

І.Ш. Невлюдов

**ВИРОБНИЧІ ПРОЦЕСИ ТА
ОБЛАДНАННЯ ОБ'ЄКТІВ
АВТОМАТИЗАЦІЇ**

ПІДРУЧНИК ДЛЯ СТУДЕНТІВ

ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ

галузі знань «Автоматизація та приладобудування»,

«Електроніка та телекомунікації»

Кривий Ріг
2017

Рецензенти:

Кортунов В.І. доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри виробництва радіоелектронних систем літальних апаратів, Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»;

Нефедов Л.І. доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Харківський національний автомобільно-дорожній університет;

Жолткевич Г.М. доктор технічних наук, професор, декан факультету математики і інформатики, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна.

*Рекомендовано навчально-методичною радою
Харківського національного університету радіоелектроніки
(протокол №52 від 12 листопада 2015 року).*

Невлюдов І.Ш. Заслужений діяч науки і техніки України, Лауреат Державної премії в галузі науки і техніки України, завідувач кафедри технології та автоматизації виробництва, доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки.

Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації [Текст]: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / І. Ш. Невлюдов. Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2017 р. – 444 с.

ISBN 980-970-579-259-9

У підручнику викладено питання з організації сучасних виробництв радіоелектронного приладобудування, а саме основні типи та організаційні форми виробництв, виробнича структура сучасних виробництв, організація праці та завдання виробничих підрозділів, основні відомості, класифікація та принципи організації виробничих процесів. Розглянуто процеси автоматизації виробничих процесів, приведена інформація, яка дає уявлення про стратегію автоматизації виробництв та рівні автоматизації, гнучкі автоматизовані виробництва та інтегровані виробничі комплекси, системи малої автоматизації, новітні тенденції автоматизації сучасних виробництв у вказаній галузі. Приведені відомості з сучасного обладнання та засобів автоматизації виробництв радіоелектронного приладобудування. Розглянуто основні вимоги до засобів та обладнання, наведено критерії вибору технічних засобів автоматизації та системи керування обладнанням.

Підручник призначено для підготовки фахівців в галузі знань «Автоматизація та приладобудування», «Електроніка та телекомунікації». Може бути корисним аспірантам та фахівця в промисловості, пов'язаних з розробкою, виробництвом та експлуатацією нової техніки.

УДК 658.51:[681.2:681.5]

ISBN 980-970-579-259-9

© І. Ш. Невлюдов, 2017

ЗМІСТ

1	Виробництво радіоелектронних приладів та виробничі процеси.....	10
1.1	Типи виробництва та виробнича структура.....	10
1.2	Організація праці на виробництві.....	18
1.3	Завдання виробничих підрозділів.....	28
1.4	Виробничі процеси.....	42
1.5	Принципи організації виробничих процесів.....	50
1.6	Показники якості виробничих процесів.....	55
1.7	Розробка технологічних процесів в умовах сучасних виробництв..	63
1.8	Виробничі цикли.....	72
1.9	Організація поточного виробництва.....	81
1.10	Наукові основи автоматизації виробничих процесів.....	90
	Контрольні питання до розділу 1.....	106
2	Автоматизація виробничих процесів у радіоелектронному приладобудуванні.....	108
2.1	Форми та рівні автоматизації виробничих процесів.....	108
2.2	Системи автоматизованого управління виробництвом.....	113
2.3	Системи малої автоматизації.....	127
2.4	Автоматизація життєвого циклу радіоелектронних приладів.....	133
2.5	Кількісні показники якості радіоелектронних приладів в умовах автоматизованого виробництва.....	141
2.6	Моделювання та оптимізація технологічних процесів автоматизованих виробництв радіоелектронного приладобудування.....	170
2.7	Сучасні тенденції автоматизації технологічних процесів радіоелектронного приладобудування.....	203
	Контрольні питання до розділу 2.....	228
3	Обладнання та засоби автоматизації виробництв радіоелектронного приладобудування.....	230
3.1	Автоматизоване виробництво радіоелектронних приладів, як технологічна система.....	230
3.2	Склад та структура автоматизованих виробництв радіоелектронного приладобудування.....	245
3.3	Принципи побудови сучасних систем автоматизації.....	259
3.4	Системи автоматичного контролю.....	281
3.5	Технічні засоби контролю.....	286
3.6	Технічні засоби вимірювань.....	294
3.7	Мікропроцесорні засоби автоматизації.....	328
3.8	Системи керування обладнанням.....	340

3.9 Системи та пристрої з числовим програмним керуванням.....	351
3.10 Промислові роботи.....	367
3.11 Автоматичні транспортні системи.....	389
Контрольні питання до розділу 3.....	400
Додатки.....	402

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

CAD	– Computer Aided Design (автоматизоване проектування),
CAE	– Computer Aided Engineering (автоматизовані розрахунки і аналіз),
CALS	– Continuous Acquisition and Life-cycle Support,
CAM	– Computer Aided Manufacturing (автоматизована технологічна підготовка виробництва),
CNC	– Computer Numerical Control (комп'ютерне числове управління),
CRM	– Customer Relationship Management (управління взаєминами із замовниками),
CPC	– Collaborative Product Commerce (спільний електронний бізнес),
ERP	– Enterprise Resource Planning (планування і управління підприємством),
MES	– Manufacturing Execution System (виробнича виконавча система),
MRP-2	– Manufacturing (Material) Requirement Planning (планування виробництва),
PDM	– Product Data Management (управління проектними даними),
PLC	– Programable Logic Controllers,
S&SM	– Sales and Service Management (управління продажами і обслуговуванням),
SCADA	– Supervisory Control And Data Acquisition (диспетчерське управління виробничими процесами),
SCM	– Supply Chain Management (управління ланцюгами поставок),
AP	– автоматичний регулятор,
APM	– автоматизоване робоче місце,
АСК	– автоматична система контролю,
АСР	– автоматична система регулювання,
АСУ	– автоматизована система управління,
АСУТП	– автоматизована система управління технологічним процесом,
АЦП	– аналогово-цифровий перетворювач,
ВМ	– виконавчий механізм,

ГАВ	– гнучке автоматизоване виробництво,
Д	– датчик,
ЕОМ	– електронно-обчислювальна машина,
ЖЦ	– життєвий цикл,
ЗП	– запам'ятовуючий пристрій,
КВМ	– координатна вимірювальна машина,
КТЗ	– комплекс технічних засобів,
МП	– мікропроцесор.
МПС	– мікропроцесорна система,
ОЗП	– оперативний запам'ятовуючий пристрій,
ОУ	– об'єкт управління,
ПВВ	– пристрій введення-виведення,
ПЗП	– постійний запам'ятовуючий пристрій,
ПЛК	– програмований логічний контролер,
ППЗП	– перепрограмований постійний запам'ятовуючий пристрій
ПР	– промисловий робот,
РЕПБ	– радіоелектронне приладобудування,
РЕП	– радіоелектронний прилад,
САПР	– система автоматизованого проектування,
САУ	– система автоматичного управління,
ТЕРС	– термоелектрорушійна сила,
ТК	– технологічний комплекс,
ТП	– технологічний процес.
ЧПК	– числове програмне керуванням.

