчастіше на верхньому рівні АСКТП використовуються протоколи нижнього рівня, що відповідають першому, другому і частково третьому рівню архітектури OSI. Це насамперед Ethernet, Arcnet, Token-Ring, FDDI тощо. Вони відрізняються один від одного методом доступу до фізичного середовища передачі даних, структурою та розміром пакета і описують порядок взаємодії між вузлами, тобто керують форматом повідомлень у вигляді пакетів, часовими інтервалами, послідовністю роботи та контролем помилок.

У мережах АСКТП використовують такі методи доступу: *децентралізований метод випадкового доступу (ДВД)*, *децентралізований метод детермінованого доступу з маркером (ДДД)*, *централізований метод доступу «ведучий–ведений» (ЦДВВ)*, *децентралізований метод доступу «точка-точка» (ДДТТ)*. Міжнародний інститут інженерів з електротехніки та електроніки (Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE) розробив стандарти для протоколів передачі даних у локальних мережах, причому стандарти IEEE 802.3, 802.4 і 802.5 описують методи доступу ДВД і ДДД для мережевих каналів даних.

ДВД використовується у *мережі Ethernet*, яка була створена фірмою Xerox у 1975 році, і в подальшому стала основою для стандарту IEEE 802.3. У цій мережі адаптери вузлів постійно перебувають у стані прослуховування мережі. Вузол може приступити до передавання повідомлення тільки тоді, коли мережа буде вільною від передачі повідомлень. Коли передавати повідомлення починають одразу два і більш вузлів виникає **колізія**. Колізія вирішується за допомогою паузи і повторної передачі повідомлення, яка самостійно виконується адаптером без втручання прикладної програми. Всі вузли приймають кожне повідомлення, але тільки той вузол, якому адресоване повідомлення, підтверджує його прийом. Цей протокол є найбільш поширеним через свою про-

стоту та шинну фізичну топологію, але з огляду на його недетерміністичний характер існує невелика, відмінна від нуля вірогідність, що повідомлення одного з вузлів ніколи не досягне адресата. Тому якщо потрібна гарантована доставка інформації ліпше застосувати протоколи з маркером або програмно емулювати маркерний доступ за допомогою Ethernet.

ДДД застосовують у мережах Token-Ring, Arcnet та FDDI. **Мережа Token-Ring** (кільце з маркером) була створена фірмами IBM і Texas Instruments у 1985 році з подальшою розробкою на її основі стандарту IEEE 802.5. У цій мережі, коли вузлу необхідно передати повідомлення, його адаптер чекає надходження маркера. Дочекавшись маркера, він перетворює його на пакет, сформований за протоколом відповідного рівня, і передає сусідньому вузлу. Таким чином пакет переходить від адаптера до адаптера, поки не знайде свого адресата, який встановлює в пакеті певні біти, що підтверджують отримання пакета адресатом, і ретранслює пакет у мережу. Пакет продовжує рух до повернення до вузла-відправника, який перевіряє відсутність помилок у передачі пакета, звільнює мережу і передає новий маркер. За такої передачі повідомлень колізії неможливі. Мережа Token-Ring має такі особливості:

мережа являє собою «логічне кільце» і в тому разі, коли фізична топологія не є «кільцем», причому пакет передається по такому «логічному кільцю» від вузла до вузла;

будь-який із вузлів мережі може виконувати додаткові функції «активного монітора»: реалізувати часовий контроль, передавати нові маркери та створювати діагностичні тести.

Мережа Arcnet (Attached Resource Computer Network – під'єднання вузлів комп'ютерної мережі) – одна з перших мереж з маркерним методом доступу була створена фірмою Datapoint, відповідає стандарту IEEE 802.4. Передача маркера проходить від вузла до вузла у порядку зменшення логічних адрес, причому станція з найменшою адресою циклічно передає маркер станції з найбільшою адресою, замикаючи таким

чином логічне кільце передачі маркера. При цьому послідовність розташування вузлів у логічному кільці може не збігатися з послідовністю їх фізичного розташування, а деякі вузли (пасивні) взагалі можуть бути не включені в логічне кільце і працювати тільки на прийом повідомлень. Децентралізовано керує мережею той вузол, який на цей час отримав маркер. Він може реконфігурувати логічне кільце, контролювати передачу маркера, змінювати параметри алгоритмів управління, приймати і обробляти запити на підключення пасивних вузлів до логічного кільця, тобто динамічно змінювати логічне кільце, підключення або відключаючи вузли. Додаткові можливості забезпечуються чотирма класами пріоритетного доступу до середовища передачі даних.

Мережа FDDI (Fiber Distributed Data Interface – оптоволоконний розподілений інтерфейс) – відповідає стандарту ISO 9314, працює за схемою передачі маркера в логічному кільці з оптоволоконним кабелем відповідно до стандарту IEEE 802.5 (Token-Ring). Відмінність цих протоколів пов'язана з необхідністю реалізувати більшу ШПД (100 Мбіт/с) на більшу відстань і полягає у такому:

- * FDDI оперує з байтами та напівбайтами (нібблами), а не з бітами, що значно збільшує ШПД;

- * FDDI передає новий маркер безпосередньо після передачі пакета (ETR - Early Token Release: раннє звільнення маркера), а не після повернення повідомлення, яке було передане в мережу;

- * FDDI не використовує систему пріоритетів у резервуванні, а замість цього кожна РС класифікується як асинхронна, коли вона не ставить жорстких вимог до інтервалів часу між передачами, або синхронна, коли такі вимоги ставляться.

ЦДВВ використовують для зв'язку між активними і пасивними вузлами, коли до одного активного вузла підключені один або кілька пасивних і обмін інформацією проходить шляхом «запитання–відповідь».

ДДТТ здійснює передачу пакета тільки між портом-джерелом та портом-адресатом, причому кожній парі вузлів, що взаємодіють, надається віртуальний канал з гарантованою пропускнуою спроможністю. В разі виникнення в мережі кількох одночасних сеансів передачі створюється кілька віртуальних каналів. Пропускна спроможність надається за вимогою на кожний сеанс передачі і не залежить від завантаження мережі. Перевагами цього методу доступу є, по-перше, можливість утворення віртуальних каналів у поширених типах звичайних мереж, по-друге, він забезпечує кожному користувачу гарантовану пропускну спроможність і високу захищеність даних за будь-якої кількості одночасно працюючих вузлів.

7. Комунікаційні пристрої. В мережах крім адаптера використовуються такі комунікаційні пристрої: *повторювач* (repeater), *концентратор* (hub, concentrator), *міст* (bridge), *комутатор* (switches, switching hub), *маршрутизатор* (router), *шлюз* (gateway).

Повторювач (репітер, ретранслятор) – пристрій, що підсилює і передає сигнал без зміни його змісту, відповідає фізичному (першому) рівню моделі OSI. **Концентратор** – це пристрій, що забезпечує радіальне підключення мережних вузлів; його можна розглядати як багато портовий повторювач. Він може бути пасивним (Passive Hub – ПКЦ) і активним (Active Hub – АКЦ). Перший не забезпечує відновлення сигналу і тому застосовується на невеликих відстанях (приблизно до 30 м). Другий забезпечує відновлення як форми, так і рівня сигналу. Концентратор може виконувати також такі додаткові функції:

- * об'єднання сегментів з різними фізичними середовищами в єдиний логічний сегмент;

- * автономне відмикання портів у разі їх некоретної поведінки (пошкодженні кабелю, генерації пакетів помилкової довжини тощо) – автосегментація портів;

- * підтримка резервних зв'язків між концентраторами в разі відмови основних;

- * захист від несанкціонованого доступу;
- * підтримка засобів керування мережами.

Існують також «інтелектуальні» АКЦ, що аналізують потік інформації та керують ним, спрямовуючи до різних мережних вузлів.

Міст – це пристрій, що забезпечує взаємозв'язок локальних мереж з допомогою трансляції кадрів з однієї мережі в іншу, з'єднуючи таким чином мережі одного рівня, але з різними протоколами, відповідає каналному (другому) рівню моделі OSI. При цьому трансляції підлягають тільки кадри, адресовані абонентам інших мереж. За необхідності виконується перетворення форматів даних, що передаються, тому що в мережах різних стандартів використовують кадри різного формату. Таким чином, міст у процесі роботи послідовно виконує такі основні операції:

- * приймає кадри з локальної мережі;
- * перевіряє їх стан і вилучає помилкові кадри;
- * перетворює параметри кадрів;
- * передає кадри за новою адресою.

Властивість мостів розділювати інформаційні потоки в межах однієї мережі використовується для зменшення потоку даних. Використання мостів крім зниження навантаження мережі дозволяє:

- * нарощувати ЛОМ, яка досягла межі своєї конфігурації;
- * підвищити надійність за рахунок організації кількох шляхів між абонентами;
- * забезпечити захист мереж, які міст з'єднує;
- * узгодити передачу інформації між локальними мережами з різною ШПД.

Комутатори виконують ті ж функції, що і мости, з тією різницею, що міст у кожний момент часу передає кадри тільки між однією парою портів (послідовна передача кадрів), а комутатор одночасно підтримує потоки даних між усіма своїми портами (паралельна передача кадрів). Кожний логічний сегмент підключається до окремого порту комутатора, і тільки в його межах середовище передачі даних залишається загальним.

Маршрутизатор – це пристрій для з'єднання найчастіше однакових за протоколами високого рівня локальних мереж і визначення оптимального маршруту передачі інформації, він відповідає мережевому (третьому) рівню моделі OSI. **Шлюз** – це пристрій, який забезпечує перетворення мережного протоколу в міжмережний і, навпаки, може виконувати функції маршрутизаторів і мостів, відповідає прикладному (сьомому) рівню моделі OSI.

4.3.2. Технічна реалізація мереж

1. Основні тенденції розвитку ЛОМ. Розвиток ЛОМ пов'язаний зі зміною фізичного середовища передачі і комунікаційного обладнання. Спочатку найбільше розповсюдження мали ЛОМ з коаксіальним кабелем, у яких як комунікаційне обладнання використовувся тільки мережний адаптер, а у разі необхідності збільшити дійстанційність мережі – повторювач. Більш інтенсивне використання витих пар, які мали суттєві переваги перед коаксіальним кабелем, привело до заміни пасивних коаксіальних сегментів мережами з багато портовими повторювачами (концентраторами). Згодом місце концентраторів поступово зайняли комутатори. Для цієї мети використовуються прості одно функціональні комутатори, які призначені тільки для швидкої передачі кадрів з порта у порт за адресою. Подальший розвиток ЛОМ пов'язаний зі переходом від використання мереж з загальним, але розділеним за часом, середовищем передачі даних до мереж з індивідуальними лініями зв'язку (подібно до телефонних мереж). До останніх належать мережі 100VG-AnyLAN, ATM, а також моди-фіковані відомі мережі: switching Ethernet, switching Token Ring і switching FDDI. ATM (Asynchronous Transfer Mode – режим асинхронної передачі) – це швидкодіючий дуплексний метод передачі, при якому кожна РС отримує власне з'єднання з комутатором ATM. Ці мережі складаються з комутаторів ATM, з'єднаних двоточковими лініями зв'язку, причому до кожної РС можна звертатися незалежно, поза циклом (асинхронно).

2. Фізична та логічна сегментація мережі. *Фізична сегментація* мережі пов'язана з поділом її на фізичні сегменти. Фізичний сегмент є частиною магістрального кабелю, яка закінчується кінцевими комунікаційними пристроями, у тому числі повторювачами та концентраторами, за допомогою яких збільшують довжину загального середовища передачі даних. Усі комп'ютери, підключені до цього загального середовища передачі даних, утворюють логічний сегмент або домен колізій, в якому за спроби одночасної передачі даних двома вузлами виникає блокування цього середовища. Таким чином, фізичні сегменти мережі розділені повторювачами та концентраторами, а логічні – мостами, комутаторами та шлюзами.

У більшості мереж колективне використання вузлами загального розділеного за часом фізичного середовища веде до суттєвого зниження продуктивності мережі під час інтенсивного трафіку. Загальне середовище не в змозі належним чином пропустити потік кадрів, і в мережі виникає черга вузлів, що чекають доступу. Це явище характерне для всіх методів доступу до загального (розділеного) середовища передачі даних, але найбільш страждають від цього мережі з випадковим доступом до середовища. Тому у мережах, які мають фізичну сегментацію, виникає насичення середовища передачі даних при певній кількості вузлів або при появі нових додатків і, як наслідок, затримки у роботі мережі стають неприпустимими. В мережах верхнього рівня АСКТП цю проблему розв'язують за допомогою логічної сегментації мережі, використовуючи комутатори і маршрутизатори, а іноді мости і шлюзи, причому останнім часом локальні мости і концентратори все більше витісняються комутаторами. Мости залишилися тільки як засоби віддаленого доступу (наприклад, для зв'язку локальних мереж із глобальними). Замість концентраторів використовують спеціальні прості одно функціональні комутатори, призначені тільки для швидкої передачі кадрів з порту у порт за адресою. Вартість таких комутаторів з розрахунку на один порт швидко зменшує-

ться, наближаючись до меншої вартості одного порта концентратора. Продуктивність мережі з комутаторами перевищує продуктивність мережі з концентраторами завдяки тому що в першій з них наявні такі чинники:

- * передача кадрів тільки у той сегмент, де він потрібний, на відміну від концентратора, який передає кадр, отриманий в один порт, усім іншим портам;

- * паралельна передача кадрів між вхідними і вихідними портами, яка дозволяє потенціально збільшити пропускну спроможність в $N/2$ разів порівняно до застосування концентратора, де N – кількість портів, що працюють у класичному напівдуплексному режимі; якщо порти працюють у дуплексному режимі, то прискорення становитиме N разів;

- * конвеєрний метод передачі кадру, коли кадр починає передаватися на вихідний порт відразу після надходження перших байтів з адресою призначення.

Однак існують випадки, коли застосування комутаторів не приводить до суттєвого збільшення продуктивності сегмента:

- * немає груп вузлів, що обмінюються інформацією, в основному між собою, або більша частина трафіку призначена для одного вихідного порту. В цьому разі введення комутаторів у мережу тільки зменшує її продуктивність через те, що рішення про передачу кадру з одного сегмента в інший потребує додаткового часу, а потужність потоку кадрів зменшується незначно;

- * у мережі існує інтенсивне джерело широкомовного трафіку і всі сегменти, які підімкнено до портів комутатора, «засмічуються» цим трафіком;

- * комутатор працює у режимі перевантаження.

3. Мережа Ethernet. Найчастіше промислові комп'ютерні мережі створюють у вигляді мережі Ethernet. На користь застосування цього протоколу свідчить нерівномірне розташування робочих станцій на хар-

чових підприємствах, невелика вартість комунікаційних пристроїв та можливість масштабування швидкості передачі даних у ланцюжку Ethernet – Fast Ethernet – Gigabit Ethernet. Водночас, з огляду на недетерміністичний характер протоколу Ethernet, завжди існує невелика, відмінна від нуля ймовірність, що повідомлення одного з вузлів ніколи не досягне адресата, причому ця ймовірність значно збільшується зі зростанням навантаження. Тому у випадках, коли потрібна гарантована доставка інформації перевагу мають протоколи Token Ring або FDDI, або програмна емуляція маркерного доступу до Ethernet. Тип комунікаційного обладнання: концентратори (КЦ), комутатори (КМ) та маршрутизатори (МШ) – залежить від кількості РС, їх розташування та щільності інформаційних потоків між ними.

Перший, найбільш простий і дешевий варіант реалізації мережі верхнього рівня за допомогою Ethernet показано на рис. 4.3 (застосовані скорочення: АМ – адаптер мережі, ВП – вита пара), причому перша група РС розташована, наприклад, у заводоуправлінні, а друга – у виробничому корпусі. Обмеження реалізації цієї схеми пов'язані з кількістю вільних портів КЦ, а також з тим, що відстань від КЦ до будь-якої РС не повинна перевищувати 100 м при використанні UTP-5.