ПЕРЕДМОВА

В умовах ринкової економіки на виробничих підприємствах України значно розширилося коло завдань, які необхідно вирішувати для того, щоб залишатися на піку конкурентоспроможності не тільки серед вітчизняних виробників, а й на світовому рівні. Саме тому розвиток сучасної промисловості радіоелектронного приладобудування (РЕПБ) базується на впровадженні новітніх засобів автоматизації у виробничі процеси, що обумовлює скорочення витрат і підвищення якості кінцевої продукції.

Однією з основних концептуальних напрямків подальшого розвитку автоматизації зазначених виробництв та підвищення їх гнучкості є інтеграція управління підприємством, технологічними процесами, виробництвом в цілому в єдину систему на основі комп'ютерно-інтегрованих технологій та систем керування виробництвом на різних рівнях його організації.

Організація та впровадження новітніх технологій автоматизації сучасних виробничих процесів потребує висококваліфікаційного рівня та знань спеціалістів, які залучені до вказаних систем, саме тому високоякісна підготовка молодих спеціалістів та науковців є основою підвищення загальносвітового рівня вітчизняної промисловості.

Метою створення підручника є теоретична та практична підготовка фахівців, щодо створення і використання єдиного науково-дослідного інформаційного проекту для вирішення конкретного фахового завдання, з питань інтелектуалізації засобів автоматизації та керуючих систем, з урахуванням підвищення сенсифікації виконавчого обладнання, досягнення нових рівнів автоматизації виробничих процесів РЕПБ та створення великих мережових інфраструктур керування та аналітичної обробки даних з можливістю отримання віддаленого доступу до зазначених систем.

Підручник є узагальненням сучасних досягнень у галузі виробництва РЕПБ. Він містить три розділи.

В першому розділі розглянуто основні відомості з організації сучасних виробництв радіоелектронного приладобудування, а саме основні типи та організаційні форми виробництв, виробнича структура сучасних виробництв, організація праці та завдання виробничих підрозділів, основні відомості, класифікація та принципи організації виробничих процесів.

В другому розділі розглянуто процеси автоматизації виробничих процесів у вказаній галузі, приведена інформація, яка дає уявлення про стратегію автоматизації виробництв та рівні автоматизації. Розглянуті гнучкі автоматизовані виробництва (ГАВ) та інтегровані виробничі комплекси (ІВК), системи малої автоматизації.

В третьому розділі приведені відомості з обладнання та засобів автоматизації виробництв РЕПБ. Розглянуто основні вимоги до засобів та обладнання, наведено критерії вибору технічних засобів автоматизації та системи керування (СК) обладнанням.

Створення цього підручника базується на багаторічному досвіді викладання питань, пов'язаних з організацією виробництв радіоелектронних приладів (РЕП) в Харківському національному університеті радіоелектроніки на кафедрі Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, а також на досвіді викладання технологічних дисциплін в Національному університеті харчових технологій, Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені І. Сікорського» та Національному університеті «Львівська політехніка» та інш.

Підручник втілює багаторічний досвід, здобутий у співдружності автора з видатними вченими в галузі автоматизації та систем автоматичного регулювання – Ладанюком А.П., Гончаренко Б.М., Ельперіним І.В., Пупеною О.М., Рачковим М.Ю., та видатними вченими в галузі технології радіоелектронного приладобудування, а саме Павлишем, А.П., Зінковським Ю.Ф., та іншими. Підручник призначено для підготовки фахівців в галузі знань «Автоматизація та приладобудування», «Електроніка та

телекомунікації».

Автор вдячний своїм колегам, які допомагали йому в роботі над рукописом та підтримували порадами, – Андрусеви-чу А.О, Мілютіній Н.В. та Демській Н.П.

Особливу вдячність автор висловлює Пономарьовій Г.В. та Функендорф А.О. за наполегливу, кропітку працю, ініціативні рішення та творчий внесок у оформлення рукопису, що надало підручнику привабливості та значної виразності, які сприяють кращому сприйняттю викладеного матеріалу.

1 ВИРОБНИЦТВО РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИБАДІВ ТА ВИРОБНИЧІ ПРОЦЕСИ

1.1 Типи виробництва та виробнича структура

Сучасне промислове виробництво виготовлення радіоелектронних приладів являє собою сукупність взаємозалежних процесів, за допомогою яких із сировинних ресурсів і виробів електронної техніки людиною створюються необхідні продукти, призначені для використання в сфері споживання або виробництва.

Вид виробництва – класифікаційна категорія виробництва, що визначається за ознакою застосовуваного методу виготовлення продукції.

Тип виробництва – класифікаційна категорія виробництва, що визначається за ознаками широти номенклатури, регулярності, стабільності та обсягу випуску продукції.

Основними типами виробництва є:

- *одиничне виробництво* – тип виробництва, що характеризується малим обсягом випуску однакової продукції, повторне виготовлення якої, як правило, не передбачається;
- *серійне виробництво* – тип виробництва, що характеризується одночасним виготовленням на підприємстві обмеженої номенклатури однорідної продукції, випуск якої періодично повторюється протягом тривалого періоду;
- *масове виробництво* – виробництво, що характеризується великим обсягом випуску виробів, що безперервно виготовляються або ремонтуються тривалий час, протягом якого на більшості робочих місць виконується одна робоча операція.

Технологічні характеристики різних типів виробництва наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Технологічні характеристики типів виробництва

Характерна ознака	Тип виробництва		
	Одиничне	Серійне	Масове
Кількість виробів, що випускаються	1-5 шт.	Дрібносерійне 5-25 шт. Середньoserійне 25-100 шт. Крупносерійне >100 шт.	Більше 1000 шт.
Повторюваність партій	Відсутня	Періодична	Безперервний випуск тих самих виробів
Устаткування	Універсальне	Універсальне і періодично спеціалізоване	Спеціальне і спеціалізоване
Метод досягнення точності	Індивідуальний пригін	Часткова взаємозамінність	Повна взаємозамінність
Вид нормування роботи	Укрупнене нормування	Технічне нормування серійного виробництва	Детальне нормування, хронометраж
Характер технологічних розробок	Маршрутні карти	Детальні технологічні розробки (маршрутні й операційні карти)	Операційні карти
Інструмент	Універсальний	Спеціалізований	Спеціальний

Одна із основних характеристик типу виробництва – коефіцієнт закріплення операцій (коефіцієнт серійності), що визначається за формулою

$$K_c = \frac{K_o}{n_p}, \quad (1.1)$$

де K_c – коефіцієнт серійності;
 K_o – кількість технологічних операцій у технологічному процесі виготовлення виробу;
 n_p – кількість робочих місць, необхідних для виконання операції.

Кількість технологічних операцій (K_o), необхідних для повного виготовлення виробу, визначається з конструктивно-технологічного аналізу конструкторської документації на виріб.

Кількість робочих місць (n_p) визначається за співвідношенням

$$n_p = \frac{A \sum_{i=1}^{K_o} T_{umi}}{60 \cdot K \cdot \Phi_o}, \quad (1.2)$$

де A – річний обсяг випуску виробів, шт.;
 T_{umi} – трудомісткість i -ї технологічної операції, хв.;
 K_o – кількість технологічних операцій;
 K – коефіцієнт виконання норм у процесі виготовлення виробу;

Φ_o – дійсний річний робочий фонд часу, год.

При $K_c \leq 1$ – тип виробництва належить до масового;

$K_c > 1$ – відповідає серійному виробництву;

$K_c \gg 1$ – відповідає одиничному виробництву.