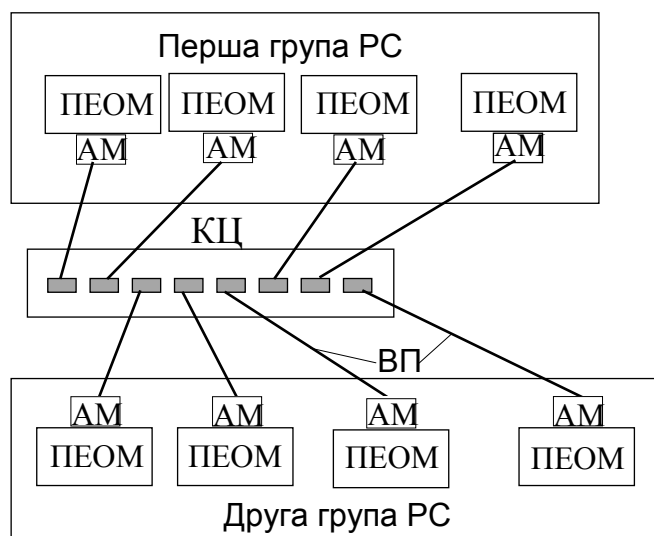


Рис.4.3

Недоліки цього варіанта пов'язані, по-перше, з невеликим ресурсом розширення мережі; по-друге, з незахищеністю інформації, яку може приймати не тільки PC-адресат; по-третє, з можливістю блокування роботи сегмента, коли одна PC передає у мережу помилкові пакети або дві PC інтенсивно обмінюються інформацією. Схема не зміниться, коли замість КЦ буде використаний КМ (другий варіант). Застосування КМ ліквідує перший, другий і частково третій недоліки схеми з КЦ, причому вартість одного порту простого КМ близька до вартості одного порту КЦ. Водночас до недоліків другого варіанта належать: по-перше, можливість блокування роботи сегмента однією PC, що активно передає широкомовні запити (broadcasts storm); по-друге, можливість переповнення черги КМ у разі трансляції всього вхідного трафіку в один порт; по-третє, значна вартість інтелектуальних КМ у разі потреби їх використання. При збільшенні кількості PC і будівель, де вони розташовані, можливі третій і четвертий варіанти мережі Ethernet, зображені відповідно на рис. 4.4 та рис. 4.5.

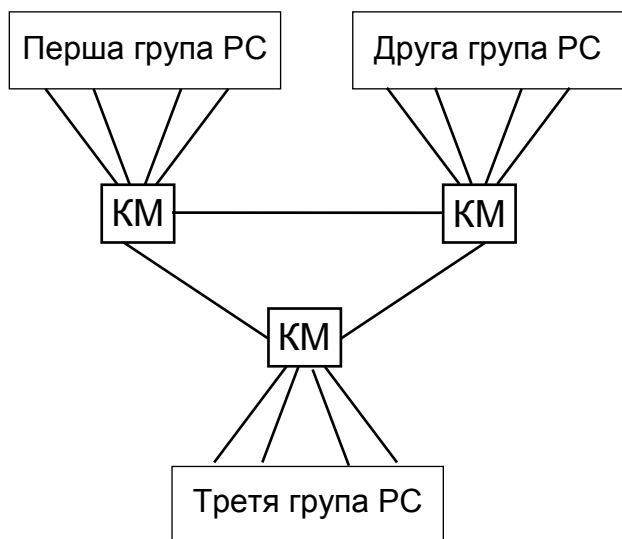


Рис.4.4

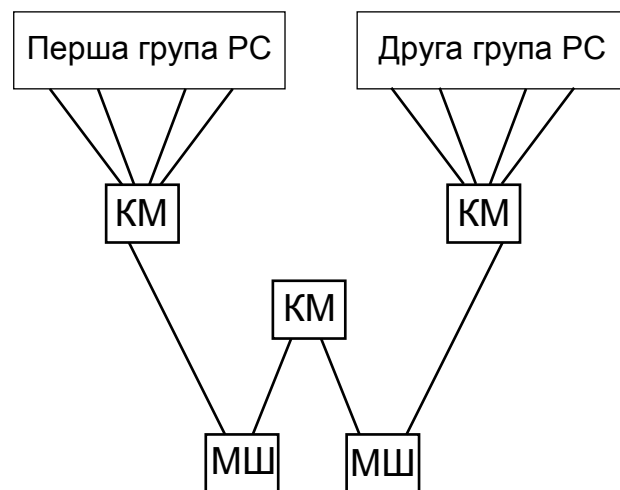


Рис.4.5

Третій варіант ефективний у разі великого трафіку всередині груп PC. Він має такі переваги: по-перше, це зниження навантаження на окремі КМ і на мережу у цілому; по-друге, можливість створення надлишкових зв'язків між КМ, які підтримують протокол Spanning Tree, що підви-

щує відмовостійкість мережі. Недоліки цього варіанта такі ж, як і попереднього, але третій варіант дорожчий від другого.

Четвертий варіант більш ефективний при підключення груп серверів і створенні ділянок мережі, всі звернення до яких зовні фільтруються. Перевагою цього варіанта є можливість повного контролю за вхідним та вихідним сегментними трафіками і, як наслідок, можливість повної ізоляції сегмента і виключення перевантажень, пов'язаних з передачею однією РС широкомовних запитів. Недоліками є велика вартість (вартість одного порту МШ значно вища від вартості одного порту інтелектуального КМ) та зменшення відмовостійкості через наявність надлишкових пристроїв.

Подальший розвиток цієї мережі проходить у таких напрямках:

1) використання швидкої мережі *Fast Ethernet* з тактової частоти у 10 разів більшої, ніж у мережі Ethernet, тобто при ШПД 100 Мбіт/с. Вона базується на топології та принципах звичайної мережі Ethernet. Різниця полягає насамперед в іншому фізичному середовищі передачі даних. У відповідності до стандарту IEEE 802.3u для технології Fast Ethernet використовують такі системи: 100Base-TX та 100Base-T4 – для витої пари (ВП) і 100Base-FX – для оптоволокна (ОВ).

Система 100Base-TX використовує дві пари проводів: одну – для передачі, іншу – для прийому, причому допускається застосування витих пар UTP-5 з хвильовим опором 100 Ом та STP-1 з хвильовим опором 150 Ом при довжині сегмента до 100 м і діаметрі мережі (максимальна відстань між будь-якими двома абонентами) – 200 м. Система 100Base-T4 використовує чотири пари проводів: дві – для односпрямованої передачі, дві інших – для двоспрямованої з такою ж дистанційністю, як і попередня. У цьому разі допускається застосування витих пар UTP-3, UTP-4, UTP-5. Система 100Base-FX використовує двожилийний багато модовий ВОК, в якому за одним волокном передається сигнал, а за іншим він

приймається. Довжина сегмента – 100 м, допустимий діаметр мережі – 412 м.

Легкість переходу від Ethernet до Fast Ethernet базується на такому:

- * загальний метод доступу дозволяє використовувати в мережних адаптерах і портах Fast Ethernet до 80% мікросхем адаптерів Ethernet; драйвери також містять більшу частину коду для адаптерів Ethernet, а різниця викликана новим методом кодування (4В/5В або 8В/6Т) і наявністю дуплексної версії протоколу;

- * формат кадру залишається попереднім, що дає змогу аналізаторам протоколів застосовувати ті ж методи аналізу, що і для сегментів Ethernet, тільки механічно збільшивши швидкість роботи.

Недоліки Fast Ethernet пов'язані з тим, що для створення сегментів з поділенням за часом середовищем необхідно застосовувати концентратори (1 – 2 у сегменті) і максимальний діаметр мережі має бути в межах 136...205 м. У разі використання двох концентраторів відстань між ними не повинна перевищувати 5 – 10 м, тому застосування додаткового концентратора збільшує тільки кількість портів, не змінюючи практично відстань між комп'ютерами. Крім того, поділений за часом сегмент Fast Ethernet не має переваг в обслуговуванні трафіку реального часу, тому що будь-який кадр має рівні шанси захопити середовище передачі даних у відповідності до методу доступу. У той же час крім напівдуплексної версії протоколу, що підтримує ДВД, можлива і дуплексна версія, що працює з комутаторами.

Наявність загальних особливостей мереж Ethernet і Fast Ethernet дозволяє під час переходу від Ethernet до Fast Ethernet для збільшення пропускної спроможності мережі залишати той самий обслуговуючий персонал і засоби аналізу протоколів. Що стосується нових мереж, то в мережах робочих груп з допомогою Fast Ethernet можна об'єднати близько розташовані комп'ютери, трафік яких має пульсуючий характер з великими, але нечастими сплесками, а значить і нечастими колізіями

(наприклад, трафік файлового сервісу, сервісу друку тощо). В магістралях будівель Fast Ethernet застосовують як у «чистому» вигляді, так і у поєднанні з FDDI або ATM;

2) використання мережі Gigabit Ethernet з тактової частоти у 10 разів більшою, ніж у мережі Fast Ethernet, тобто при ШПД 1 Гбіт/с має два суттєвих обмеження.

Перше обмеження у застосуванні Gigabit Ethernet пов'язане з тим, що для чіткого визначення колізії кінцевими вузлами і автоматичного повторювання передачі спотвореного у результаті колізії кадра, необхідно, щоб час передачі кадра завжди перевищував час подвійного оберту сигналу сегментом мережі. Враховуючи, що час розповсюдження сигналу обмежений швидкістю світла, максимальна довжина сегмента при ШПД 10 Мбіт/с – 2500 м, при ШПД 100 Мбіт/с і збереженні мінімального розміру кадру 64 байта – 250 м, а при ШПД 1 Гбіт/с – 25 м. Разом з тим існує велика кількість застосувань, коли довжину сегмента необхідно збільшити до 100 м. Є пропозиція збільшити мінімальний розмір кадру до 512 байт, що дозволяє збільшити діаметр сегмента до 100 м, однак зменшує корисну пропускну спроможність мережі. Інша пропозиція базується на застосуванні для з'єднання вузлів у сегмент буферного дуплексного повторювача, що знімає реалізацію ДВД з мережних адаптерів комп'ютерів, однак повторювач, як і раніше, реалізує поділене за часом середовище за рахунок застосування ДВД до кадрів, які надійшли у буфер порту. Такий підхід дозволяє побудувати зв'язки між вузлом та повторювачем такої ж довжини, як і при комутаторі, і в той же час зменшити вартість комунікаційного обладнання, тому дуплексний повторювач з внутрішньою продуктивністю 2 Гбіт/с дешевший ніж комутатор з N портами Gigabit Ethernet продуктивністю $N/2 \times 2$ Гбіт/с.

Друге обмеження пов'язане з досягненням ШПД 1 Гбіт/с на основних типах кабелів, тому що фізичний рівень оптоволоконної версії Gigabit Ethernet забезпечує ШПД тільки 0,8 Гбіт/с, однак відстань між вузлами

для дуплексного режиму становить 550 м, а для одномодового – 3000 м. Що стосується ВП, то планується використати всі 4 пари UTP-5 або 2 пари UTP-6. Підкреслимо, що особливі труднощі виникають під час реалізації Gigabit Ethernet на поділеному за часом фізичному середовищі.

4. Мережа FDDI (протокол та метод доступу цієї мережі розглянуті в п.4.3.1.) має подвійну кільцеву топологію та двоканальне підключення для підвищення надійності і відповідає стандарту ISO 9314. Можливі також топології типу «зірка», «кільце» та «кільце з зірками. В мережі використовується більш ефективний метод передавання маркера ETR (Early Token Release – раннє звільнення маркера), порівняно зі стандартом IEEE 802.5.

Дистанційність залежить від виду ВОК. При використанні багатомодового ВОК з єдиним підмиканням і світлодіодним джерелом світла у діапазоні до 1300 нм – дистанційність має межу до 2 км, у разі використання аналогічного ВОК також з єдиним підмиканням і лазерним джерелом світла дистанційність збільшується до 60 км.

У кожного кільця може бути до 50 вузлів, або до 1000 при використанні повторювачів. Загальна протяжність ВОК за колом може становити до 200 км, однак для забезпечення можливості циклічного повернення від кінця до початку кільця за час відновлення ділянки мережі, що відмовила, коло мережі повинно перебувати в межах 100 км. Вузли з подвійним підмиканням в основному кільці можуть бути рознесені на відстань до 2 км при використанні ВОК-БМ і на відстань до 30 км при використанні ВОК-ОМ.

Високу надійність мережі забезпечує можливість динамічної реконфігурації її структури за рахунок подвійного кільця передачі даних і спеціальних процедур керування конфігурацією. Для цього в мережі використовуються робочі станції (РС) двох типів:

станція з подвійним підключенням (подвійна) РСД (DAS – Dual Attachment Stations), яка має два порти введення-виведення, що утворюють

два кільцевих тракти передачі сигналів, причому додаткове кільце використовується для циклічного повернення від кінця до початку в разі пошкодження кабелю або виходу РС з ладу ;

станція з єдиним підключенням РСЄ (SAS - Single Attachment Stations), яка має один порт введення-виведення.

Концентратори, що широко використовуються в FDDI, також поділяють на подвійні (КД) та одинарні (КЄ). Більшість пристроїв підключається або до КД, які використовуються на магістральній ділянці мережі, або до КЄ, які в свою чергу підімкнуті до КД і утворюють другий рівень мережі (рис. 4.6). Така топологія називається деревоподібною топологією подвійного кільця (dual ring-of-trees). Топологія FDDI з меншою кількістю вузлів часто має архітектуру згорнутої магістралі, в якій всі РС підключені до одного концентратора або розташовані в одному кільці. Підключення РС до концентраторів може бути виконане як за допомогою ВОК, так і за допомогою витих пар.

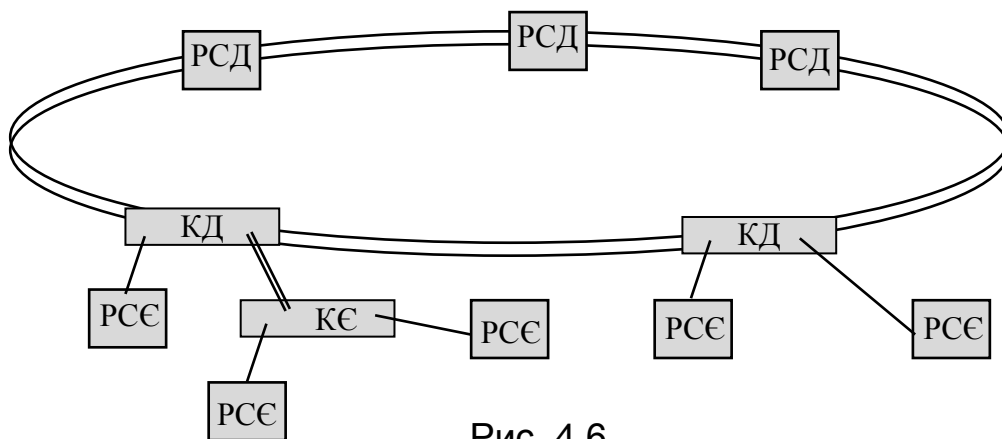


Рис. 4.6

Мережа має два режими передачі даних: синхронний та асинхронний. У синхронному режимі РС після надходження маркера передає дані протягом t_c , причому $THT \geq t_c$, де THT (Token Holding Time – час затримки маркера). Цей режим зазвичай використовується для додатків, чутливих до часових затримок, наприклад, при оперативному керуванні. У асинхронному режимі тривалість передавання інформації t_a залежить від часу обертання маркера TRT (Token Rotation Time). Якщо $TRT >$

> TTRT (Target Token Rotation Time – контрольний час обертання маркера), то передавання даних у асинхронному режимі не відбувається. В нормальному режимі передавання маркера $TRT = TTRT$, а $t_c + t_a = THT$. Найчастіше $TTRT = 8$ мс. Додатково у асинхронному режимі встановлено до семи рівнів пріоритетів, кожний з яких має власний граничний час передавання інформації.

Стандарт на мережу FDDI має дві складові частини, що належить до фізичного рівня еталонної моделі OSI (PHY і PMD), та дві складові частини, що належать до канального рівня еталонної моделі OSI (MAC і SMT). Частина PHY визначає кодування та декодування, послідовно-паралельне перетворення, відновлення синхронізації. Частина PMD містить описи типів кабелю і з'єднувачів, приймально передавальників та оптичного перемикача. Частина MAC визначає керування доступом до оптичного кабелю, обробку маркера, формування кадрів і коду CRC (Cyclic Redundancy Code – циклічний надлишковий код виявлення помилок), розпізнавання образів. Частина SMT (Station Management Layer – рівень керування станціями) забезпечує керування всіма рівнями моделі FDDI, контроль та керування роботою кільця, керування з'єднаннями, формування кадрів SMT і відповідь на них, а також розпізнавання суміжних РС, виявлення відмов та перенастроювання, введення та виведення з кільця, контроль статистичної інформації про трафік.

5. Мережа Token Ring має комбіновану топологію «зірка/петля» з вузлами, які радіально підключені до блоків підключення до середовища (БПС), причому останні, з'єднуючись один з одним (якщо їх декілька), утворюють «кільце». Token-Ring відповідає стандарту IEEE 802.5 і має максимальне ШПД 16 Мбіт/с. Існує велика кількість типів БПС. У найпростішому випадку – це пасивний пристрій, що дозволяє підімкнути одну станцію до магістрального кабелю, але можливе і використання АКЦ та ПКЦ (рис.4.7).