Сучасне виробництво розподіляють на декілька взаємопов'язаних частин:

- *основне виробництво* – частина виробничої діяльності підприємства, що полягає в безпосередньому перетворенні предмета праці в готову продукцію і здійснюється у певних структурних підрозділах;
- *допоміжне виробництво* – частина виробничої діяльності підприємства, що полягає в обслуговуванні основного виробництва, забезпеченні безперервного виготовлення і випуску продукції та здійснюється у певних структурних підрозділах;

– *підсобне виробництво* – частина виробничої діяльності підприємства, що полягає у виготовленні продукції з відходів або побічних продуктів основного виробництва, здійснюється у певних структурних підрозділах.

На виробничому підприємстві здійснюється складний процес перетворення матеріалів у готову продукцію, що вимагає виконання ряду різноманітних функцій, сукупність яких прийнято називати *виробничо-господарською діяльністю підприємства*.

Відповідно до виробничо-господарських функцій підприємство (систему) можливо розбити на підсистеми, тобто частини підприємства, що виконують певну функцію.

Основними виробничо-господарськими функціями є:

- виробництво готової продукції, допоміжного устаткування, інвентарю, інструментів і виконання ремонтних робіт;
- технічна підготовка виробництва;
- матеріально-технічне забезпечення;
- організаційно-трудова підготовка виробництва;
- фінансово-бухгалтерська діяльність;
- реалізація готової продукції.

Функції виробничо-господарської діяльності реалізуються у відповідній виробничій структурі.

Виробнича структура – склад цехів і служб підприємства з зазначенням зв'язків між ними.

Виробничий підрозділ – структурна одиниця підприємства, що здійснює конкретну функцію виробництва і несе відповідальність за неї.

Цех – організаційно і (або) технологічно відокремлений структурний підрозділ, який прямо чи побічно бере участь у переробці предмета праці в готову продукцію і складається з сукупності виробничих ділянок.

Відділення – структурний підрозділ цеху, що включає декілька виробничих ділянок, займає окрему територію і здійснює закінчену частину виробничого процесу з переробки предмета праці.

Виробнича ділянка – група робочих місць, організованих за принципами: предметним, технологічним чи предметно-технологічним.

Потокова лінія – виробнича ділянка, яка оснащена сукупністю машин і механізмів, призначених для виготовлення певної продукції і встановлених відповідно до послідовності операцій технологічного процесу, виконуваних із заданим ритмом.

Робоче місце (працівника) – елементарна одиниця структури підприємства, де розміщені виконавці роботи, обслуговуване технологічне обладнання, частина конвеєра, оснащення і предмети праці на обмежений час.

Виробництво готової продукції зосереджено в спеціальних цехах, сукупність яких прийнято називати *основним виробництвом* підприємства. У цехах основного виробництва організується виробничий процес, тобто перетворення вихідних продуктів (матеріалів, деталей) у готову продукцію.

Виробництво допоміжного устаткування, інвентарю, інструментів і виконання ремонтних робіт здійснюються в цехах *допоміжного виробництва*. Склад функцій допоміжного виробництва залежить від специфіки і характеру виробничого підприємства. Однак практично для всіх великих підприємств можливо вказати чотири таких функціональних підрозділи:

- ремонтний;
- енергетичний;
- транспортний;
- інструментальний.

Умовою безперебійного виробництва є правильна експлуатація, обслуговування і ремонт устаткування. Верстати й агрегати в ході виробництва зношуються, втрачають точність і врешті-решт виходять з ладу. *Ремонтний підрозділ* зобов'язаний попереджати передчасне зношення устаткування, здійснювати його поточне профілактичне обслуговування і періодичний ремонт. Цей підрозділ здійснює аварійний ремонт, встановлення нового і модернізацію старого устаткування.

Функціонування сучасного підприємства пов'язане зі

споживанням великої кількості різних видів енергії. Задачею *енергетичного підрозділу* є виробництво або прийом енергії від зовнішнього постачальника і розподіл її усередині підприємства. Підприємством, як правило, виробляється теплова енергія, пара. Електрична енергія у більшості випадків приймається від зовнішніх постачальників.

Процес виробництва пов'язаний з переміщенням великих мас матеріалів, деталей, заготовок, палива, готової продукції. Ці вантажі необхідно доставити на підприємство, розвантажити, вчасно доставити зі складу у відповідний цех. Ці операції здійснює *транспортний підрозділ*, що оснащується транспортними засобами, вантажно-розвантажувальними механізмами, тощо.

На промислових підприємствах застосовується широка номенклатура інструмента і технологічного оснащення. Частину з них підприємство робить самостійно, решту закуповує. Тому *інструментальний підрозділ* поєднує служби виробництва, зберігання і розробки нових інструментів, і оснащення. Такі основні функції допоміжного виробництва.

Технічна підготовка виробництва полягає в конструюванні нових і модернізації виробів, що випускаються, у розробці технології виробництва, продукції, нормуванні витрат ресурсів.

Нормування витрат ресурсів – одна з найбільш важливих складових частин технічної підготовки виробництва, тому що від правильно встановлених норм витрат матеріалів і режимів роботи устаткування багато в чому залежить загальна ефективність виробництва.

Організаційно-трудова підготовка виробництва – набір і навчання кадрів, нормування і організація праці, розміщення кадрів на робочих місцях, вирішення питань оплати, матеріального і морального стимулювання кадрів.

Фінансово-бухгалтерська діяльність полягає в аналізі, обліку і документуванні в грошовому, і натуральному виразі всіх операцій, пов'язаних із закупівлею матеріалів, реалізацією продукції, а також у нарахуванні заробітної плати, контролі використання матеріальних цінностей і ряді інших функцій.

Реалізація готової продукції – це її складування, забезпечення транспортними засобами для вивозу виробів, організація і здійснення навантаження та відправлення, здійснення оперативних контактів із замовником.

Таким чином, схема основних взаємозв'язків функцій виробничо-господарської діяльності підприємства має вигляд, зображений на рис. 1.1.

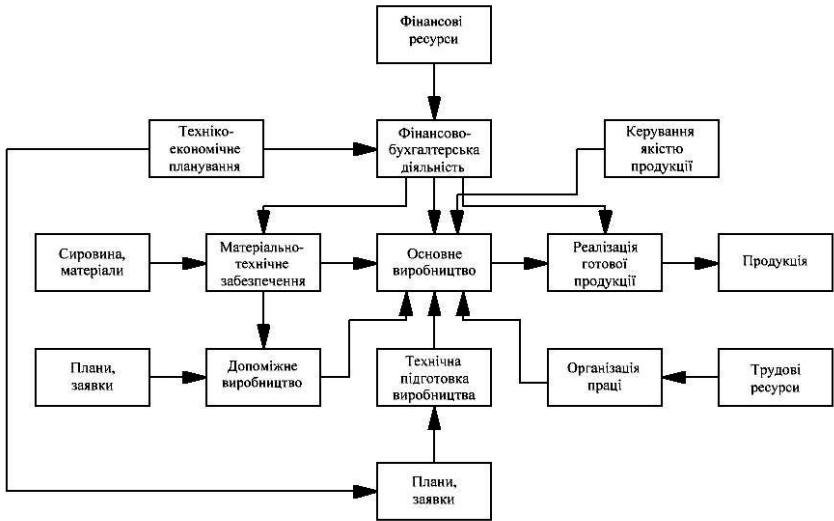


Рисунок 1.1 – Виробнича структура

Структура та кількість виробничих підрозділів на підприємстві цілком визначаються кількістю, номенклатурою і технологією виробництва виробів, що випускаються. Для підприємств, що випускають РЕП, прийнято поділ цехів на заготівельні, механооброблюючі і складальні, можуть бути ще тарні й пакувальні. При великих обсягах виробництва цехи можуть об'єднуватися у виробничі комплекси і (або) ділитися на дільниці, бригади.