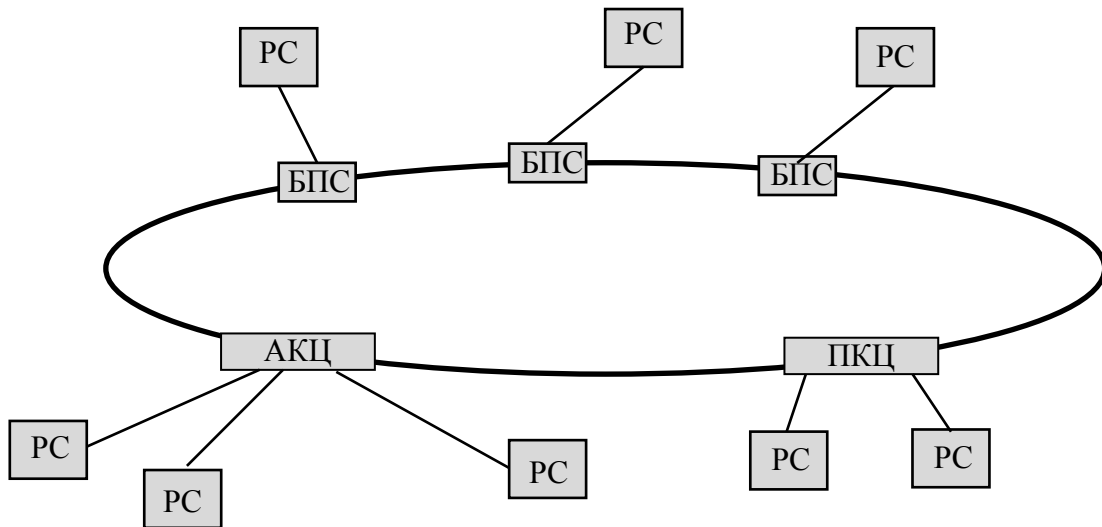


Рис. 4.7

Максимальна кількість концентраторів та PC в мережі залежить від конструктивних особливостей концентраторів. Так, наприклад, АКЦ IBM 8238 дозволяє підмикати до 16 PC при послідовному з'єднанні в мережі не більше 8 АКЦ, тобто максимально до 128 PC, а АКЦ IBM 8230 – до 20 PC і не більше 4, що з'єднує всі концентратори мережі – 120 м. Таким чином, при більшій ніж у Ethernet вартості комунікаційного забезпечення, ця мережа має меншу ШПД і дистанційність, однак обертання в мережі тільки одного маркера виключає можливість виникнення конфліктів (колізій).

Коли керування роботою мережі централізоване, то головним менеджером зв'язку у кільці є активний монітор, яким може бути будь-яка, але у кожний конкретний момент часу тільки одна PC. Активний монітор відповідає за передавання керуючої інформації та даних усіма станціями кільця. Крім того, він підтримує головний тактовий генератор, реалізує потрібну затримку передавання інформації, стежить за втраченими кадрами та маркером. Інші PC у цей час беруть на себе функції пасивних моніторів, виконуючи всі інші функції керування кільцем.

4.4. ВУЗЛИ НИЖНЬОГО РІВНЯ

4.4.1. Апаратні засоби

Вузли нижнього рівня АСКТП найчастіше реалізуються з допомогою програмованих логічних контролерів (ПЛК), які за каналністю поділяють на мало- (приблизно 18-64 входів / виходів), середньо- (приблизно до 320 входів / виходів) та великоканалні (більш 320 входів / виходів). При цьому як додаткові технічні засоби цих вузлів застосовують регулювальні контролери (РК), які теж можуть бути мало-, середньо- та великоканалні.

Внутрішня структура контролерів – магістральна, тобто до внутрішньосистемної шини підмикаються процесор; пристрої оперативної та постійної пам'яті (ППП); зовнішні пристрої; засоби оперативного управління; пристрої цифрового зв'язку та пристрої зв'язку з об'єктом. До основних визначальних показників вузлів з МПК належать:

- характеристика програмного забезпечення;
- ємність оперативної пам'яті;
- алгоритмічна ємність контролера;
- інформаційна ємність контролера;
- точність реалізації функцій контролю та керування;
- тривалість циклу обробки інформації та наявність фоновому режиму;
- характеристика інтерфейсів та протоколів підмикання контролера до засобів більш високого рівня керування;
- швидкість передачі інформації до засобів більш високого рівня керування.

Можна виділити три основні напрями, за якими відбуваються зміни у технічному забезпеченні вузлів нижнього рівня АСКТП:

1) *поява нових магістрально-модульних контролерів* на основі шинної архітектури комп'ютерних засобів, при якій контролери збирають із повністю готових плат. Номенклатура цих плат становить понад 3000 найменувань: процесори, мережеві контролери, блоки пам'яті, мезонинні модулі вводу / виводу зі знімними каналами будь-якого типу (аналогового, дискретного, імпульсного) та ін. Плати та рознімання виконані у

стандартних форматах Eurocard і вставляються у стандартні конструктиви різних типів: рами, стійки, шафи, які мають широкий діапазон виконання для різних умов довколишнього середовища: температуру, вологість, наявність пилу, вібрації, електромагнітних шкідливих сигналів;

2) *заміна МПК на ІПК та зближення ПЛК з ІПК* при використанні у подальшому архітектури клієнт/сервер. При цьому відбувається заміна автономних ПЛК з централізованим вводом/виводом інформації і нескладною графікою – відкритими мережами, що охоплюють такі виробничі шини, як Profibus, з використанням розподілених інтелектуальних систем, тривимірної графіки, а також стандартного ПЗ, орієнтованого на ОСРЧ у зв'язку з тим, що контролери керують технологічними процесами, включаючи і усунення аварійних ситуацій, в реальному часі, і тому практично завжди повинні мати ОС «жорсткого» РЧ;

3) *збільшення питомої ваги вбудованих вузлів*. Характерною рисою систем автоматизації нижнього рівня є те, що вони часто безпосередньо вбудовуються у промислове («бортове») обладнання. Ці системи розташовують на самому об'єкті, і часто вони повинні працювати поза приміщеннями або в приміщеннях без опалення. У багатьох випадках комп'ютери або контролери цих систем є частиною агрегата або механізму, тому їх називають вбудованими (Embedded) і висувають до таких засобів специфічні вимоги, що, насамперед, пов'язані з вібростійкістю, ударостійкістю, розширенням робочого діапазону температур, малими габаритними розмірами та невеликою споживаною потужністю. Можливі також вимоги щодо вибухобезпечності, радіаційної стійкості, стійкості до хімічних агресивних середовищ та потужних електромагнітних полів. Функціональні особливості вбудованих засобів зводяться до такого:

- * наявність сторожового таймера (Watchdog Timer), що автоматично перезапускає систему в разі зависання програми;

- * зберігання параметрів Setup в енергонезалежній пам'яті без застосування спеціальних батарейок; програма Setup може бути запущена

при завантаженні ПК і призначена для перегляду і модифікації незалежної CMOS-пам'яті, яка зберігає інформацію про параметри конфігурації ПК (кількість і тип нагромаджувачів на магнітних дисках, тип відеоадаптера, наявність співпроцесора тощо), має електронні часи. CMOS-пам'ять – це мікросхема, яка розташована на системній платі і живиться від спеціальної батарейки чи акумулятора, що може розташовуватися усередині цієї мікросхеми;

- * завантаження операційної системи із ППП;
- * використання як нагромаджувачів електронних дисків на базі флеш-пам'яті.

Вбудовані ПК умовно можна поділити на дві групи. До першої належать ПК, що мають кілька плат, об'єднаних системною шиною; до другої – одноплатні ПК. Використання стандартного підходу з системною шиною дозволяє створювати функціонально більш потужні системи керування, гнучкі при переконфігуруванні та налагодженні на конкретний додаток. Одноплатні ПК, які не мають засобів підтримки системної шини, можуть виявитися дешевшими в тому разі, коли особлива гнучкість не потрібна. Однак одноплатні ПК, як правило, мають шину розширення (Mezzanine Bus) для підмикання додаткових плат, які виконують специфічні функції.

4.4.2. Програмні засоби

Міжнародна Електротехнічна Комісія (МЕК) розробила серію стандартів для ПЛК: МЕК 1131-1. «Загальні положення» (1992); МЕК 1131-2 «Специфікації і випробування обладнання» (1992); МЕК 1131-3 «Мови програмування» (1993); МЕК 1131-4 «Рекомендації користувачам»; МЕК 1131-5 «Специфікація сервісних служб повідомлень». У стандарт МЕК 1131-3 входять 5 мов програмування:

LD-мова (Ladder Diagram – діаграма покрокової логіки) у графічному вигляді є алгоритмом послідовного розв'язання задачі релейної логіки. В

бібліотеку функціональних блоків цієї мови входять: лічильники, реєстратори, одинівбратори, ПІД-регулятори, обчислювальні блоки, блоки комунікацій і операторського інтерфейса і т.д. Аналогом LD-мови є мова релейно-контактних схем;

IL-мова (Instruction List – список інструкцій), за своїми функціональними можливостями аналогічна LD-мові, а зовні схожа на асемблер і більш зручна для програмування складних обчислень;

ST-мова (Structured Text – структурований текст) є паскале-подібною мовою, що дозволяє реалізувати складні алгоритми з програмуванням умов переходу, різних циклів, спеціальних математичних функцій тощо;

SFC-мова (Sequential Function Chart – граф послідовного керування) є графічною мовою для програмування роботи машин та установок, що мають послідовний характер функціонування. Ця мова зручна у налагодженні та діагностиці машин;

FBD-мова (Function Block Diagram – діаграма функціональних блоків) є також графічною мовою, з елементами у вигляді функціональних блоків.

Використання зазначених стандартних мов програмування скорочує час розробки прикладної програми завдяки достатньо великій бібліотеці функціональних блоків; спрощує обслуговування контролерів за рахунок знайомства зі стандартною структурою прикладної програми і принципами її функціонування, заощаджує час для початкового навчання персоналу, враховуючи знання мов стандарту. Водночас у стандарті відсутні сервісні функції редакторів (копіювання, пошук, переноси і т.п.), експорту / імпорту програм, конвертування мов однієї в іншу тощо.

4.5. ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕРЕЖІ НИЖНЬОГО РІВНЯ

4.5.1 Загальна характеристика мереж

Мережі контролерів найчастіше створюються у вигляді промислових мереж та польових шин ПШ (Fieldbus або Field Network). Значення цих протоколів пов'язане із заміною радіальних з'єднань контролерів з об'єктними вимірювальними перетворювачами та виконавчими механізмами (ОВП / ВМ) більш економічним паралельним підмиканням їх до польової шини. Таким чином ПШ – це повністю цифрова двоспрямована багаточкова комунікаційна система, що використовується для зв'язку ОВП / ВМ з контролерами або комп'ютерами. До таких ОВП / ВМ часто застосовують термін “інтелектуальні”, тому що вони за допомогою вбудованого мікропроцесора не тільки перетворюють сигнали у цифрову форму і навпаки, але й виконують деякі операції ПОІ та реалізують алгоритми автоматичного регулювання. В той же час протоколи ПШ дуже різноманітні і менш стандартизовані, ніж протоколи комп'ютерних мереж, тому що кожна фірма-виробник контролерів підтримує насамперед свій “фірменний” протокол, як правило, несумісний з іншими.

Як фізичне середовище передачі даних в ПШ застосовують виту пару, а за наявності суттєвих електромагнітних шумів – екрановані ВП або ОВ, середня кількість таких пристроїв в мережі знаходиться в межах 50...200 при довжині мережі 100...1000 м. Для з'єднання кількох малошвидкісних мереж Fieldbus з багатошвидкісною використовують шлюзи. Більша частина горизонтальних інформаційних потоків мережі – циклічного типу з часом циклу 0,25...2 с з довжиною 1...5 байт на підключений пристрій, з затримками в передачі повідомлень порядку 100 мс.

ПШ крім фізичного з'єднання пристроїв має забезпечувати виконання таких функцій:

- просте підмикання до мережі пристроїв різних виготовлювачів та видалення їх у разі необхідності без створення перешкод іншим пристроям мережі;
- можливість перевірки всього комплексу обладнання з будь-якої точки мережі;

- сигналізація аварійного стану пристроїв мережі;
- можливість виявити та ідентифікувати новий пристрій мережі;
- можливість пересилати циклічні та ациклічні дані та синхронізувати роботу двох станцій;
- використання мінімум двох і максимум чотирьох рівнів пріоритетів;
- керування ВМ;
- визначення поточного стану фізичного середовища передачі даних;
- запам'ятовування конфігурації пристроїв.

Таким чином, застосування мереж Fieldbus дає змогу перенести на приладовий рівень функції первинної обробки інформації, регулювання, блокування у гарантованих циклах 50 мс, звільняючи від них ПЛК, розвантажуючи мережу та збільшуючи надійність, оскільки функції контролю і регулювання реалізуються і в разі відмови ПЛК; зменшуються витрати на технічні засоби (у контролерів зникають блоки вводу/виводу, у вимірювальних перетворювачів – спеціальні джерела живлення або живильний кабель, тому що в більшості випадків мережа Fieldbus підводить живлення до пристроїв, які з'єднує); скорочується довжина з'єднувальних ліній (до 40 %) за рахунок заміни радіальних з'єднань на підключення до польової шини.

4.5.2. Технічна реалізація мереж

1. Мережа Profibus створена кількома університетами та промисловими компаніями Німеччини у вигляді двох модифікацій: DP/PA та FMS. Profibus DP/PA базується на німецькому (DIN 19245), європейському (EN 50170) та міжнародному (IEC1158-2 для PA) стандартах, причому в стандарт EN 50170 модифікації FMS та DP включені без змін. Profibus FMS порівняно з Profibus DP/PA має розширені прикладні функції при аналогічних основних. Ця мережа має за стандартом OSI трирівневу структуру: фізичний, каналний та прикладний рівні. Вона економічна, тому що не

потребує спеціального обладнання за винятком універсального асинхронного приймача-передавача; зручна для цієї мережі, де необхідно реалізувати гібридний підхід з використанням ведучих, ведених та рівноправних вузлів. Недоліки пов'язані зі відсутністю гарантій на певний час реагування.

Фізичний рівень. Фізичним середовищем для Profibus є екранована вита пара з повним опором 100...130 Ом, довжиною не більш 1,2 км. ШПД знаходиться в межах 9,6 кбіт/с ... 2 Мбіт/с. Для критичного часу задач рекомендована система з 32 активними станціями на сегмент і максимальною кількістю станцій – 126. Кабель – ВП та ОВ. Можливе як ациклічне, так і циклічне передавання даних з 255 байтами в кадрі. Довжину лінії і кількість вузлів можна збільшити за допомогою повторювачів (не більше 3). Кожна термінальна станція, якою закінчується лінія, має забезпечити напругу +5 В та струм не менш 10 мА. В Profibus використовується такий метод передавання. Кожен біт кодується без повернення до нуля і передається диференційною напругою. Під час періоду мовчання незаземлена диференційна лінія переводиться кінцевим пристроєм на одиницю. Дані передаються як символічно орієнтовані.

Канальний рівень цієї мережі має два підрівні: підрівень керування доступом в середовище (MAC) і підрівень логічного керування каналом (LLC). Керування доступом до середовища виконується на основі гібридного метода, при якому використовують децентралізований метод передачі маркера за “кільцем”, яке утворюють активні станції, і централізований метод “ведучий / ведений” (master / slave principle) для зв'язку активної і пасивної станцій. Активна станція з маркером може керувати системою і передавати повідомлення. Пасивна станція лише підтверджує отримане повідомлення та пересилає інформацію на запитання. Маркер передається від одного активного вузла до іншого за логічним кільцем Система master / slave реалізується, якщо в це кільце входить один ведучий вузол і кілька ведених. Для забезпечення оптимального

часу відгуку у системі використано таймер заданого часу обертання (TTR – Target rotation time). Коли естафета проходить цикл і повертається до вузла за час, менший ніж TTR, вузол може передавати повідомлення протягом тієї частки періоду, що залишилась. Якщо реальний час циклу більше, ніж TTR, вузол пересилає лише одне повідомлення високого пріоритету і передає естафету. В системі існує два рівня пріоритетів, причому повідомлення з високим пріоритетом буде передаватися завжди, незалежно від потужності потоку інформації. В нормальних умовах повідомлення з високим пріоритетом передається до повідомлення з низьким пріоритетом.

Кожен блок даних символно орієнтований і передається асинхронно, причому кожний символ має 11 бітів: стартовий, 8 інформаційних, біт перевірки та стоп-біт. Синхронізація бітів приймачем починається з заднього фронту стартового біта. Похибки в пересиланні блоків обробляються на рівні каналів передачі даних, крім виключних станів (втрачені естафети, станції з пошкодженими приймачами-передавачами і т.і.), обробка яких передається користувачу.

Система Profibus забезпечує 4 основні послуги:

- * пересилання даних з підтвердженням (ПДП)
- * пересилання даних без підтвердження (ПДБ),
- * пересилання та запитування даних з відповіддю (ПДВ),
- * циклічне пересилання та запитування даних (ЦПД).