Виробничі підрозділи можуть працювати в однозмінному і багатозмінному режимі, існують безперервні виробництва.

У будь-якому разі за кожним виробничим підрозділом закріплюється певна номенклатура продукції (заготовок, напів-фабрикатів і т.д.) і певний набір технологічних операцій, які вона повинна виконувати відповідно до прийнятої на підприємстві технології виробництва. Тому основним завданням кожного виробничого підрозділу є випуск продукції заданої якості в заданих кількостях. Для виконання цього головного завдання потрібне виконання цілого комплексу завдань, таких як:

- підтримання трудової і виробничої дисципліни;
- підтримка у робочому стані технологічного обладнання, засобів вимірювань і систем автоматизації;
- виконання правил техніки безпеки і охорони праці, проти-пожежних заходів, радіаційного та хімічного захисту, і т.д.;
- навчання виробничого персоналу технологічним правилам і прийомам;
- своєчасна заміна інструменту, що прийшов в непридатність, оснащення, технологічного обладнання, засобів вимірювань і автоматизації.

Для перспективного розвитку сучасного виробництва на виробничих підрозділах необхідно постійне оновлення технологічного устаткування, систем автоматизації і засобів вимірювання. Необхідне постійне та своєчасне підвищення кваліфікації персоналу та якості його роботи, що дозволяє освоювати нові види продукції, підвищення її якості та скорочування витрат палива, енергії, матеріалів на її виробництво.

1.2 Організація праці на виробництві

Для досягнення найбільш високих якісних показників роботи виробничого підприємства, що являє собою складну систему, використовують поняття організації виробництва.

Організація виробництва – кількісне та якісне поєднання в часі і просторі, трудових і матеріальних ресурсів, технічних та економічних засобів господарської діяльності на підприємстві з метою випуску у встановлений термін продукції необхідної кількості та якості при мінімальних витратах.

До організаційних форм виробництва відносять:

- *кооперування виробництва* – форма організації виробництва, що полягає в організації постійних виробничих зв'язків між підприємствами з постачання виробів і матеріалів, необхідних для виготовлення продукції;
- *комбінування виробництва* – форма організації виробництва, що полягає у поєднанні на одному підприємстві різних видів виробництва;
- *спеціалізація виробництва* – форма організації виробництва, що полягає у виготовленні продукції обмеженої і стабільної номенклатури, або в однотипності технології;
- *концентрація виробництва* – форма організації виробництва, що полягає в зосередженні виробництва окремих видів продукції на одному чи обмеженій кількості підприємств.

Розрізняють поняття суспільна організація праці та організація праці.

Суспільна організація праці має такі основні елементи:

- відтворення робочої сили;
- форми та методи залучення людей до праці;
- розподіл суспільного продукту та кооперація праці в масштабах держави (регіону, області).

Основними напрямками організації праці на рівні підприємства є:

- удосконалення розподілу і кооперації праці в колективі;

- удосконалення організації та обслуговування робочих місць;
- вивчення і впровадження передових прийомів і методів праці;
- удосконалення підбору, професійної підготовки і підвищення кваліфікації кадрів;
- удосконалення нормування і стимулювання праці;
- поліпшення умов праці та ділової робочої атмосфери у колективі;
- раціоналізація режиму праці та відпочинку;
- виховання сумлінного ставлення до праці.

Таким чином, *організація праці на рівні підприємства* – це приведення трудової діяльності людей до системи, що забезпечує досягнення максимально можливого корисного ефекту з урахуванням конкретних умов цієї діяльності та рівня відповідальності.

Суть кожного з вказаних напрямів можливо коротко сформулювати:

- *удосконалення розподілу і кооперації праці* – поліпшення технологічного, функціонального і кваліфікаційного розподілу праці, впровадження багатостатного (багатоагрегатного) обслуговування, суміщення професій та функцій, впровадження прогресивних форм і видів бригадної організації праці, тобто удосконалення кооперації праці;
- *удосконалення організації та обслуговування робочих місць* – правильне планування робочих місць відповідно до логічного процесу, організаційно-технічна оснащеність робочих місць та розширення типізації у їх плануванні, впровадження планово-попереджувальних систем обслуговування робочих місць, забезпечення ефективного використання робочого часу основних і допоміжних робітників;
- *вивчення і впровадження передових прийомів і методів праці* – раціоналізація трудових прийомів, дій та рухів, впровадження прогресивних методів організації праці в

межах зміни, навчання працівників ефективним прийомам і методам роботи з метою економії робочого часу і зростання продуктивності праці;

- *удосконалення підбору, підготовки і підвищення кваліфікації кадрів* – розробка планів підготовки і перепідготовки кадрів відповідно до потреб виробництва, організація менеджерами персоналу системи професійної орієнтації та професійного підбору кадрів, впровадження дійових форм і методів підвищення кваліфікації кадрів, створення умов для забезпечення стабільності кадрів на підприємстві, дотримання типових програм та термінів навчання щодо професій і рівнів кваліфікації;
- *удосконалення нормування праці* – розробка і впровадження технічно обґрунтованих норм часу, їх перегляд за виробничою необхідністю, удосконалення організації нормувальної роботи та поліпшення стану нормування праці робітників;
- *поліпшення умов праці* – нормалізація санітарно-гігієнічних умов праці, дотримання вимог охорони праці та упорядкування побутової сфери виробництва, передбачення в колективних договорах процесу механізації важких і шкідливих робіт, усунення емоційно негативних чинників праці;
- *раціоналізація режиму праці та відпочинку* (внутрішньо змінного, тижневого, місячного і річного) – впровадження раціональної змінності по підприємству та його підрозділах, окремих категоріях працюючих, розробка плану пропозицій щодо ефективного використання позаробочого часу;
- *виховання сумлінного ставлення до праці* – формування культури виробництва, заохочення працівників до раціоналізації та винахідництва, підвищення відповідальності за результати праці та виконання режиму робочого часу.

Окрім суспільної організації праці та організації праці на рівні підприємства часто зустрічається поняття *наукова органі-*

зація праці (НОП) – організація праці, що базується на досягненнях науки і передовому виробничому досвіді. НОП передбачає раціональне розташування працівників, впровадження колективних форм організації праці, атестацію робочих місць та їх обслуговування, поліпшення підготовки та підвищення кваліфікації кадрів, вивчення, впровадження та поширення передових прийомів та методів праці, вдосконалення матеріального та морального стимулювання праці.

НОП застосовується як засіб підвищення продуктивності праці, ефективності виробництва з метою підвищення рівня життя людей. Але крім економічних завдань НОП вирішує і соціальні завдання – скорочення питомої ваги ручної, важкої та шкідливої для здоров'я людини праці, підвищення привабливості та творчого характеру праці.

Для оцінки рівня організації праці на підприємстві застосовується *індексний метод*, суть якого полягає в розрахунку системи оціночних коефіцієнтів щодо всіх напрямів організації праці. Абсолютні значення узагальнюючого показника порівнюються з нормативним (плановим). Максимальне значення коефіцієнта, що наближується до одиниці, вказує на відносно високий рівень організації праці на підприємстві, а мінімальне – на несприятливі чинники, що негативно впливають на рівень організації праці.

Нормативне (планове) значення будь-якого коефіцієнта (як складового, так і кінцевого (узагальненого)), якщо воно не обумовлене державними або галузевими нормативними актами, визначається як найкраще при співвідношенні з досягнутим на споріднених підприємствах галузі, коли є такі дані, або як середньоарифметичне подібних показників на даному підприємстві за кілька років.

Існують різні формули розрахунку коефіцієнтів щодо кожного з напрямів організації праці, тобто складових організації праці, адже кінцевий (узагальнений) коефіцієнт ($K_{оп}$) розраховується за формулою

$$K_{ОП} = \sqrt[n]{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \dots k_n}, \quad (1.3)$$

де $k_1, k_2, k_3 \dots k_n$ – складові коефіцієнти, які відображають рівень організації праці щодо кожного з напрямів, які аналізуються;

n – кількість оцінених напрямів організації праці.

Слід зазначити, що існує інший підхід до оцінки рівня організації праці як в цілому по підприємству, так і по окремих цехах. Він розраховується як середньозважена величина на базі загальних (інтегральних) показників, отриманих по окремих робочих місцях (дільницях)

$$K_{ОП} = \frac{\sum P_i \cdot K_{ОПi}}{\sum P_i}, \quad (1.4)$$

де $K_{ОПi}$ – загальний (інтегральний) коефіцієнт організації праці на окремих i -х ділянках виробництва;

P_i – чисельність робочих на відповідних окремих виробничих ділянках, чол.

Узагальнена схема класифікації робочих місць з точки зору організації праці на виробництві представлена на рис. 1.2.

В основі як НОП, так і організації праці на рівні підприємства є трудовий процес, що являє собою сукупність дій виконавців щодо здійснення виробничих функцій, спрямованих на виробництво продукції. Зміст трудового аспекту виробничого процесу визначається технологією виробництва і в залежності від цього робітник може або спостерігати виробничий процес, або безпосередньо впливати на нього.

Залежно від цього трудові процеси поділяються на ручні, машинно-ручні, машинні, автоматизовані та апаратні. Вони (трудові процеси) представляють сукупність дій працівника щодо здійснення цілеспрямованих змін предметів праці. Трудові процеси є частиною виробничого процесу.



Рисунок 1.2 – Узагальнена схема класифікації робочих місць

Оскільки основним елементом системи управління персоналом є *робоче місце*, можливо виділити дві групи завдань, що необхідні для визначення даного поняття, що зображені на рис. 1.3.



Рисунок 1.3 – Аспекти поняття «робоче місце»

Першу складають технологічні, організаційні та ергономічні завдання, пов'язані з проектуванням технологічних та трудових процесів, вдосконаленням умов праці, оперативним регулюванням виробництва. Другу – завдання планування чисельності персоналу, аналізу ринку праці та забезпечення зайнятості.

Функціонування робочого місця визначається технічними, технологічними, організаційними, економічними, соціальними, ергономічними, психофізіологічними та іншими чинниками. Робоче місце висуває відповідні вимоги до рівня загальноосвітньої та професійно-кваліфікаційної підготовки робітника, його дисципліни і відповідальності. У процесі виробництва робочі місця функціонують у тісному взаємозв'язку на основі досягнутого рівня розподілу і кооперації праці, відповідно до застосовуваної технології, створюючи при цьому органічно пов'язану сукупність – *систему робочих місць*.

Для оцінки робочого місця використовується система показників, що характеризують їх техніко-технологічний, організаційний та соціально-економічний рівні у порівнянні з кращими вітчизняними народногосподарськими та світовими досягненнями. Для забезпечення якісної та кількісної збалансованості робочих місць і наявних трудових ресурсів, підвищення ефективності використання матеріальних ресурсів і трудового потенціалу застосовується облік, атестація, раціоналізація та планування робочих місць, розробляються баланси робочих місць та трудових ресурсів.

Як економічна категорія робоче місце характеризується системою вартісних і натуральних показників, що з одного боку відображають властивості робочого місця, а з іншого – його економічні зв'язки з іншими чинниками та умовами виробництва. До даних показників відносяться: кількість робочих місць, коефіцієнт укомплектування робочою силою, кількість місцезмін, річний фонд робочого часу та інші.

Поряд із поняттям робоче місце часто використовують поняття *робоча зона* – площа, на якій сконцентровані засоби виробництва, тобто робочі місця. Розташування робочих місць в

робочій зоні залежить від типу виробництва, від рівня організації виробництва та характеру ТП.

Існує два коефіцієнти оцінки робочих місць:

- коефіцієнт організації робочих місць;
- коефіцієнт оснащеності робочого місця.

Коефіцієнт організації робочих місць (K_{PM}) використовується для оцінки відповідності типовим проектам наявної організації робочих місць в тому чи іншому підрозділі підприємства

$$K_{PM} = \frac{N_T}{N}, \quad (1.5)$$

де N_T – кількість місць, що відповідають типовим проектам;

N – загальна кількість робочих місць на даній ділянці (в цеху, на підприємстві).

Коефіцієнт оснащеності робочого місця (K_{OP}) характеризує ступінь фактичної оснащеності робочого місця технологічною оснасткою, інструментами, засобами, документацією, тощо, у порівнянні з вимогами, передбаченими ТП або проектом

$$K_{OP} = \frac{I_\phi}{I}, \quad (1.6)$$

де I_ϕ – фактична кількість одиниць технологічної оснастки, інструментів, засобів тощо, що використовуються на робочих місцях;

I – кількість одиниць оснастки, інструментів тощо, передбачених для використання на тих самих робочих місцях за технологією (проектом).

Цей показник характеризує також рівень організації робочих місць.

Організація робочих місць тісно пов'язана із організацією праці і, в першу чергу, із робочою позою, правильний вибір якої запобігає швидкій втомлюваності та шкідливому впливу на організм, підвищує продуктивність праці.

Робоче місце, як будь-яка категорія, має кількісну та якісну характеристики. Якщо на основі масштабів концентрації

предметів праці та зміни режиму функціонування робочих місць формуються кількісні параметри даної категорії, то вимоги до професійно-кваліфікаційних, демографічних та психофізичних даних робітника, а також організаційно-технічного рівня розвитку, утворюють якісні характеристики робочого місця. Збалансування зайнятості полягає у постійному підтриманні рівноваги між цими двома системами вимог.

Організація обліку робочих місць, виявлення ступеня відповідності їх рівня сучасним вимогам науки та техніки, технологій та наукової організації праці здійснюються в рамках атестації робочих місць. Джерелами інформації служать фактичні результати дослідження робочих місць, дані первинної статистичної звітності, перепису обладнання та його паспортів, технологічні карти та інші матеріали.