Послуга ПДВ дозволяє локальному користувачу передавати інформацію на окрему віддалену станцію і в той же час запитувати інформацію, до якої віддалений користувач дозволяє доступ. Ця послуга забезпечує отримання вузлом інформації від пасивного вузла. Можливість циклічного пересилання дозволяє локальному користувачеві циклічно пересилати дані віддаленому користувачу і, в свою чергу, отримувати інформацію від нього, що забезпечує часову і просторову узгодженість даних, причому під першою розуміють властивість, пов'язану з отриманням про-

сторово розподіленими користувачами однакових копій значень змінних, а під другою – властивість, пов'язану з появою в один і той же момент даних користувача, які є в часовому вікні та доступні для їх використання. Дані віддалених користувачів за вимогою передаються віддаленому мережному контролеру за допомогою послуги оновлення відповіді. Користувач збирає дані, циклічно посилаючи ПДВ відповідно до списку віддалених вузлів.

Прикладний рівень Profibus поділяють на підрівні. Перший з них – специфікація повідомлень (Fieldbus Message Specification – FMS) описує об'єкти зв'язку, сервіс і відповідну модель з точки зору партнера по комунікації. Другий підрівень – інтерфейс нижнього рівня (Lower Layer Interface – LLI) організує відображення FMS та FMA (керування доступом в Field-bus) на FDL (канальний рівень Fieldbus), встановлення зв'язку, відключення, диспетчеризацію зв'язку та керування потоками. FMA виконує контекстне конфігурування та виправлення помилок.

2. Л-мережа ломіконтів реалізується з топологією “зірка”, “кілеце”, або “дерево”, причому кожний ломіконт може бути зв'язаний з двома контролерами, як ініціатор обміну інформацією (активний вузол), і ще з двома іншими, як абонент (пасивний вузол). Кожний ломіконт у складі Л-мережі може мати цифровий зв'язок з ЕОМ, дисплеєм або (та) принтером по каналах з радіальними інтерфейсами ІРПС і ІРПР за умови наявності у відповідних пристроїв каналів ІРПС або ІРПР та необхідного програмного забезпечення. У Л-мережі ломіконт може також виконувати функцію інтелектуального (активного) ПЗО або системного контролера замість ЕОМ. В цифровому зв'язку з ЕОМ він є пасивним вузлом, тобто може лише приймати команди від активного вузла, виконувати його команди і відповідати на його запитання. Можливі два режими зв'язку ЕОМ з ломіконтами:

інформаційний – запитання і одержання інформації про поточне значення будь-якої змінної, коефіцієнтів алгоритму; програму користувача (ПрК) та її довжину; справність контролера тощо;

командний – крім функцій інформаційного режиму блокування чи роз- блокування будь-якої змінної, зміну її значень і значень коефіцієнтів алгоритма тощо.

Канали ІРПС в Л-мережах формують з допомогою модуля МИС2, який в цьому випадку має чотири канали. Кола каналів ІРПС в контролері пасивні, тому як джерело нестабілізованої напруги використовують блоки БПС-5 або БПН-24, причому споживаний струм для кожної лінії зв'язку становить 20 мА. Ці канали незалежно один від одного можна настроїти на одну з чотирьох ШПД – 9,6; 4,8; 2,4; 1,2 кбіт/с, але ШПД 3-го і 4-го каналів МИС2 повинні збігатися. Дистанційність зв'язку залежить від ШПД: при 9,6 кбіт/с вона – 0,5 км, а при 1,2 кбіт/с – 4 км. У дубльованих моделях модуль МИС2 входить до проектно-компонованої частини, тому що забезпечує зв'язок між основним і резервним комплектом, а канал ІРПС в модулі МУС2 використовують у ломіконтах для зв'язку з пультом оператора. Крім зв'язку за ІРПС у ломіконтах існує також зв'язок за ІРПР за допомогою модуля інтерфейсного паралельного зв'язку МИП, що має один двосторонній канал з дистанційністю 15 м, в якому обмін інформації здійснюється інформаційними байтами по 8 біт. Як кабель дуплексного зв'язку в цих контролерах використовують виту екрановану телефонну пару.

3. Мережа “Транзит” реміконтів малої каналності має топологію “кільце”. В цих контролерах передбачено вбудований інтерфейсний канал цифрового послідовного зв'язку ІРПС, причому керування мережею повністю децентралізоване і виконується самими контролером. Підключення контролерів до мережі не потребує ніякої додаткової апаратури. Передбачено самодіагностування мережі і захист її у разі відмови конт-

ролера за допомогою спеціального реле, яке при спрацьовуванні шунтує контролер, що відмовив, зберігаючи цілісність мережі “Транзит”.

В одному “кільці” може бути не більше 15 МПК та шлюзів (Ш), які мають два інтерфейсних канали: мережний – використовується для вмикання в мережу “Транзит” і абонентський - для міжмережного зв’язку. Шлюз реалізує також зв’язок мережі “Транзит” з вузлом верхнього рівня керування, яким може бути ПЕОМ або ломіконт. В одне “кільце” можна вмикати до чотирьох шлюзів. Мережу без шлюзу називають закритою, зі шлюзом – відкритою. На рис.4.8 наведена структурна схема одного з можливих варіантів відкритої мережі “Транзит”.

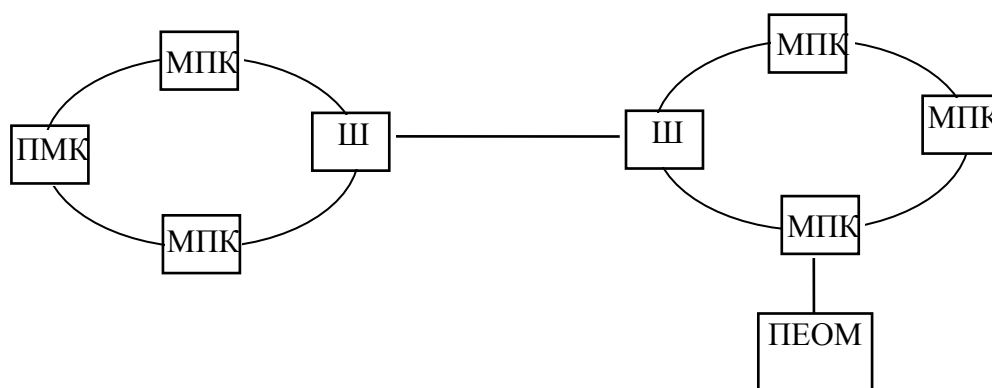


Рис. 4.8

В складі бібліотеки алгоритмів цього МПК є алгоритми передавання в мережу та приймання з мережі інформації. Алгоритм передавання дозволяє видавати в мережу один раз за цикл роботи МПК до 30 числових аналогових або до 390 логічних сигналів. Усі сигнали, що видаються, доступні всім контролерам мережі. Прийматися можуть будь-які сигнали, що їх видає джерело. Обмін іде з ШПД 9,6 кбіт/с, вид кабелю – ВП, відстань між сусідніми МПК – 500 м.

4. Мережі контролерів MODICON TSX. Фірма Shneider Electric (SE) випускає функціонально повний набір засобів управління Modicon TSX Momentum для підмикання до різноманітних стандартних шин Modbus Plus, WorldFip, Ethernet TCP/IP, Interbus S, Profibus DP, DeviceNet та інтеграції в архітектурах TSX Premium/Quantum. У набір входять базові моду-

лі розподіленого вводу/виводу (аналогові, дискретні, багато функціональні та двонаправлені дискретні) та адаптери (процесорний АП, комунікаційний АК та розширення АР). Адаптери встановлюють безпосередньо на модулях, а модулі можна розташовувати біля технологічного обладнання. Коли на модулі розподіленого вводу/виводу (MPBB) встановлюють АК, то утворюється виносний вузол вводу/виводу, який може бути підімкнено до будь-якої стандартної польової шини. При цьому такий вузол підтримує системи керування на базі ПК, ПЛК та процесорів TSX Momentum. АП – це функціонально повний ПЛК з процесором, ОЗП та флеш-пам'яттю, тому при встановленні його на MPBB отримують контролер малої каналності, а АР додає АП додаткові комунікаційні функції.

Усі АП мають один стандартний порт Modbus і можливість дооснащення другим додатковим портом. Це може бути другий порт Modbus або порт I/O bus, що дає змогу підімкнути до 80 MPBB, що розташовані на відстані 15 км. Крім того, при застосуванні АР можливий зв'язок по каналу Modbus Plus або послідовний обмін даними з модемами, операторськими терміналами та плоскими дисплейним панелями

Коротка характеристика мережі Modbus: максимальна кількість вузлів – 247, максимальна дистанційність – 5 км, максимальна ШПД – 19,2 кбіт/с, кабель – ВП. Усі передачі в мережі ініціюються головним вузлом (ПК або один з ПЛК мережі). Можливі три варіанти мережі: перший – двовузлова мережа через інтерфейс RS-232 на відстань 15 м; другий – багатовузлова (до 32 вузлів) мережа на відстань до 5 км через інтерфейс RS-485 з допомогою ВП; третій – багатовузлова (до 247 вузлів) на відстань більш ніж 5 км через інтерфейси RS-232 з допомогою ліній зв'язку загального користування, наприклад, телефонних.

Коротка характеристика мережі Modbus Plus: усі вузли „рівноправні” і мають доступ до мережі, після отримання маркера. Поки вузол має маркер, він може ініціювати передачу повідомлень. Сегмент мережі

має до 32 вузлів і довжину до 500 м, за допомогою репітерів кількість вузлів можна збільшити до 64, а довжину до 2 км. Подальше збільшення кількості вузлів (до 15 тис.) потребує використання шлюзів Modbus Plus. Для пристроїв, що прямо не підтримують Modbus Plus, застосовують міст-мультиплексор з 4-ма портами RS-232. Звичайний ПК через цей порт може програмувати або зчитувати дані з будь-якого вузла цієї мережі. Максимальна ШПД – 1 Мбіт/с, кабель – ВП, при передаванні на великі відстані та на вибухонебезпечних установках – оптоволокно. Для підвищення надійності використовують Modbus Plus з резервуванням, тобто двокабельну мережу.

У застосуванні TSX Premium та Micro можна також використовувати і дешеві шини фірми SE: Uni-Telway або Firway.

Шина Uni-Telway працює з інтерфейсом RS-485, забезпечуючи ШПД 19,2 кбіт/с. Метод доступу – master-slave (ведучий-ведений). Контролер master (TSX Premium та Micro) керує розподілом часу доступу до шини між іншими контролерами slave, причому до одного контролера master, на якому має бути встановлена PCMCIA карта TSX SPC 114, може бути підключено 32 контролери slave (96 адрес). Приклад формування мережі Uni-Telway наведений на рис. 4.9, до апаратного і комунікаційного забезпечення цієї мережі відносяться: ПЕОМ – Celeron-500/128M/10Gb/8M CD/S/ATX; МКП-П – контролер TSX Premium; МКП-М – контролер TSX Micro; АК – PCMCIA карта TSX SCP114 для підмикання контролерів до шини Uni-Telway; МК – модуль комунікаційний TSX SCY 21601; КП1 – пасивна Т-коробка TSX SCA 50; КП2 – пасивна двокабельна коробка TSX SCA 62; КП3 – коробка підключення TSX P ACC 01; ПДУ1 панель оператора ССХ 17; ПДУ2 – панель оператора Magelis; ФСА – кабель зв'язку з вбудованим адаптером RS232-RS485; ФС1 – кабель підключення TSX SCP CU 4030; ФС2 – кабель підключення TSX SCY CU 6530; ПРШП – пристрій регулювання швидкості приводу Altivar; ФСШ – подвійна екранова вита пара TSX CSA.

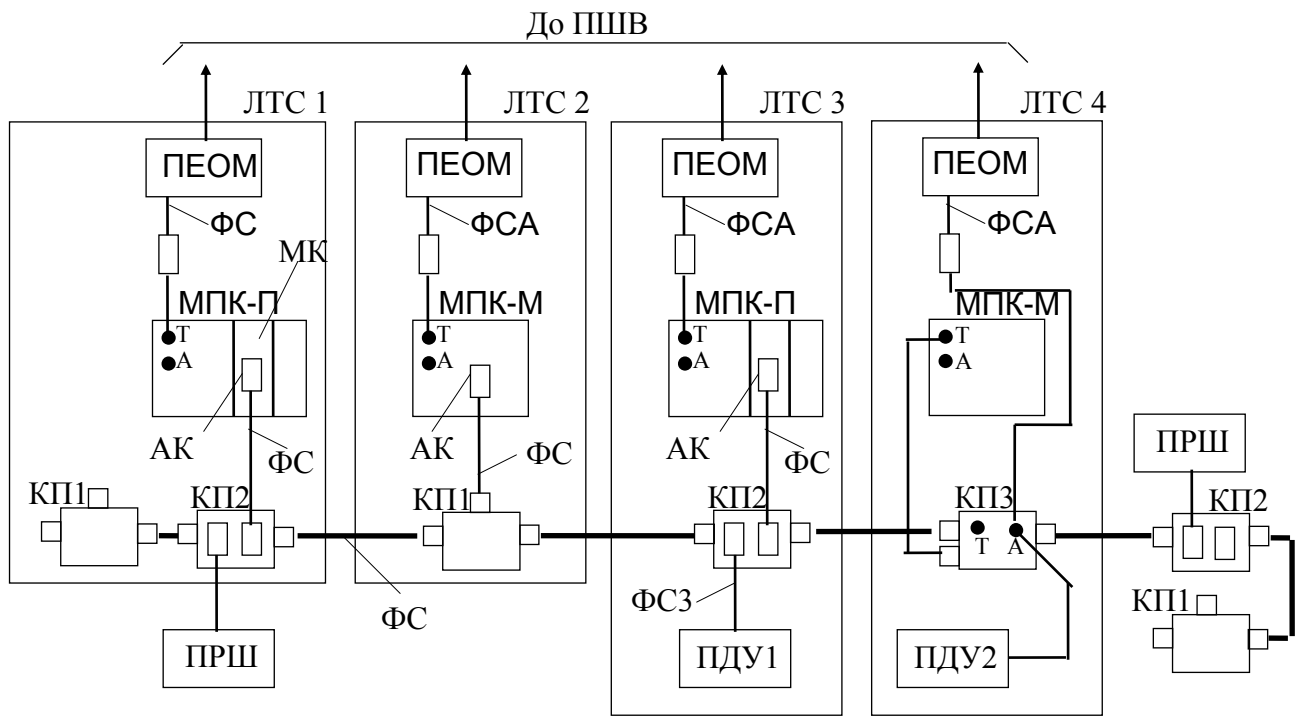
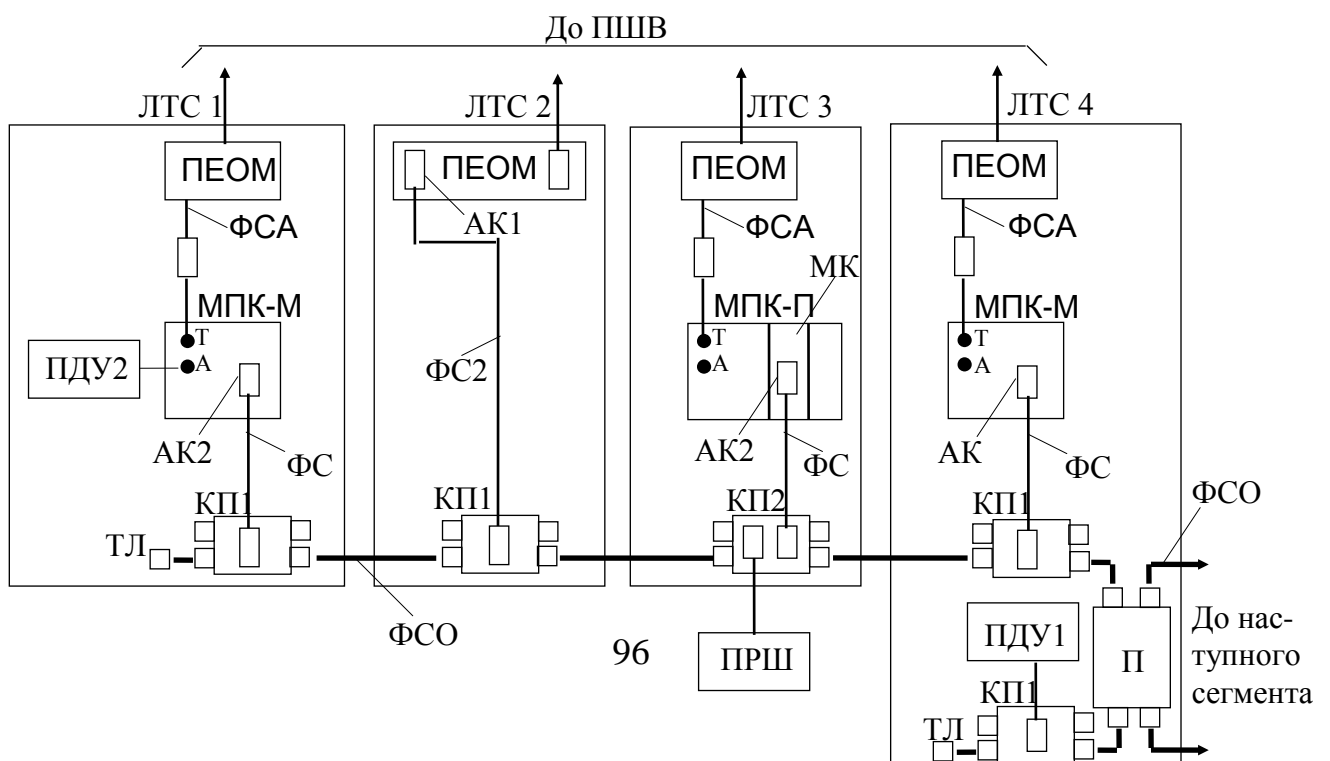


Рис. 4.9

Подвійна екранована вита пара, що використовується як основне фізичне середовище шини ФСШ, має бути підімкнута до землі кожного пристрою. Коробки КП1, КП2 і КП3 можуть бути застосовані як кінцеві навантажувачі шини, причому коробка КП3 використовується для підмикання контролерів TSX Micro / Premium до шини Uni-Telway через термінальний порт і має у комплекті кабель підключення завдовжки 1 м. КП3 застосовується також для гальванічного розподілу (при $L > 10$ м) і встановлення режиму роботи термінального порта шини (master, slave або символічний режим). Кабель ФС1 з'єднує коробку КП1 з картою TSX SCP 114, встановленою на процесорному або комунікаційному модулі.