Атестація робочих місць є складовою програми вдосконалення управління персоналом на кожному підприємстві. Робоче місце вважається атестованим, якщо повністю відсутня оцінка з нульовим значенням, в кожній групі чинників не має більш однієї оцінки із значенням 0,5; середній коефіцієнт в кожній з комплексних груп чинників не є нижчим значення 0,9.

Загальна (інтегральна) оцінка стану робочого місця $K_{заг}$ є середньоарифметичною від трьох груп чинників і розраховується за формулою

$$K_{заг} = \frac{K_1 + K_2 + \dots + K_3}{3}, \quad (1.7)$$

де K_1 , K_1 , K_2 , K_3 – середні атестаційні коефіцієнти по кожній групі чинників: техніко-технологічні, організаційно-економічні та соціально-трудові.

Збалансування робочих місць із трудовими ресурсами досягається шляхом приведення відповідно до реальної потреби (із урахуванням кількості робочих місць) та можливостей її забезпечення в регіоні за рахунок підвищення ефективності використання основних виробничих фондів та скорочення чисельності працюючих на діючих підприємствах, організаціях,

установах.

Кожне підприємство здійснює два рівні планування робочих місць:

- внутрішнє;
- зовнішнє.

Внутрішнє планування розподіляється на дві зони: зону праці (безпосередньо робоче місце) і зону підходу (стелажі, шухляди, шафи і т. п.).

Зовнішнє планування – положення робочого місця відносно інших робочих місць – визначається характером і кількістю його оснащення, характером виконуваних робіт. Крім того, до комплектації робочого місця входять предмети догляду за робочим місцем, засоби індивідуального захисту. Таким чином, *організація робочого місця* – це створення певного комплексу організаційно-технічних умов для високопродуктивної та безпечної праці з урахуванням його місця в ТП, виконання умов планування і оснащення всіма необхідними засобами і предметами праці відповідно до проекту організації робочих місць і трудового процесу.

Документом, в якому викладається проект організації трудового процесу для конкретного виконавця, є *карта організації праці на робочому місці*. Комплексна оцінка кожного робочого місця на його відповідність науково-технічному та організаційному рівням є основою для прийняття рішення щодо його подальшого використання, при цьому визначаються основні напрямки удосконалення робочого місця, інформація інтегрується в процесі атестації робочих місць.

Організація праці на виробництві залежно від специфіки виробничого процесу може бути індивідуальною і колективною (бригадною).

1.3 Завдання виробничих підрозділів

Структура та кількість виробничих підрозділів на підприємстві цілком визначаються кількістю, номенклатурою і технологією виробництва виробів, що випускаються. Для підприємств, що випускають радіоелектронні прилади, прийнято поділ цехів на *заготівельні, механооброблюючі і складальні*.

Як вже зазначалося, можуть бути ще *тарні й пакувальні*. При великих обсягах виробництва цехи можуть об'єднуватися у виробничі комплекси і (або) ділитися на дільниці, бригади. Виробничі підрозділи можуть працювати в однозмінному і багатозмінному режимі, існують безперервні виробництва.

У будь-якому разі за кожним виробничим підрозділом закріплюється певна номенклатура продукції (заготовок, напівфабрикатів і т.д.) і певний набір технологічних операцій, які вона повинна виконувати відповідно до прийнятої на підприємстві технології виробництва. Тому основним завданням кожного виробничого підрозділу є випуск продукції заданої якості в заданих кількостях.

Для виконання цього головного завдання потрібне виконання цілого комплексу завдань, таких як:

- підтримання трудової і виробничої дисципліни;
- підтримка у робочому стані технологічного обладнання, засобів вимірювань і систем автоматизації;
- виконання правил техніки безпеки і охорони праці, протипожежних заходів, радіаційного та хімічного захисту, і т.д;
- навчання виробничого персоналу технологічним правилам і прийомам;
- своєчасна заміна інструменту, що прийшов у непридатність, оснащення, технологічного обладнання, засобів вимірювань і автоматизації.

Завдання технологів, які працюють в *науково-дослідницькому інституті* (НДІ), полягає в розробці нових матеріалів, виробів, основних принципів нових технологічних процесів, розробки типових технологічних регламентів вироб-

ництва продукції, розробці пропозицій щодо підвищення якості продукції, що випускається та існуючих технологічних процесів. Тут потрібне знання сучасних тенденцій розвитку науки і техніки, математичних методів моделювання, стану вітчизняного і зарубіжного виробництва. Розробка нового виробу або технологічного процесу на рівні НДІ закінчується видачею технічного завдання для відповідного *конструкторського бюро* (КБ). Далі, в процесі роботи над виробом або технологічним процесом (ТП), технологи НДІ постійно працюють з технологами КБ.

Технологи КБ повинні знати основи економіки даного виробництва і ціноутворення виробів для того, щоб технологічний процес, що розроблюється, дозволяв випускати продукцію більш низької собівартості, ніж аналоги.

Розроблена технологічна документація з КБ надходить до *служби головного технолога*, де проводиться експертиза розробленого проекту на предмет можливості запуску у виробництво. Відділ головного технолога спільно з іншими службами заводу розробляє заходи по запуску виробу у виробництво чи постановці нового технологічного процесу. Ці заходи називаються *технологічною підготовкою виробництва* (ТПВ). Для діючих технологічних процесів і номенклатури виробництва в службі головного технолога зберігається вся нормативно-довідкова інформація про вироби і процеси (типової і заводський технологічні регламенти виробництва, нормативи на матеріали і комплектуючі вироби, картотека застосовності виробів, що випускаються, картотека заміності матеріалів і комплектуючих виробів, нормативи трудомісткості виготовлення виробу, маршрутні картки та інша технологічна документація з ТПВ).

Цехові технологи з *технічного бюро* займаються питаннями розробки нормативів на виготовлення виробів (матеріальних і трудових), розробляють пропозиції щодо удосконалення існуючих технологічних процесів, вирішують питання заміни матеріалів і комплектуючих виробів, вносять відповідні зміни в існуючу технологічну документацію. Технологи технічного бюро повинні вміти розрахувати завантаження технологічного облад-

нання, потреби в відсутніх верстатах і механізмах при зміні обсягу випуску або номенклатури продукції, скласти заявку на придбання відсутнього обладнання або скласти технічне завдання (ТЗ) на розробку нестандартного обладнання або оснащення. Вони повинні вміти планувати установку обладнання таким чином, щоб звести до мінімуму шляху переміщення заготовок. Основним їх завданням є підтримання заданих технологічних режимів виробництва і ліквідація їх порушень, аналіз причин появи браку на закріпленій за ними ділянці виробництва.

У зв'язку з вимогами екології технологу необхідно знати наявність і потужність джерел виділення шкідливих речовин або випромінювань у навколишнє середовище, технологічні прийоми їх попередження чи зменшення, небезпеку, яку вони являють, наявність і технічні характеристики очисних пристроїв для очищення та регенерації промислових стоків і шкідливих викидів в атмосферу, наявність і технічні характеристики захисних пристроїв.

Технологи ділянок в основному займаються контролем ходу виробничого процесу з точки зору його якості (з'ясовують причини браку і вживають заходів по його ліквідації або доопрацювання, або готують пропозиції щодо його ліквідації, якщо для цього потрібні зусилля інших ділянок цеху або інших цехів) і кількості продукції, що випускається.

Вони вирішують питання забезпечення матеріалами та комплектуючими виробами і оцінюють їх якість. На ділянках випробування технологи проводять випробування і тренування на тренувальних або випробувальних стендах виготовлених приладів або вузлів і вимірюють параметри виробу на відповідність технічної документації і вимогам *Державного стандарту України (ДСТУ)* або *технічним умовам (ТУ)*, проводять аналіз видів і причин браку. Всі технологи цеху приймають участь у випробуваннях спеціального оснащення і обладнання, проводять інструктаж і навчання робітників, що виконують технологічні операції, надають допомогу в налагодженні обладнання і оснащення.

Всі технологи, які беруть участь у розробці та експлуатації технологічних процесів повинні знати процеси, властиві виробництву радіоелектронних приладів.

У сьогоdnішніх умовах на *економічні* та *комерційні* підрозділи лягає важка і складна задача матеріального і фінансового забезпечення діяльності підприємства.

Тому *завданнями економічних і комерційних підрозділів є:*

- пошук клієнтів;
- укладання договорів на поставку продукції;
- отримання від клієнтів оплати за поставлену продукцію;
- укладання договорів на поставку сировини, комплектуючих виробів, палива і енергії, інструментів, приладів, технологічного та іншого обладнання;
- оплата постачальникам;
- планування діяльності виробничих підрозділів;
- оплата праці працівників підприємства;
- розрахунки з державою та місцевими органами керування (оплата податків, обов'язкових відрахувань і т.д.);
- ведення фінансової документації підприємства.

Як впливає з назви, основним завданням цих підрозділів є допомога виробничим підрозділам у виконанні їх функцій. У зв'язку з різноманітністю умов, в яких працюють різні підприємства, перелік функцій допоміжних підрозділів може істотно різнитися, проте існує ряд завдань присутніх на більшості підприємств.

Серед них основними є:

- забезпечення підприємства кадрами співробітників;
- ведення обліку вхідної та вихідної кореспонденції, отримання та відправлення її;
- ведення обліку та зберігання оригіналів наказів і розпоряджень;
- охорона державної та комерційної таємниці;
- охорона праці та контроль за дотриманням правил техніки безпеки;
- підготовка підприємства до роботи в особливих умовах

- (війна, пожежа, радіоактивне та хімічне забруднення);
- ремонт і будівництво виробничих і адміністративних приміщень;
 - забезпечення службових перевезень.

У систему *забезпечення якості продукції* входить кілька напрямків роботи, які більшою чи меншою мірою виконуються на кожному підприємстві. Серед них до основних відносять створення нормативної бази метрологічне забезпечення виробництва, контроль ходу технологічного процесу та якості продукції, що випускається, створення системи забезпечення якості на підприємстві. Розглянемо їх послідовно.

Відповідно до закону «Про стандартизацію», *стандартизація* – це діяльність по встановленню норм, правил і характеристик (далі – вимог) з метою забезпечення:

- безпеки продукції, робіт і послуг для навколишнього середовища, життя, здоров'я та майна людей;
- технічної та інформаційної сумісності, а також взаємозамінності продукції;
- якості продукції, робіт і послуг відповідно до рівня розвитку науки, техніки і технології;
- єдності вимірювань;
- економії всіх видів ресурсів;
- безпеки господарських об'єктів з урахуванням ризику виникнення природних і техногенних катастроф та інших надзвичайних ситуацій;
- обороноздатності та мобілізаційної готовності країни.

Призначенням державної системи стандартизації є встановлення взаємопов'язаних правил і положень щодо порядку розроблення всіх видів виробів, документації, технологічних процесів і систем керування (СК).

Стандарти бувають міжнародні, національні, галузеві, науково-технічних та інженерних товариств, підприємства.

Існують наступні види стандартів:

- організаційно-методичні;
- терміни та визначення;

- номенклатура продукції або показників якості;
- технічні умови;
- загальні технічні умови;
- технічні вимоги;
- загальні технічні вимоги;
- методи випробувань;
- правила приймання;
- правила зберігання;
- правила транспортування;
- правила пакування;
- маркування;
- експлуатація і ремонт та ін.

Єдина система технологічної документації (ЄСТД) – комплекс державних стандартів та керівних нормативних документів, що встановлюють взаємопов'язані правила і положення щодо порядку розробки, комплектації, оформлення та обігу технологічної документації, що застосовується при виготовленні та ремонті виробів (включаючи контроль, випробування і переміщення).

Призначенням ЄСТД є:

- забезпечення застосування різних методів і засобів проектування, обробки інформації і різних технологічних документів;
- забезпечення оптимальних умов при передачі технологічної документації;
- застосування уніфікованих бланків технологічних документів;
- застосування єдиних правил оформлення технологічних документів в залежності від типу та характеру виробництва, складу і виду розроблених технологічних процесів, застосовуваних способів їх опису;
- створення необхідних умов для розробки прогресивних типових і групових технологічних процесів;
- створення інформаційної бази для автоматизованих систем керування підприємством (АСКП) і систем автоматизова-

ного проектування (САПР);

- створення передумов щодо зниження трудомісткості монтажно-технологічних робіт у сфері технологічної підготовки та керування виробництвом;
- забезпечення взаємозв'язку з комплексами стандартів *єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД)* і *єдиної системи технологічної підготовки виробництва (ЄСТПВ)*.

У світі діє понад 20 міжнародних організацій зі стандартизації, побудованих за галузевим чи регіональним принципом. Кожна з них має свої особливості. Розглянемо лише найбільш відомі та великі з них.

Найбільш відомою і великою міжнародною організацією зі стандартизації є *ISO* (international organization for standardization), до неї входить більше 170 країн. Ця організація розробляє міжнародні стандарти всіх можливих видів: організаційно-методичні, технічні вимоги, методи випробувань і т. д.

Організаційно *ISO* складається з секретаріату і технічних комітетів за напрямками діяльності, які в свою чергу діляться на підкомітети і робочі групи з конкретних питань, пов'язаних з розробкою стандартів. Кожен технічний комітет веде одна з країн-членів *ISO*, хоча в його роботі беруть участь представники всіх зацікавлених країн.

Розробка стандартів *ISO* зазвичай відбувається наступним чином: вибирається за основу діючий національний стандарт однієї з країн-лідерів у даній галузі і, в якості першої редакції стандарту *ISO*, перекладається на англійську, французьку, німецьку та російську мови та розсилається для ознайомлення і збору відгуків всім членам технічного комітету з даного напрямку. Потім на підставі відгуків розробляється друга редакція і процес повторюється. Після цього збирається засідання технічного комітету, на якому обговорюються розбіжності і виробляється єдина редакція документа, яка затверджується на основі консенсусу. Позначення стандартів *ISO* аналогічні Державним стандартам України, тільки рік затвердження відокремлюється

двокрапкою, а не тире і пишеться повністю. Слід пам'ятати, що стандарти ISO носять рекомендаційний характер, хоча часто застосовуються у міжнародних контрактах в якості обов'язкових.