Шина Firway відповідає стандарту WorldFip з організацією доступу через арбітра шини і має ШПД 1 Мбіт/с. Принцип дії Firway забезпечує надійний і постійний цикл опитування станцій мережі незалежно від трафіку і кількості станцій (від 2 до 64), через що можна додавати або вилучати станції без зниження продуктивності мережі. Характеристики мережі дають змогу передавати до 210 повідомлень зі швидкістю 128 байт/с, причому база загальних слів поновлюється через кожні 40 мс.

TSX Pre-mium та Micro під'єднуються до мережі за допомогою плати Firway PCMCIA, яка встановлюється у кожному процесорному або комунікаційному модулі. Приклад формування мережі Firway наведений на рис. 4.10, до апаратурного і комунікаційного забезпечення цієї мережі відносяться: ПЕОМ – Celeron-500/128M/10Gb/8MCD/S/ATX; МКП-П – контролер TSX Premium; МКП-М – контролер TSX Micro; АК1 – карта TSX FPC 10 для підмикання комп'ютера до шини Firway; АК2 – Firway PCMCIA карта TSX FPP 20 для підмикання контролерів до шини Firway; МК – модуль комунікаційний TSX SCY 21601; КП1 – Т-коробка відгалуження TSX FP ACC 4; АК1 – карта TSX FPC 10 для підмикання комп'ютера до шини Firway; АК2 – Firway PCMCIA карта TSX FPP 20 для підмикання контролерів до шини Firway; МК – модуль комунікаційний TSX SCY 21601; КП1 – Т-коробка відгалуження TSX FP ACC 4; КП2 – коробка TSX FP ACC 3 для підмикання 2-х PC або PCMCIA карт; ПДУ1 – панель оператора ССХ 17; ПДУ2 – панель оператора Magelis; П – повторювач TSX FP ACC 6; ТЛ –термінатор лінії TSX FP ACC 7; ФС1 – кабель підмикання (КП) TSX FP CG0.0; ФС2 – КП TSX FP CE 030; ПРШП – пристрій регулювання швидкості приводу Altivar; ФСО1 – екранована ВП TSX СА.00 для внутрішнього монтажу; ФСО2 – екранована ВП TSX CR.00 для зовнішнього монтажу.



Кабель ФСО1 і ФСО2 є основним кабелем FIP і має хвильовий опір 150 Ом. Комп'ютери та контролери Micro-Premium підмикають до шини через коробки КП1 і КП2 з дев'ятиштекерним з'єднувачем SUB-D, причому карта АК1 може бути поставлена тільки на ISA-шину.

5. ІНТЕГРАЦІЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

5.1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ІНТЕГРОВАНОЇ АСК

5.1.1 . Призначення, функції та створення системи

Підвищення ефективності і конкурентноспроможності промислових підприємств можливо тільки на основі створення єдиної інформаційної системи, яка інтегрує технологічні і бізнес-процеси в одне ціле, тому слово "інтегровані" широко використовується в назві сучасних систем автоматизації. Інтегровані АСК забезпечують узгоджене та скоординоване розв'язання задач з урахуванням часової і рівневої ієрархії за рахунок поділу загальної задачі керування на компоненти планування, регулювання, обліку, аналізу, а також часової ієрархії усередині кожного компонента. При цьому інтегрована система забезпечує координацію виробничих процесів, оперативного і перспективного планування, адаптації системи за рахунок зміни складу та взаємозв'язків між задачами, а також характеру взаємодії між її компонентами.

Можно виділити кілька часткових концепцій інтегрованих АСК (ІАСК) залежно від того, яка інтеграція є першорядною: технічна, інформаційна, програмна чи організаційна. Як зазначалось у першому розділі, термін

«інтегровані АСК» найчастіше визначає системи, що інтегрують функції АСКТП і АСКП, або модифікації останніх у вигляді корпоративної системи керування бізнес-процесами (КСКБП). Можлива також інтеграція АСУП і АСУЯ, АСУП і САПР та всіх зазначених систем разом. Інтегрувати можна також автоматизовані і неавтоматизовані частини системи, окремі фази циклу керування тощо. Іноді інтегрованими називають і КСКБП, маючи на увазі об'єднання матеріальних і фінансових потоків або кількох пакетів програмного забезпечення (ПЗ) в один інтегрований пакет прикладних програм для бухгалтерії, кадрових служб, збуту-постачання та виробництва з центральним фінансовим компонентом. Вибір переважного спрямування інтеграції АСК потребує оцінки ефективності сумісного та узгодженого функціонування локальних АСК, а також витрат на забезпечення їх інтеграції.

Перехід до інтеграції автоматизованих систем пов'язаний із системним аналізом об'єкта і задач керування з урахуванням зовнішніх і внутрішніх зв'язків; з постановкою і формуванням комплексу задач керування як задач оптимізації за загальним для усієї системи критерієм ефективності її функціонування; з використанням моделей бізнес-процесів для об'єднання локальних задач керування, прогнозу можливих станів об'єкта та вибору оптимальних керувань. Створення ІАСК потребує такої послідовності робіт: визначення цілей інтегрованої системи; виділення локальних об'єктів керування та структури їх цілей і задач; виявлення і аналіз суттєвих зовнішніх та внутрішніх зв'язків; моделювання бізнес-процесів з описом організаційної структури, технологічних процесів, документообігу; розробка планів реінженірингу підприємства; виділення функціональних підсистем; розробка технології розв'язання задач, їх комолексування та напрямів інтеграції АСК; визначення складу АРМ та їх взаємодії з базою даних; проектування бази даних; формування вимог до системного ПЗ, інструментальних засобів для програмування прикладних задач, технічних засобів та систем зв'язку; вибір конфігурації та

складу системи, її організаційної структури; впровадження локальних систем та перехід до їх сумісного функціонування.

Коли зовнішнє середовище задає не один, а кілька критеріїв оцінки функціонування підприємства, то виникає необхідність впорядкування критеріїв шляхом їх ранжування з допомогою пріоритетів або вагових коефіцієнтів. Вибір пріоритетів є неформальною операцією і може виконуватися з використанням методів теорії прийняття рішень. При досягненні цільовою функцією заданих значень може проходити зміна пріоритетів. Наприклад, критерій максимізації продуктивності може втратити свій високий пріоритет, коли продуктивність досягла заданого значення.

Структура виробничих зв'язків для кожної виробничої ситуації визначає можливість декомпозиції загальної цілі на множину підцілей кожної ділянки підприємства, які утворюють дерево цілей з відображенням зв'язків і підпорядкованості цілей (вертикальні рівні), а також функцій керування (оперативне керування виробництвом, керування матеріально-технічним постачанням тощо), які забезпечують досягнення цих цілей (горизонтальні рівні). За допомогою дерева цілей декомпонують загальні критерії оцінки функціонування підприємства і відповідно до кожної підцілі ставлять певні критерії. Це дозволяє для кожного компонента підприємства сформулювати підзадачу керування і отримати функціональну структуру системи керування. Кількість таких підзадач визначається обчислювальними можливостями технічних засобів, складністю розв'язання підзадач керування, а також характеристиками збурень, які викликають відхилення реальних показників виробництва від планових.

5.1.2. Склад системи

Інтегрована АСК, як і будь-яка автоматизована система, має чотири основних види забезпечення (організаційне, інформаційне, програмне і технічне), призначення і функції яких розглянуті у четвертому розділі.

Створення цих забезпечень у даному разі базується на функціональній, інформаційній, програмній і технічній інтеграції.

Функціональна інтеграція є однією з основних, тому що на ній базується розробка алгоритмічного, програмного та інформаційного забезпечення і відповідні види інтеграції. Результатом функціональної інтеграції має бути алгоритм оптимального керування підприємством у цілому, однак велика розмірність та складність цієї задачі роблять неможливим її розв'язання без застосування декомпозиції. В той же час, подаючи складну задачу як сукупність більш простих декомпозиційних компонентів, в подальшому необхідно інтегрувати ці компоненти в єдиний комплекс, таким чином методи декомпозиції і інтеграції в ІАСК застосовують разом.

У результаті декомпозиції отримують багаторівневу ієрархічну функціональну структуру, в якій кожна задача верхнього рівня має пріоритет відносно до задач нижнього рівня, а завданнями для задач нижнього рівня є результати розв'язання задачі більш високого рівня. При створенні ІАСК розробляють не тільки моделі і алгоритми вирішення функціональних задач, але і алгоритми зв'язку і узгодження локальних задач. Зв'язки між задачами реалізуються за допомогою зовнішніх обмежень, узгодження локальних критеріїв і моделей локальних задач.

Використання принципів багаторівневої ієрархії приводить до виділення чотирьох функціональних рівнів керування:

перший (верхній) рівень (ERP – Enterprise Resource Planning) задач перспективного та поточного планування, у розв'язанні яких визначаються інтегральні показники оптимальної виробничої програми і розраховуються календарні плани на квартал, місяць, тиждень;

другий рівень (MES – Manufacturing Execution Systems) відповідає задачам оперативного календарного планування, у розв'язанні яких спочатку коригуються тижневі календарні плани з урахуванням фактичного

виконання виробничої програми, а потім визначаються оперативні завдання на поточну добу з урахуванням різних збурень;

третій рівень (SCADA-програми – Supervisory Control and Data Acquisition), відповідає задачам оперативного керування виробництвом, розв'язання яких забезпечує оптимальну координацію роботи технологічних комплексів;

четвертий рівень (Control Level) займають задачі керування технологічними процесами, які забезпечують збір первинної інформації, контроль і регулювання технологічних процесів.

Інформаційна інтеграція полягає у створенні умов, за яких можливий доступ до всіх даних з будь-якої робочої станції ІАСК. Як відомо, дані містяться у базі даних (БД), яка є сукупністю логічно зв'язаних інформаційних елементів, що зберігаються в запам'ятовуючих пристроях прямого доступу. Ввід даних у БД, їх пошук, оновлення та реорганізацію виконує система керування базою даних (СКБД). В той же час інтеграція всіх даних в одну БД, враховуючи їх різний характер, веде до зниження ефективності процедур обробки даних. Тому більш ефективним є створення центральної (для задач керування бізнес-процесами) та локальних (для задач керування технологічними процесами) баз даних, причому повинна бути забезпечена сумісність цих БД та доступ до них з будь-якої РС.

Особливі вимоги ставляться при цьому до складу і кількості інформації та часу її обробки, які є критичними факторами при створенні системи. З одного боку, тільки своєчасне подання необхідної інформації може забезпечити якісне прийняття рішень, а з другого – інформаційні потоки мають бути обмеженими, щоб запобігти перевантаженню їх другорядними надто деталізованими даними. Розрізняють «горизонтальну» інтеграцію інформації, що потрібна для прийняття рішень на певному рівні керування, і «вертикальну», що пов'язана з інтеграцією функцій керування за рівнями керування. У цілому інтегрованими локальні си-

стеми будуть тільки у тому разі, коли вони матимуть доступ до всієї інформації, що необхідна для керування відповідним об'єктом, керування на всіх рівнях буде скоординоване з позиції досягнення загальної мети.

Програмна інтеграція полягає в розробці інтерфейса між окремими складовими програмного забезпечення з метою їх програмної сумісності. Для реалізації такої сумісності необхідно мати технічний інтерфейс між технічними засобами різних рівнів, інформаційну сумісність всіх рівнів, багатозадачний та багатопотоковий режим роботи ОС, програму-диспетчер для координації основних компонентів програмного забезпечення та локальних диспетчерів.

Технічна інтеграція реалізується з допомогою створення на підприємстві єдиної обчислювальної мережі, що забезпечує збір, передачу та циркуляцію технологічної, техніко-економічної та командної інформації між будь-якими вузлами мережі. Зазначимо також, що обчислювальні можливості технічного забезпечення впливають на кількість декомпозиційних компонентів задач керування ІАСК.

5.1.3. Структура системи

Функціональна структура системи розглянута в попередньому пункті (п.5.1.2). Що стосується загальної технічної структури системи, то вона наведена на рис.5.1 і відрізняється від технічної структури АСКТП (рис. 4.1) наявністю ще одного рівня РС – організаційно-економічних станцій (ОЕС), що підмкнуті до окремої загальнозаводської мережі або інформаційної шини підприємства ІШП (**LAN – Local Area Network або Factory Network**) і виконують функції керування бізнес-процесами підприємства.

Розглянемо реалізацію наведеної структури на прикладі **інтегрованої АСК цукрового заводу** (рис.5.2), яка має три рівні вузлів та два рівні мереж.

Верхній рівень вузлів складають такі організаційно-економічні станції (ОЕС): дирекції (ОЕС-ДИР), відділу кадрів та табулювання (ОЕС-ВКТ), служби АСК (ОЕС-АСК), планово-економічного відділу та відділу праці і зарплати (ОЕС-ПЕВ), бухгалтерії (ОЕС-БУХ), складу буряку та сировинної лабораторії (ОЕС-СБЛ), складу цукру (ОЕС-СЦК), відділу матеріального технічного постачання (ОЕС-ПОС).

Вузли верхнього рівня разом з вузлами середнього рівня керування підімкнуті до локально-обчислювальної мережі (ЛОМ), причому до вузлів середнього рівня належать: робоча станція лабораторії (РСЛ), операторські станції продуктового відділення (ОПС-ПРВ) та ТЕЦ (ОПС-ТЕЦ), а також диспетчерсько-координуюча станція (ДКС). Остання вико-

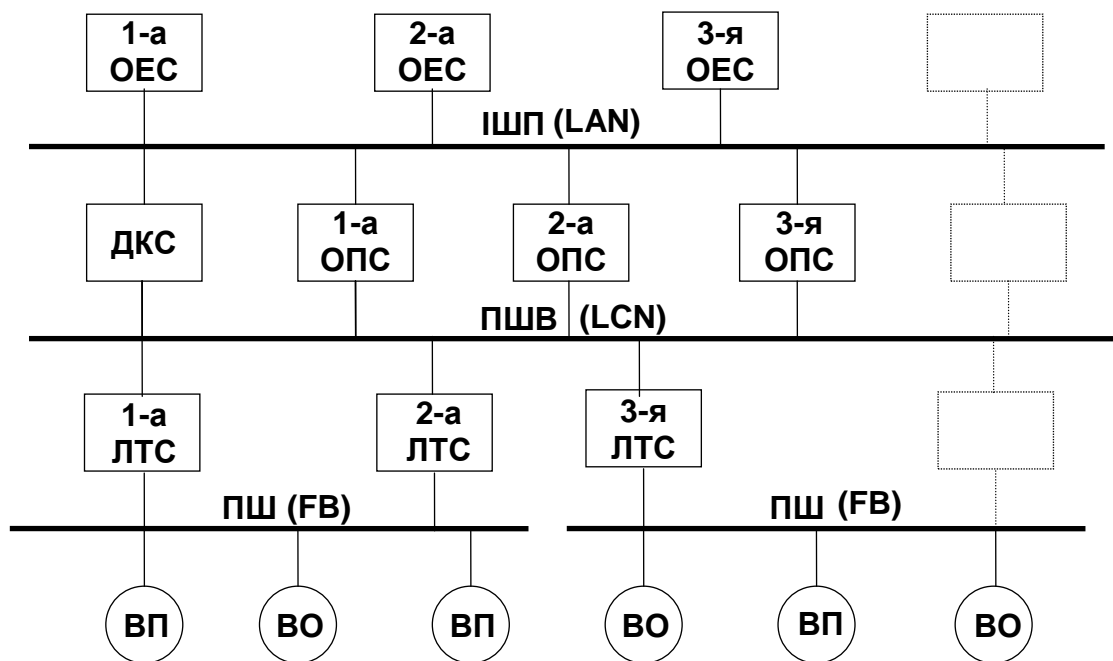
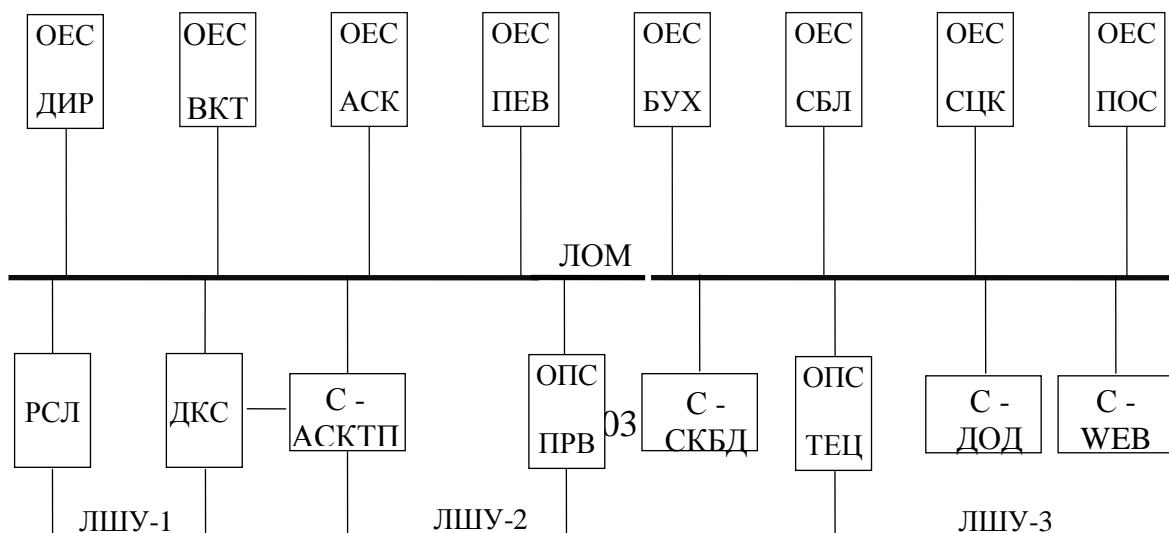


Рис. 5.1.



нує функції диспетчерської станції всього цукрового виробництва, а також функції оперативного керування тією частиною технологічного виробництва, яке закінчується багатокорпусною випарною установкою.

Сервер АСКТП (С-АСКТП) разом з диспетчерською (координуючою) станцією (ДКС) утворюють систему збору інформації про технологічний процес та має локальну СУБД, що входить до складу С-АСКТП і має однакову архітектуру з сервером центральної бази даних системи (С-СКБД). Вся інша інформація зберігається в сервері додатків (СД-ДОД). Через WEB-сервер (С- WEB) система може мати зв'язок з Internet.

До вузлів нижнього рівня належать такі локальні технологічні станції (ЛТС): тракту подачі буряку (ТПБ), бурякопереробного відділення (БПВ), дефекосатурації та сульфитації (ДСС), фільтрації (ФЛТ), багатокорпусної випарної установки (БВУ), вапняного відділення (ВПВ), вакуум-апаратів першого (ВА1), другого (ВА2) та третього (ВА3) продуктів, кристалізаторів з охолодженням та клерувальних мішалок (ККМ), відділень сушіння цукру (СШЦ), жому (СШЖ) та упакування цукру (УПЦ), котлоагрегата №1 (КА1), №2 (КА2) і т.д., турбінного цеху (ТРЦ), підготовки води (ПДВ)

та пари (ПДП), насосної станції (НСТ). ЛТС разом з відповідними ОПС утворюють три локальні шини управління (ЛШУ). Перша (ЛШУ-1) відповідає ДКС, друга (ЛШУ-2) – ОПС ПРВ, третя (ЛШУ-3) – ОПС ТЕЦ.

Таким чином, особливостями такої структури ІАСК є:

наявність дворівневої структури мереж з об'єднанням у верхній мережі функцій організаційно-економічного та оперативного управління; надання функцій диспетчерського управління операторській станції, що керує основними технологічними дільницями виробництва соку;

секціонування мережі нижнього рівня залежно від групування робочих станцій нижнього рівня навколо операторських станцій.

Обґрунтування першої особливості даної структури базується на такому очевидному положенні, що дворівнева мережова структура більш економічна ніж трирівнева. Що стосується іншої особливості, то наявність центральної диспетчерської станції обов'язкова для таких систем, але, враховуючи функції операторської станції виробництва соку, для спрощення структури їй доручені також функції диспетчерського управління. Секціонування мережі нижнього рівня виконано для підвищення живучості ІАСК та спрощення технічної реалізації мережі нижнього рівня.

Елементи наведеної структури виконують такі функції.

Вузли верхнього рівня забезпечують адміністративно-комерційну діяльність підприємства, виконуючи функції техніко-економічного планування, бухгалтерського обліку, управління матеріальними, технічними, трудовими та фінансовими ресурсами.

Функції техніко-економічного планування реалізуються з допомогою розв'язання такого комплексу задач: оптимальна виробнича програма підприємства і реалізація продукції, технічний розвиток та організація виробництва, показники підвищення економічної ефективності виробництва, норми та нормативи, капітальне будівництво, потреба у основних матеріальних ресурсах, собівартість, прибуток та рентабельність,

фонди економічного стимулювання, фінансовий план, соціальний розвиток, охорона природи та раціональне використання природних ресурсів.

Функції бухгалтерського обліку включають задачі з обліку: матеріалів, основних засобів, праці і заробітної плати, витрат на виробництво, готової продукції, платежі банку, розрахунки з дебіторами та кредиторами, а також зведений звіт та його складання. Іноді додатково створюється ОЕС-ФІН (фінанси), тоді перелічені вище функції ОЕС-ПЕВ та ОЕС-БУХ перерозподіляються і ОЕС-ФІН розв'язує такі задачі: прибутки та надходження коштів, видатки та відрахування коштів, платежі до бюджету та асигнування з бюджету, кредитні взаємовідношення.

Функції матеріально-технічного постачання реалізуються у розв'язанні таких задач: формування фондів, замовлень та запасів матеріальних ресурсів, їх розподіл усередині виробництва.

Функції збуту готової продукції містять задачі підтримування нормативних запасів на складі заводу, прогнозування попиту, оперативний облік збуту, структури реалізації та прибутку, зменшення штрафів та неустойок за порушення умов постачання.

Вузли середнього рівня забезпечують керування виробництвом, До функцій цих вузлів належать календарне та оперативне планування, оперативне керування та облік виробництва, координація роботи діляниць технологічного виробництва. При виконанні функцій календарного та оперативного планування розв'язуються задачі формування робочих програм на місяць, сезон, рік (календарне планування) та задачі оперативного планування на добу, зміну, годину. Облік виробництва насамперед пов'язаний з розрахунком його техніко-економічних показників. Більшість задач планування та керування як на цьому, так і на нижньому рівнях, розв'язуються за допомогою методів оптимізації, метою застосування яких є максимізація технологічної складової прибутку.

Вузли нижнього рівня виконують функції автоматичного контролю та регулювання, логіко-програмного керування приводами та меха-

нізмами, сигналізацію стану технологічного процесу і обладнання, тобто аналогічні функціям нижнього рівня управління АСКТП. Результати розв'язання задач більш високого рівня керування використовуються як завдання чи обмеження при розв'язанні задач більш низького рівня керування.

5.2. КОРПОРАТИВНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСАМИ

5.2.1. Загальна характеристика системи

У першому розділі зазначалося, що корпоративна система керування бізнес-процесами (КСКБП) виконує ті ж функції, що і автоматизована система керування підприємством (АСКП) і відрізняється від останньої об'єднанням різnorodних мереж у корпоративну обчислювальну мережу (КОМ) та створенням єдиної системи керування бізнес-процесами (СКБП).

Розвиток підприємства залежить від його здатності досягати запланованого рівня прибутку. Цього можна досягнути тільки шляхом планування виробництва та постачання товарів замовникам без створення їх дефіциту та надлишку. Спочатку це забезпечували системи MRP (Material Requirements Planning), які використовували методологію планування матеріальних ресурсів підприємства. Після того з'являється варіант планування виробничих потужностей CRP (Capacity Requirements Planning), об'єднання якого з MRP привело до появи систем MRP II (Manufacturing Resource Planning). Останні використовували як технологію об'ємно-календарного планування MPS (Master Planning Shedule), так і планування фінансових ресурсів FRP (Finance Resource/ Requirements Planning). Основною перевагою цих систем є формування послідовності виробничих операцій, які забезпечують своєчасне виготовлення вузлів для реалізації плану випуску готової продукції.

Зміни світового ринку, пов'язані з глобалізацією постачання і збуту, зменшенням тривалості життєвого циклу товарів, збільшенням кількості

виробництв товарів на замовлення, зростанням конкуренції та інтенсивності життя, змінили вимоги до управління бізнес-процесами та сприяли появі нових систем ERP (Enterprise Resource Planning) для інтегрованого планування усіх бізнес-ресурсів підприємства: матеріальних, виробничих, фінансових та людських. Останньою в цій послідовності технологій керування бізнес-процесами є CSRP-система (Customer Synchronized Resource Planning), яка забезпечує повний життєвий цикл продукції – від її проектування за вимогами замовника і до гарантійного і сервісного обслуговування після продажу.

Що стосується корпоративних мереж, то вони, як правило, створюються у вигляді **Intranet**, тобто складаються з кількох ЛОМ і серверів трьох видів: СКБД-сервера (сервера системи керування базою даних), сервера додатків та Web-сервера, через який корпоративна мережа може мати зв'язок з Internet.

Основна тенденція розвитку цих систем пов'язана з масовим проникненням Web-серверів і Web-технологій у корпоративне середовище. З'явився термін «Web-інтеграція», введений IBM, який використовується для застосування Web-технологій у побудові інформаційних систем підприємства. Актуальними задачами тут стають інформаційна підтримка партнерів та клієнтів; перенесення частини бізнес-процесів у Internet та їх автоматизація; створення корпоративних порталів, які об'єднують існуючі на підприємстві підсистеми логістики, продажу, докуметообігу тощо. Завдяки унікальним властивостям Web-технологій стає можливим використання дешевих засобів інтеграції інформації і бізнес-процесів як усередині підприємства, так і з партнерами та клієнтами, розв'язання практичних задач керування роботою підприємства, а в деяких випадках Web-інтеграція проведена на основі детального аналізу бізнес-процесів підприємства стає недорогою і швидкою альтернативою класичній системній інтеграції.

Для вибору і впровадження таких систем використовують один із трьох варіантів:

- використання програмного продукту всесвітньовідомих розробників (Baan, J.D.Edwards, i2 Technologies, IBM, Oracle, PeopleSoft, Scala, SAP, Siebel System, Microsoft і деяких інших). У країнах СНД на підприємствах середньої та малої потужності найбільше поширення отримали продукти «1С». Ці системи мають найбільшу вартість і потребують прив'язування до умов конкретного підприємства;

- використання програмного продукту минулих поколінь, що тимчасово економить кошти, але тільки відкладає перехід на нові технології;

- арендування у спеціалізованих провайдерів (Application Service Provider – ASP) корпоративних додатків, що забезпечує підприємству доступ до необхідних програмних продуктів і пристроїв зберігання даних. У цьому раз підприємство відносно недорого отримує можливість експлуатації сучасної корпоративної системи, а спеціалістам підприємства залишається тільки установка й обслуговування РС та підтримка мережної інфраструктури в належному порядку.

5.2.2. Використання Web-технологій

Використання Web-технологій пов'язано із застосуванням Internet-технології і Intranet-мережі для передачі даних в ЛОМ. Ця мережа функціонує за тими же принципами, що і мережа Internet, але, як зазначалось вище, в межах корпоративної мережі.

Основною перевагою Intranet порівняно з локальними мережами є зменшення витрат на підмикання до мережі віддалених користувачів. Крім того, в Intranet значно легше забезпечити зв'язок між користувачами, можна проводити відео конференції, організовувати навчання користувачів, користуватися послугами електронної пошти, оновлювати інформацію в режимі реального часу паралельно з роботою користувачів, тобто реалізувати ті функції, які часто виникають при керуванні бізнес-

процесами. Водночас локальні мережі забезпечують більш надійний захист інформації і більш гнучкий розподіл апаратних ресурсів мережі.

Основними компонентами Intranet є Web-сервери, Web-сторінки і Web-броузери. Web-сервери – це комп'ютери, що керують підмиканням до Internet і зберігають Web-сторінки та відображають їх при отриманні запиту від Web-броузера. Web-сторінки – це текстові файли, які мають інструкції для збору і відображення будь-якої інформації у текстовому чи графічному форматі. Web-броузер – це спеціальна програма, яка працює так, як в Internet World Wide Web, тобто вона звертається до серверів і отримує сторінки, а також відображає зміст цих сторінок відповідно до інструкцій, що там зберігаються.

Web-сторінки зв'язані між собою з допомогою гіпертекстових посилань, які мають вигляд тексту або малюнка і розташовані у довільному місці сторінки. Web-сторінки використовуються не тільки для відображення інформації. У них можуть бути вставлені додаткові програми або посилання на такі програми, розташовані на сервері, які збирають інформацію, обробляють її та виводять результати в текстовому або графічному форматі. Таке централізоване зберігання додаткових програм значно знижує витрати засобів і часу на керування і експлуатацію мережі.

Структура Intranet, що складається зі сторінок і посилань, дозволяє використовувати на РС, підключених до Intranet, різні ОС і апаратне забезпечення за умови, що вони застосовують сумісний з Internet броузер. В цьому разі сторінка, що надсилає Web-сервер на запитання Web-броузерів, які працюють на РС, наприклад, під UNIX і під Windows, буде мати однаковий вигляд на цих РС.

Створюючи Intranet, необхідно послідовно вибрати програмне і апаратне забезпечення. Практично всі мережні ОС можуть бути використані в Intranet, причому їх новітні версії підтримують протокол TCP/IP і мають у своєму складі Web-сервер і Web-броузер. До програмного забезпечення Intranet належать також:

- * програми для створення Web-сторінок;
- * машина пошуку (спеціальна програма пошуку інформації в Web-сторінках);
- * транслятор обміну даними між існуючою БД і Web-застосувань.

Апаратне забезпечення Intranet відрізняється від апаратного забезпечення локальних мереж тільки наявністю Web-сервера, але необхідно, щоб РС мали швидку графічну підсистему, а також враховували, що Web-сторінки можуть містити звук і анімацію. Монітори повинні мати високу роздільну здатність.

Для використання Web-технологій в мережах нижнього рівня АСКТП фірма Schneider Electric пропонує вбудований Web-сервер як модуль контролерів TSX Premium, Quantum і Momentum, який забезпечує дві ключові комунікаційні функції: використання HTTP-сервера і можливість під'єднання до мережі Ethernet за протоколом TCP/IP, а також реалізацію вбудованого інтерфейсу користувача або інтерфейсу, підготовленого на основі Web-утіліт. Функція Web забезпечує можливість доступу на вбудовану Web-сторінку з використанням стандартного Internet-броузера і дозволяє продивлятися сторінки діагностики контролера, конфігурації входів/ виходів, внутрішніх змінних та бібліотеки шаблонів. Web-утіліти дають також додаткові можливості з розробки HTML-сторінок з даними реально-го часу контролерів, гіперпосиланнями на інші ресурси Internet, розвине-ною системою авторизації та завантаженням цих сторінок у ПЛК.

Для застосування Web-технологій в корпоративних бізнес-системах компанія Microsoft пропонує Commerce Server 2002 (MCS'02), що є одним серверних продуктів, які утворюють фундамент нової технологічної платформи .NET. MCS'02 може використовуватися як інтегрована платформа корпоративних Web-вузлів з підтримкою різноманітних функцій електронної комерції (e-commerce): проведення маркетингових акцій; позицювання товарів та послуг в певних сегментах ринку; створення і керу-

вання електронними каталогами товарів і послуг; проведення торгових операцій через Internet; аналіз динаміки продажів різних товарів за групами покупців; організація поштової електронної реклами тощо.

Кожна інсталяція MCS'02 маніпулює чотирма категоріями об'єктів:

- * *сайти*, що є набором Web-застосувань, і надають єдиний інтерфейс адміністрування, механізми забезпечення безпеки і розмежування прав доступу для усіх Web-застосувань;
- * *ресурси* – надають інформацію або бізнес-логіку для роботи сайтів (наприклад, сховище даних, комунікаційні системи, спеціалізовані серверні програми тощо; поділяються на дві категорії: ресурси сайта (доступ мають застосування одного сайта) та глобальні (доступ мають застосування всіх сайтів даної інсталяції);
- * *застосування* – власне програмне забезпечення для конкретної реалізації комерційних та некомерційних сайтів;
- * *Web-сервери* – реальні комп'ютери, причому кожна інсталяція MCS'02 може взаємодіяти з одним або кількома Web-серверами.

Архітектура побудови сайта складається максимум з п'яти взаємозв'язаних систем: бізнес-аналітики та звітності (Business Analytics System); збирання маркетинго-демографічної інформації про споживачів (Profiling System); каталогів товарів і послуг (Product Catalog System); персоналізації інформації (Targeting System); каналів бізнес-процесів КБП (Business Processing Pipelines System). Під час розгортання шаблону побудови сайта створюються його бази даних (SQL Server), також з'являється спеціалізоване Web-застосування – пульт керування бізнес-процесами ПКБП (Commerce Server Business Desk), з допомогою якого бізнес-менеджери працюють з перерахованими системами.

КБП призначені для підтримки різних автоматизованих бізнес-транзакцій (наприклад, оформлення замовлень на постачання товарів, проведення купівлі, розсилання рекламних повідомлень тощо). Кожний такий канал є послідовністю дій, які повинна виконати система під час про-

ведення конкретних бізнес-транзакцій (наприклад, під оформлення замовлень це може бути завдання способів доставки, надання скидок, перерахунок вартості замовлення в тій чи іншій валюті тощо).

У застосуванні електронної комерції однією з основних функцій Web-вузлів є збір і аналіз інформації про споживачів та проведення рекламних компаній для збільшення обсягів продаж товарів та послуг. Для реалізації цих функцій в MCS'02 передбачена достатньо розвинена інфраструктура. Журнали відвідань сайтів можуть бути імпортовані у сховище даних, а підсистема звітів з допомогою цих даних надає бізнес-менеджерам різні зрізи цієї інформації на сторінках ПКБП (виділення та сегментування ринків і цільових груп відвідувачів сайтів, статистика відвідувань певних ресурсів тощо). Система збирання маркетинго-демографічної інформації про споживачів доповнює ці дані залученням відвідувачів в заповнення різних форм зворотнього зв'язку. З допомогою цієї інформації бізнес-менеджери укладають списки користувачів, для яких у подальшому будуть проводитися цільові рекламні акції з використанням електронних засобів.

5.2.3. Функції та структура системи керування

Система керування бізнес-процесами підприємства (СКБП) будується за такими основними принципами:

інтеграція усіх виробничих сфер – СКБП являє собою комплекс програм, що об'єднує різні служби підприємства, які функціонують в єдиному інформаційному середовищі;

модульність – система складається з підсистем та компонентів, причому кожний компонент може використовуватися автономно або у комбінації з іншими компонентами. Це дозволяє користувачу самостійно визначити конфігурацію системи;

автономне конфігурування автоматизованих робочих місць (АРМ) – конфігурується автономно залежно від задач, які на ньому виконують-

ся, причому права користувача АРМа на доступ до функцій і компонентів системи визначає її адміністратор;

єдина відкрита база даних – відкритий доступ як до інформації оперативного характеру, так і до архіву, причому дані, введені зі одного робочого місця, відразу стають доступні всій системі. Система має дозволити проводити багаторівневий контроль вводу та обробки інформації, тобто контроль за збутом продукції можна проводити не тільки з служби збуту, але і з бухгалтерії. Доступ до файлів даних можливий також через такі стандартні додатки як Access, Excel та інші;

архітектура “клієнт-сервер” – для забезпечення необхідної швидкості та надійності функціонування системи;

багатоофісність – можливість вести облік фінансових операцій одночасно на кількох підприємствах об'єднання або кількох відділеннях компанії, причому дані щодо цих операцій можуть зберігатися як в єдиній, так і в розподілених за окремими підприємствами базах даних;

надійність та безпека обробки інформації – застосування алгоритмів логічного контролю вхідних даних для підвищення її достовірності, створення резервних копій баз даних для захисту інформації в разі збоїв технічних засобів, кодування даних при передачі інформації.

На рис.5.3 наведена одна з можливих функціональних структур СУБП. Якщо функції СКБП мало змінюються від системи до системи, то склад підсистем цієї системи значною мірою залежить від уподобань фірми-розробника і може змінюватися від чотирьох (збут-постачання, бухгалтерія, кадри, виробництво) до 8-ми підсистем. В останньому випадку за рахунок перерозподілу функцій додається ще 4 підсистеми:

“торгівля” з перерозподілом функцій підсистеми “постачання-збут”,

“фінансовий аналіз” з перерозподілом функцій підсистеми “бухгалтерія”,

“адміністратор” з перерозподілом функцій підсистеми “кадри”.

“матеріальні потоки” з перерозподілом функцій підсистеми “виробництво”.

Кожна підсистема складається з компонентів. Крім того, функціонально до складу СКБП входять:

інтегрована база даних, в якій зберігаються такі дані: первинні документи, об’єкти обліку, картки складського обліку, інвентарні картки, каталог та курси валют, прайс-листи, податки та послуги, договори закупівлі / продажу, рахунки-фактури, складські документи, план розрахунків, сальдо по рахунках, фінансово-господарські операції, бухгалтерські проводки, лицьові картки, нарахування та утримання, розрахункові картки, економічні нормативи, аналітичні показники та довідники;



Рис.5.3

засоби керування базою даних, до яких належать генератор звітів, редактор текстів, інтерпретатор графічних об’єктів, мова запитань до БД, засоби доступу к БД, засоби доступу до таблиць БД, засоби імпорту/експорту даних;

засоби взаємодії з іншими системами, які включають засоби обміну інформацією з віддаленими торговельними закладами та засоби імпорту платіжних документів у систему “клієнт-банк”.

5.2.4. Підсистеми та компоненти системи керування

Розглянемо тепер функції та структуру основних підсистем та компонентів СКБП. Нарощена схема функціональної структури СКБП з виді-

ленням не тільки підсистем, але й компонентів, наведена на рис.5.4. При її розгляді треба враховувати, що інформаційні потоки є відображенням фінансових та матеріальних потоків, а також потоків документів.

Підсистема “постачання-збут” призначена для автоматизації функцій постачання, збуту та складських операцій і складається з чотирьох компонентів:

компонент “постачання” реалізує повний комплекс операцій, пов’язаних з надходженням товарно-матеріальних цінностей (ТМЦ): планування поставок; реєстрація рахунків та контрактів на закупівлю; реєстрація накладних та оприбутковування за ними; отримання інформації про запаси на складах, про надходження ТМЦ, про сплату рахунків та борги перед постачальниками; взаєморозрахунки; інформація про витрати на закупівлі за будь-який період. Компонентом користуються менеджери з закупівель, спеціалісти відділу постачання, працівники бухгалтерії та інших служб, пов’язаних з закупівлею ТМЦ;

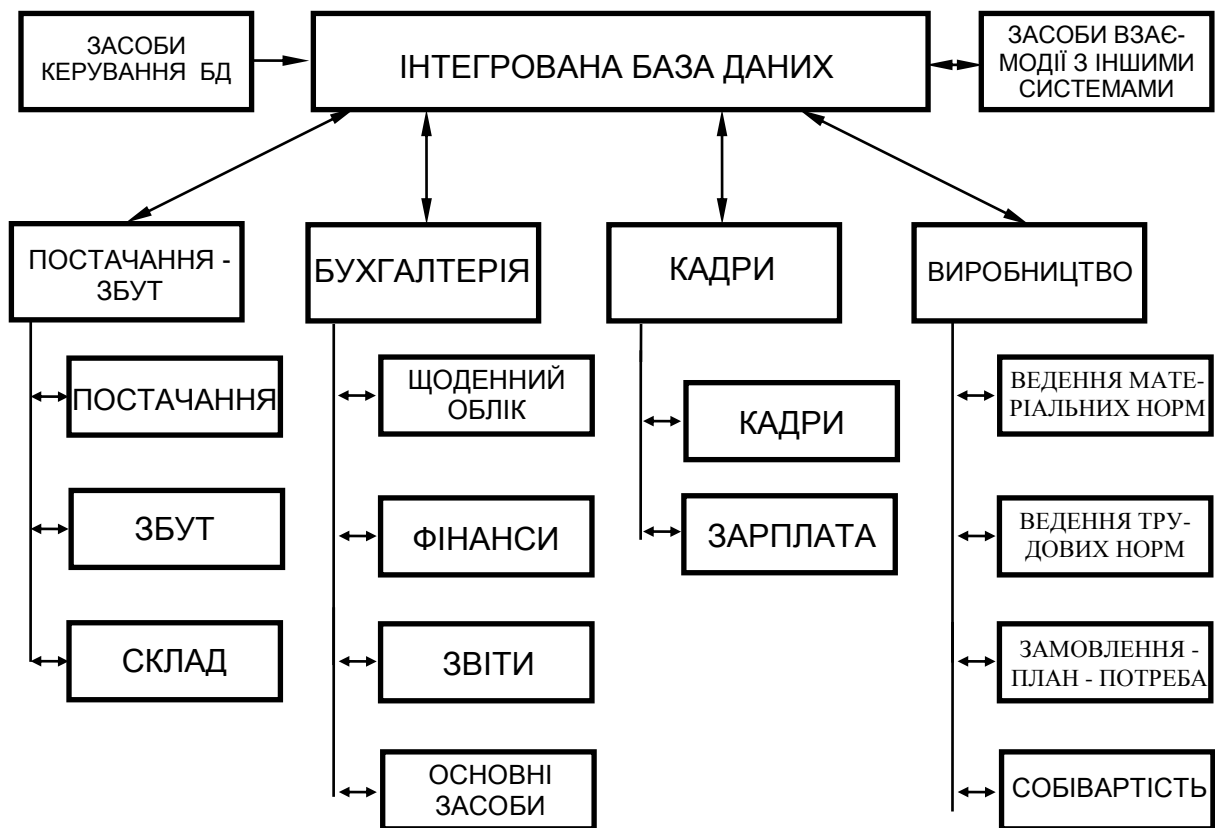


Рис.5.4

компонент “збут” реалізує повний комплекс операцій, пов’язаних з реалізацією ТМЦ: планування продажів, оформлення та друк рахунків, договорів та накладних; формування продажних цін та друк прайс-аркушів; отримання інформації про запаси на складах, відвантажені ТМЦ, сплату рахунків та розрахунки з споживачами, прибутки за будь-який період; контроль ефективності роботи менеджерів. Компонентом користуються менеджери торгових відділів, спеціалісти відділу збуту, працівники бухгалтерії та інших служб, пов’язаних з реалізацією ТМЦ;

компонент “склад” реалізує повний комплекс операцій, пов’язаних з обліком, зберіганням та внутрішнім переміщенням ТМЦ: відпуск на виробництво та стороннім організаціям; списання, надходження та переміщення; комплектація та розукомплектація; інформація про кількість та вартість запасів ТМЦ у підрозділах підприємства. Цей компонент у свою чергу може складатися з чотирьох елементів: облік, прихід, витрата та контроль ТМЦ. Компонентом користуються менеджери, працівники складів, бухгалтерії та інших служб, пов’язаних з обліком ТМЦ. При іншому структурному вирішенні він може входити у склад окремої підсистеми з керування матеріальними потоками.

Підсистема “бухгалтерія” призначена для автоматизації фінансово-облікових операцій і складається з таких компонентів:

компонент “щоденний облік” автоматизує роботу з касовими документами, банківськими платіжними документами, розрахунки з підзвітними особами, ведення та облік депонентів. Цей компонент може складатися з таких елементів: каса, банк, розрахунки з підзвітними особами, книга господарських операцій, нормативно-довідкова інформація. Компонентом користуються працівники бухгалтерії;

компонент “фінанси” призначений для автоматизації формування відомостей, аналітичного обліку, оборотних відомостей, головної книги, розрахунку проводок та документів по них. На основі розрахунків проводиться аналіз бухгалтерської діяльності як по одній, так і по кількох фіна-

нсових групах одночасно. Цей компонент також може бути поділений на 3 елементи: аналітичний облік, оборотні відомості, розрахунки. Компонентом користуються спеціалісти планово-економічного відділу та працівники бухгалтерії;

компонент “звіту” автоматично формує стандартні та нестандартні звітні документи, такі, як баланс підприємства, звіт про фінансові результати та їх використання, розрахунок додаткових платежів у бюджет, розрахунок середньорічної вартості майна підприємства, розрахунок податку на прибуток та інші. Компонентом користуються працівники бухгалтерії;

компонент “основні засоби” призначений для автоматизації функцій обліку основних засобів (ОЗ) і нематеріальних активів: веде картки ОЗ і нематеріальних активів, виконує облік операцій з надходження, вибування, переміщення ОЗ, розраховує амортизацію і проводить переоцінку, формує різні відомості. Може складатися з елементів: облік, надходження і вибуття ОЗ, контроль, довідники. Компонентом користуються працівники бухгалтерії та інших служб, які пов’язані з обліком ОЗ та нематеріальних активів.

До складу цієї підсистеми може бути включений і компонент “міжнародна бухгалтерська звітність”, який призначений для відображення господарської діяльності у міжнародних стандартах і використовується працівниками бухгалтерії та керівництвом підприємства.

Підсистема “кадри” призначена для автоматизації роботи відділу кадрів підприємства і складається з таких компонентів:

компонент “кадри” автоматично формує штатний розпис, веде облік співробітників за професіями, категоріями, військовими званнями, посадами тощо, розраховує вислугу років, веде облік наказів про прийом нових співробітників, їх переходи, звільнення та зміни. Інформація про кадри використовується у всіх інших компонентах СУБП;

компонент “зарплата” призначений для автоматизації збору та накопичення інформації з виплати заробітної плати; розрахунків з нарахування та утримання з зарплати, нарядів та шляхових аркушів, лікарняних, відпускних та міжрозрахункових виплат; формування необхідних відомостей та реєстрів; виконання бухгалтерських проводок. Компонентом користуються працівники бухгалтерії.

Підсистема “виробництво” призначена для автоматизації функцій планування виробництва і оцінки економічних показників підприємства. Він реалізує повний комплекс операцій, пов’язаних з веденням нормативно-довідкової інформації (номенклатура та склад виробів, технологічні операції, види робіт і т.п.); розрахунками плану виробництва на кожен місяць по кожній ділянці, потреби в матеріальних та трудових ресурсах, витрат на виробництво, нормативної собівартості. Ця підсистема складається з чотирьох компонентів:

компонент “ведення матеріальних норм”: ввід номенклатури та характеристик об’єктів обліку: матеріалів, покупних виробів, напівфабрикатів та готової продукції; розрахунок норми витрати матеріалів та застосування покупних виробів;

компонент “ведення трудових норм”: ввід інформації про трудові норми, види робіт, технологічні операції, норми часу, тарифні ставки; перерахування тарифних ставок, а також норми оплати праці при зміні тарифних ставок;

компонент “замовлення – план виробництва – потреба”: ввід інформації про склад виробничих замовлень, запаси напівфабрикатів на початок кожного місяця, фактичний випуск продукції; розрахунок плану виробництва на місяць та резервування матеріалів під замовлення;

компонент “собівартість”: ввід інформації про ціни на матеріали та покупні вироби, параметри статей калькуляції, відсотки розрахунку накладних витрат, кошториси накладних витрат; розрахунок планово-об-

лікових цін матеріалів та покупних виробів, собівартості, витрат на виробництво, калькуляції собівартості окремих виробів.

Підсистемою користуються спеціалісти планово-економічного відділу та відділу праці та заробітної плати.

Американська асоціація керування виробництвом і запасами (APICS) вважає, що сучасна система керування підприємством, яка відповідає концепції ERP, повинна мати такі складові:

керування ланцюжком постачання (SCM – Supply Chain Management);

вдосконалення планування і складання розкладів (APS – Advanced Planning and Scheduling);

автоматизація продаж (SFA – Sales Force Automation);

автономне конфігурування (SACE – Stand Alone Configuration Engine);

заключне планування ресурсів (FRP – Finite Resource Planning);

аналіз даних у реальному масштабі часу (BI – Business Intelligence);

електронна комерція (EC – Electronic Commerce);

керування даними про продукцію (PDM – Product Data Management).

5.3. КОРПОРАТИВНА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА МЕРЕЖА

Корпоративна обчислювальна мережа (КОМ) є мережею, що об'єднує кілька різнорідних ЛОМ в межах підприємства, фірми або корпорації. Під час створення КОМ виникають проблеми, пов'язані з об'єднанням (комплексуванням) різних невеликих ЛОМ у мережу з сотнями і навіть тисячами вузлів та утворенням магістралі корпоративної мережі. При цьому для передавання інформації використовуються протоколи верхнього рівня архітектури ISO.

5.3.1. Протоколи верхнього рівня

Протоколи верхнього рівня за моделлю OSI на відміну від протоколів нижнього рівня мають засоби для забезпечення правильної послідовності приймання даних при перенаправленні файлів, а також засоби для ідентифікації прикладних програм, які мають потребу в обміні даними. Незалежно від внутрішньої конструкції кожного конкретного протоколу всі вони мають спільні функції і властивості:

1) *ініціалізація зв'язку*. Кожний протокол має засоби для ідентифікації PC за ім'ям або(та) номером. Обмін інформацією між вузлами активізується після ідентифікації PC, що ініціює діалог, вузла-адресата (найчастіше файлового сервера), причому встановлюється один з двох типів діалогів: **дейтаграма** або **сеанс**. Дейтаграма – це повідомлення, що передається в довільний момент часу і не потребує підтвердження про його прийом одержувачем. Якщо таке підтвердження потрібне, то адресат посилає спеціальне повідомлення. Кожна дейтаграма є самостійним повідомленням і за наявності кількох дейтаграм порядок їх доставки не гарантується, але швидкість передачі дейтаграм більша, ніж повідомлень у сеансах. Сеанс – це створення логічного зв'язку для обміну повідомленнями між PC із гарантією їх отримання;

2) *відправлення та отримання повідомлень* PC-джерелом та PC-адресатом виконується відповідно до засобів, що є у протоколу. Останній накладає певні обмеження на довжину повідомлень і, крім того, надає учасникам діалогу сеансового типу засоби для визначення статусу діалогу;

3) *закінчення обміну* також виконується за допомогою засобів, які має відповідний протокол.

Становлення корпоративних мереж, як зазначалося вище, тісно пов'язано з мережею Internet, у рамках якої були реалізовані основні принципи міжмережових з'єднань та з'явилася нова група міжмережових протоколів або IP(Internet Protokol)-протоколів. Найбільш поширеними серед них є стек протоколів TCP/IP, тобто послідовність протоколів, які

беруть безпосередню участь у передаванні інформації. Це два основні протоколи мережі Internet. Протокол IP є протоколом мережного рівня моделі OSI, він забезпечує маршрутизацію (доставку за адресою) мережних пакетів, тобто обмін даними, і відповідає за адресацію мережних вузлів. Протокол TCP (Transmission Control Protocol) є протоколом транспортного рівня і забезпечує встановлення надійного з'єднання між РС і власне передачу даних, контролює оптимальний розмір пакета і реалізує перепосилання його у разі збою. Цей протокол вважається найбільш функціонально повним і підтримується практично кожною мережевою ОС. Перевагою цього протоколу є відсутність обмежень на кількість одночасно встановлених з'єднань, тобто кожна РС у деякий проміжок часу може обмінюватися даними з будь-якою кількістю інших РС по одній фізичній лінії. Інша перевага цього протоколу в тому, що мережі з ним можуть об'єднувати РС з різними ОС.

Ієрархію керування в TCP/IP-мережах іноді зображують у вигляді п'ятирівневої моделі:

1) рівень (нижній) апаратних засобів передачі даних (Hardware Level);

2) рівень мережного інтерфейсу (Network Interface) відповідає програмному забезпеченню, що реалізує передачу даних на тій чи іншій ділянці фізичного середовища. Зазначимо, що протоколи TCP/IP орієнтовані на незалежність від середовища передачі даних, тому ніяких обмежень на програмне забезпечення вони не накладають;

3) міжмережний рівень (Internet Level) представлений протоколом IP. Крім маршрутизації його задачею є приховування апаратно-програмних особливостей середовища передачі даних і подання більш високим рівням єдиного уніфікованого і апаратно незалежного інтерфейсу для доставки інформації. Досягнення при цьому каналної (апаратної) незалежності забезпечує використання програмних застосувань, що працюють над TCP/IP;

4) транспортний рівень (Transport Level) представлений протоколами TCP і протоколом дейтаграм користувача UDP (User Datagram Protocol). Перший, на відміну від другого, є протоколом встановленого з'єднання, при якому два вузли «домовляються» про обмін потоком даних і погоджують керування цим потоком. При застосуванні другого інформаційний пакет оброблюється і поширюється від вузла до вузла не як частина потоку, а як незалежна одиниця інформації – дейтаграма;

5) прикладний рівень (Application Level) має прикладні задачі, які використовують обидва транспортні протоколи: задачі обмін файлами (File Transfer Protocol – FTP) та термінальний доступ до віддалених серверів (Telnet); обмін повідомленнями електронної пошти (Simple Mail Transfer Protocol – SMTP) та тривіальний протокол FTP (Trivial File Transfer Protocol – TFTP) – UDP. Останній застосовують для дистанційного завантаження без дискових РС, він забезпечує двобічну без автентифікації передачу файлів між вузлами TCP/IP.

Зв'язок перелічених рівнів відбувається таким чином. Прикладний рівень передає транспортному повідомлення (message), яке має відповідний розмір і семантику. Транспортний рівень «розрізає» це повідомлення у разі, коли воно досить велике на пакети (paket), які передаються між мережному рівню, тобто протоколу IP. Останній формує IP-пакети (IP-дейтаграми) та запаковує їх у кадри (frame), які підходять для даного фізичного середовища передавання інформації.

5.3.2. Утворення магістралі корпоративної мережі і зв'язок з Internet

1. Утворення магістралі корпоративної мережі можливе з допомогою одного з чотирьох наведених нижче варіантів.

• **Використання технології FDDI та багатопродуктивних маршрутизаторів.** Цей варіант пов'язаний зі збереженням існуючої магістралі, побудованої на технології FDDI, і підмиканням локальних мереж за допомогою маршрутизаторів. Варіант має два вузьких місця – ШПД FDDI

100 Мбіт/с і суттєві затримки, що створюють маршрутизатори при обробці пакетів. Якщо зазначена швидкість достатня для передавання всього магістрального трафіку, то застосовують такі способи прискорення роботи маршрутизаторів:

1) за рахунок розпаралелювання обробки пакетів мультипроцесорними маршрутизаторами або переведення процедур маршрутизації з процесорного рівня на рівень ASIC (прикладної інтегрованої схеми);

2) за рахунок скорочення кількості операцій при маршрутизації пакетів, що утворюють у мережі стабільні потоки даних (dataflow). У цьому випадку маршрутизатори мають локальні схеми, які знаходять довгогривалі з'єднання між двома конкретними вузлами та додатками, запам'ятовують маршрутну інформацію, необхідну для обробки пакетів таких потоків, маркують такий пакет на вході у магістраль спеціальною позначкою і далі швидко обробляють ці пакети без аналізу IP-заголовка та таблиці маршрутизації.

* **Використання технології ATM** (Asynchronous Transfer Mode – режим асинхронної передачі). Це швидкодіючий дуплексний метод передачі, при якому кожна РС отримує власне з'єднання з комутатором ATM, які з'єднані двоточковими лініями зв'язку, причому до кожної РС можна звертатися незалежно, поза циклом (асинхронно). У цьому випадку магістраль має не тільки більшу ШПД порівняно з попереднім варіантом, але добре масштабується, тому що більшість інтерфейсів комутаторів ATM розраховані на ШПД не тільки 155 Мбіт/с, але і 622 Мбіт/с, з подальшим збільшенням її до 1,28 Гбіт/с. Крім масштабування швидкостей, що дозволяє модернізувати магістраль без заміни обладнання, ATM має найбільш розвинений зараз механізм підтримки необхідної якості обслуговування для трафіку різного типу: від голосового і відеоконференцій до пульсуючого трафіку Web-вузлів. Однак перехід на магістраль з ATM вимагає заміни комутаторів і маршрутизаторів з інтерфейсами Ethernet, Fast Ethernet або FDDI на комутатори ATM із складною

системою сигналізації, суттєво більшою вартістю за порт і необхідністю навчання персоналу, що обслуговує мережу. Крім того, досі не розв'язана проблема взаємодії магістралі ATM з локальними мережами на традиційних протоколах. Не вистачає також специфікацій, на базі яких в одній мережі працювало б обладнання різних виробників. Існуючі методи LANE, Classical IP та MPOA тільки частково розв'язують цю задачу.

Специфікація LANE(LAN Emulation) перетворює магістраль з ATM комутаторами на розподілений комутатор, що підтримує традиційні протоколи локальних мереж, наприклад, Ethernet або FDDI, але це не розв'язує проблеми роботи через магістраль локальних мереж, підімкнених через маршрутизатор, тому що пристрої LANE працюють тільки на каналному рівні, а відмова від маршрутизаторів при створенні магістралі корпоративної мережі неможлива.

Стандарт Classical IP регламентує роботу маршрутизаторів через магістраль ATM тільки для протокола IP. Це достатньо давно розроблений перший варіант механізму співіснування маршрутизованих мереж і мереж ATM і тому він не розв'язує всі задачі автоматизації роботи маршрутизаторів через мережу, що не підтримує широкомовність.

Специфікація MPOA (Multiprotocol over ATM), яка повинна визначити роботу багатопрокольних маршрутизаторів через магістраль ATM і бути одночасно сумісною з LANE, поки що не знайшла підтримки ATM Forum* та ключових виробників маршрутизаторів. Однак і за наявності стандарту на роботу багатопрокольних маршрутизаторів через ATM і достатньої продуктивності цих маршрутизаторів особливості роботи системи сигналізації комутаторів ATM утруднюють їх використання в магістралях корпоративної мережі, тому суттєво збільшується час встановлення нових з'єднань, який досягає мілісекунд.

• **Використання методів прискореного передавання IP-трафіку.** Цей варіант пов'язаний з нестандартним способом роботи комутаторів ATM. При цьому формат чарунок ATM, способи поділу пакетів на ча-

рунки і наступне складання чарунок у пакети локальних мереж, а також використання невеликого поля номера віртуального каналу VPI / VCI для прийняття комутатором рішення про передавання чарунки з порту до порту залишаються без змін. Змінюється тільки спосіб прокладання но-

* ATM Forum - міжнародна організація, мета якої – сприяння розвитку ATM як у промисловості, так і у кінцевих користувачів

вого віртуального каналу через мережу ATM, причому для цього не потрібне проходження запиту через всі комутатори на шляху нового віртуального каналу. Кожний комутатор будує свою таблицю номерів VPI / VCI для проходження чарунок через свої порти відносно незалежно від інших комутаторів, так що для утворення віртуального шляху не потрібна згода всіх інших комутаторів, через які він проходить.

Віртуальні шляхи прокладають через магістраль тільки для тривалих потоків пакетів даних. Для одиночних пакетів, що не утворюють потоку, комутатори ATM працюють як звичайні IP-маршрутизатори, тобто обробляють кожний пакет відповідно до його заголовка і використовують таблицю маршрутизації для прийняття рішення про проходження пакета через мережу ATM. Як тільки комутатор знаходить сталий потік, що проходить через його порти, він встановлює для нього нове віртуальне з'єднання і надає йому нову адресу VPI / VCI. Далі всі пакети, що надходять в примагістральний ATM-комутатор, під час поділу на чарунки ATM маркують адресою VPI / VCI і комутують без затримки на виконання маршрутизації всіма комутаторами магістралі ATM, через які проходить пакет.

Прискорення передавання потоків даних досягається за рахунок скорочення часу утворення віртуальних каналів в комутаторах ATM порівняно зі стандартною процедурою. Однак при цьому магістральні комутатори виконують і функції звичайних маршрутизаторів, тому що при обробці IP-пакетів вони будують таблиці маршрутизації, для чого підтримують стандартні протоколи обміну маршрутною інформацією, такі як RIP або

OSPF. Крім того, вони підтримують локальний протокол поширення маршрутної інформації за ATM-мережею для побудови таблиць VPI / VCI номерів. Для підтримки стандартних ATM-мереж такі комутатори можуть створювати віртуальні шляхи і стандартним способом з допомогою системи сигналізації. Однак техніка прискореної передачі IP-трафіку через ATM-магістралі залишається поки нестандартною.

* **Використання технології Gigabit Ethernet.** У цьому випадку швидкість окремих частин магістралі може гнучко підстроюватися під потреби трафіку, тому крім Gigabit Ethernet (GE) може використовуватися і Fast Ethernet. Gigabit Ethernet перевищує ATM-комутатори за ШПД (1 Гбіт/с проти 622 Мбіт/с), має меншу вартість і не потребує перенавчання персоналу. Основний недолік всіх мереж Ethernet – гірша якість обслуговування трафіку користувачів, що суттєво в разі, якщо в мережі передаються чутливі до затримок дані. У разі ж, коли основний потік становлять дані файлового сервісу, відсутність гарантій якості обслуговування не буде впливати на роботу користувачів мережі. Крім того, велика ШПД частково компенсує відсутність механізмів гарантованої пропускної здатності і затримок, тому що пакет 1500 байт передається через незавантажену магістраль GE лише за 12 мкс, а з завантаженням на 30-50% – 30 мкс, що значно менше від затримки у 20 мс, за якої стає помітним погіршення якості відеокадрів.

Порівнюючи наведені варіанти, зазначимо, що технологія FDDI, яка традиційно використовувалася для побудови магістралі КОМ, зараз здає свої позиції, але вибір варіанта для її заміни досить – складна задача насамперед через відсутність стандарту на більшість перспективних варіантів. Він залежить від вимог додатків до якості обслуговування їх трафіку. У багатьох випадках у разі не дуже чутливих до затримок додатків вибирають GE, а для трафіку реального часу – ATM з використанням методів прискореного передавання IP-трафіку. При застосуванні GE досягається добра сумісність з внутрішніми локальними мережами у

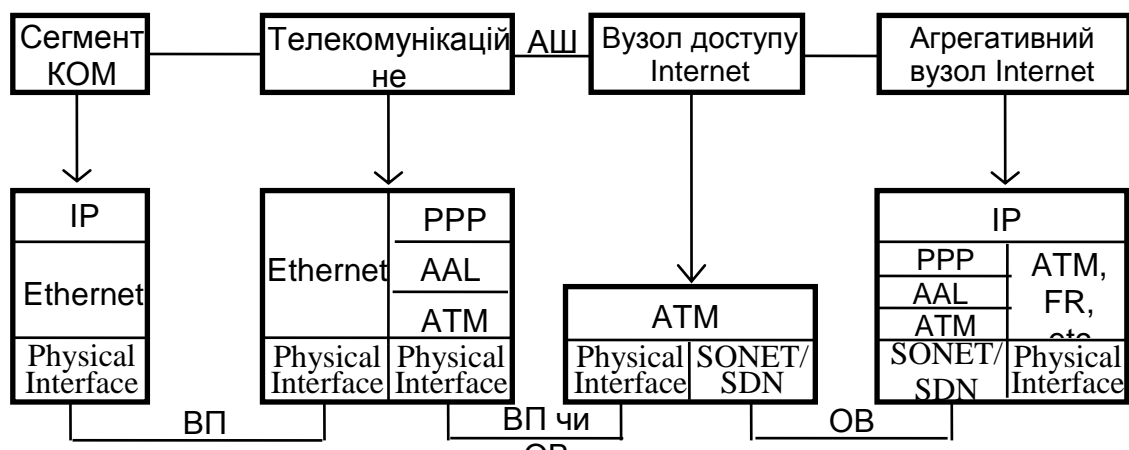
разі вико-ристання ними протоколів Ethernet і Fast Ethernet, крім того, поява 10 GE дозволить цій технології зайняти міцні позиції в глобальних мережах. При застосуванні ATM не виникає проблем з підмиканням до територі-альної магістралі провайдера, який часто використовує також цю тех.-нологію.

2. Зв'язок з Internet та його пропускна спроможність, яка значно менша від пропускної спроможності корпоративної мережі – ще одна проблема побудови КОМ. Існують два варіанти реалізації такого зв'язку. За першим (рис.5.5,а) трафік починається як IP поверх Ethernet, однак далі на шляху прямування він проходить через системи, що підтримують різні протоколи. На рис. 5.5,а, крім розглянутого вище ATM і одного з його рівнів адаптації ALL (ATM Adaptation Layer), це такі:

PPP (Point to Point Protocol) – протокол з'єднання «точка-точка», що належить до класу TCP/IP і призначений для передавання IP-пакетів за виділеними телефонними каналами; забезпечує динамічне настроювання каналу, автоматичні автентифікацію та стиснення заголовка, одночасне передавання пакетів кількох протоколів;

SONET (Synchronous Optical Network) – стандарт, що визначає швидкість, сигнали та інтерфейси для синхронного передавання даних за воло-конно-оптичними, як правило, одномодовими каналами;

SDH (Synchronous Digital Hierarchy) – стандарт, подібний до SONET, що застосовується за межами Північної Америки;



FR (Frame Relay) – протокол для великошвидкісного передавання кадрів або пакетів, діє на канальному рівні моделі OSI, підтримує декілька віртуальних з'єднань на один фізичний порт.

Перетворення пакетів від одного протоколу до другого при такому передаванні інформації не тільки збільшує вартість передавання, але й ускладнює керування трафіком, що призводить до зниження ефективності роботи мережі у цілому.

Другий варіант (рис. 5.5,б) відрізняється від першого застосуванням Ethernet не тільки в КОМ, але і на абонентському шлейфі (АШ), що з'єднує телекомунікаційне обладнання КОМ і вузол доступу Internet. Це дає можливість будувати КОМ тільки з двох компонентів: IP та Ethernet. При цьому не буде витрат на перетворення протоколів, стане простішою архітектура і керування мережею, що підвищить надійність і ефективність експлуатації мережі.