Крім ISO існує ряд регіональних організацій зі стандартизації. Найбільш впливовою з них є *CEN* (European committee for standartization) – організація по стандартизації країн європейського спільного ринку. Членами *CEN* є всі країни-члени європейського союзу (15 країн) плюс 4 приєдналися до них європейських країни. У *CEN* приймають тільки промислово розвинені країни з високим рівнем якості продукції. США, Росії, Японії було відмовлено в прийомі при створенні організації. Організаційна структура та порядок розробки стандартів у *CEN* той же, що в *ISO*. Виконання вимог стандартів *CEN* обов'язково для всіх країн-учасників. Основне призначення стандартів *CEN* – замінити національні стандарти країн-учасників у міру інтеграції їх у європейському союзу, тому вони затверджуються на основі консенсусу. Це призводить до тривалої процедури їх узгодження, тому часто в міжнародній практиці використовуються в якості нормативно-технічних документів проекти стандартів *CEN*. Позначення стандартів *CEN* аналогічні *ISO*.

У світі існує декілька міжнародних організацій зі стандартизації, побудованих за галузевим принципом. Найбільшу популярність з них має *міжнародна електротехнічна комісія* (МЕК), яка курирує всі питання, пов'язані з електричною та електронною технікою. Організаційна структура і принципи діяльності її аналогічні *ISO*, часто вони працюють спільно і випускають єдині документи, неодноразово робилися спроби їх злити в одну організацію. Позначення стандартів МЕК аналогічні ДСТУ, у разі випуску спільного стандарту з *ISO* він має позначення *ISO/IEC* (international electrotechnical commission).

Існує ряд організацій ООН з питань стандартизації. Наприклад, єдина система *UNO* (united nations organization), яка займається питаннями безпеки наземного транспорту та її правила є практично обов'язковими для всіх країн-членів ООН, оскільки включені в міжнародну правову систему.

Потрібно пам'ятати, що крім офіційно визнаних міжнародних стандартів, існують національні стандарти розвинених країн, які фактично використовуються в якості міжнародних. Наприклад, шведський стандарт *MPR II* (material requirements planning) використовується у якості міжнародного стандарту, що регламентує вимоги до моніторів для персональних комп'ютерів (ПК).

Організація робіт з стандартизації в більшості країн світу побудована за схожими схемами. Різниця зазвичай полягає в ступені централізації розробки стандартів і рівні участі в ній комерційних і громадських організацій. Слід зазначити, що в більшості країн світу вимоги до продукції регламентуються не для виробленої продукції, а для споживаної на території даної країни. В умовах ринкової економіки стандарт є знаряддям конкурентної боротьби, тому участь у його розробці є зброєю проти можливих конкурентів: високі вимоги відсікають слабких конкурентів, а низькі вимоги залучають нових постачальників.

Служба стандартизації на підприємстві може виконувати наступні функції:

- головної організації зі стандартизації своїй галузі;
- базової організації зі стандартизації своєї підгалузі;
- служби стандартизації свого підприємства.

Необхідно відзначити, що всі ці функції або будь-яке їх поєднання можуть бути покладені на одну службу. У залежності від виконуваних функцій розрізняються завдання служби стандартизації.

Основним завданням головної організації із стандартизації в галузі є координація робіт по стандартизації з директивними органами та організаціями своєї галузі.

Основними завданнями базової організації зі стандартизації є:

- розробка проектів стандартів на продукцію та методи її випробувань для своєї підгалузі;
- узгодження проектів стандартів суміжних галузей;
- експертиза та узгодження проектів ТУ, розроблених під-

приємствами, на продукцію, закріплену за базовою організацією.

Основними завданнями служби стандартизації підприємства є:

- ведення (зберігання і актуалізація) фонду нормативно-технічної документації з питань діяльності підприємства;
- розробка технічних умов на продукцію, що випускається підприємством;
- експертиза та узгодження проектів нормативно-технічних документів, що надходять на підприємство;
- розробка стандартів підприємства з внутрішніх питань його діяльності.

Метрологічне забезпечення виробництва включає в себе всі роботи, пов'язані із забезпеченням єдності і необхідної точності вимірювань відповідно до прийнятої на підприємстві технологією виробництва та вимогами до якості продукції, що випускається.

Основними обов'язками метрологічної служби є:

- забезпечення єдності і необхідної точності вимірювань, підвищення рівня метрологічного забезпечення підприємства;
- впровадження у практику роботи підприємства сучасних методів і засобів вимірювань та випробувань, спрямоване на підвищення ефективності виробництва, технічного рівня і якості продукції;
- організація і проведення ремонту, метрологічної атестації та перевірки засобів вимірювань та випробувань, що знаходяться в експлуатації на підприємстві;
- проведення метрологічної експертизи проектів нормативно-технічної, технологічної та конструкторської документації, яка розробляється на підприємстві, а також іншими організаціями за договорами з підприємством для використання на даному підприємстві;
- проведення робіт з метрологічного забезпечення підготовки виробництва до випуску нової продукції або освоєння

- нових технологічних процесів;
- участь в атестації випробувальних підрозділів, у роботі з підготовки продукції до сертифікації;
 - здійснення метрологічного нагляду за станом та застосуванням засобів вимірювань та випробувань, за впровадженням і дотриманням метрологічних правил, вимог і норм, за метрологічним забезпеченням виробництва в цехах, ділянках і відділах підприємства;
 - визначення оптимальної номенклатури методик і засобів вимірювань та випробувань, що відповідає вимогам нормативно-технічної, технологічної та конструкторської документації на продукцію, що випускається і забезпечує підвищення ефективності та безпеки виробництва;
 - метрологічна атестація методик виконання вимірювань та випробувань, що розробляються на підприємстві або на його замовлення іншими організаціями для застосування на даному підприємстві;
 - метрологічна атестація стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів, що розробляються на підприємстві або на його замовлення іншими організаціями для застосування на даному підприємстві;
 - метрологічна атестація автоматизованих систем керування технологічними процесами та інформаційно-вимірювальних систем, що застосовуються в процесі виробництва або випробувань продукції;
 - розробка програм метрологічної атестації нестандартизованих засобів вимірювань та випробувань, автоматизованих систем керування технологічними процесами, інформаційно-вимірювальних систем, стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів, розроблених на підприємстві або перевірка їх наявності та відповідності їх вимогам, що пред'являються при отриманні зазначених технічних засобів від їх розробника або виробника.

Контроль ходу технологічного процесу та якості продукції, що випускається і завдання *центральної заводської лабора-*

торії (ЦЗЛ) та відділу технічного контролю (ВТК).

У процесі виробництва необхідно контролювати дотримання технологічних режимів виробництва і якість продукції, а також сировини, матеріалів та комплектуючих виробів, що надходять на підприємство. Крім того, необхідно контролювати якість напівфабрикатів, які одержуються у процесі виробництва. Тому *система контролю* зазвичай складається з трьох ланок: контроль на робочих місцях, лабораторний контроль і контроль ВТК. Розподіл обов'язків залежить від внутрішньої структури підприємства, прийнятої технології виробництва, застосовуваних методів контролю. Зазвичай, розподіл відбувається за такими принципами: все, що пов'язане з іншими підприємствами (вхідний контроль і контроль якості продукції, що випускається) – робота ВТК; прості наочні методи контролю - на робочих місцях; складні методи контролю – робота ЦЗЛ. Звичайно, цей поділ дуже умовно, але в конкретній ситуації підприємства воно зазвичай виконується.

Основними завданнями ЦЗЛ є:

- вхідний контроль фізико-хімічних властивостей сировинних матеріалів і комплектуючих виробів, які надходять на завод;
- поточний і періодичний контроль фізико-хімічних властивостей оброблених сировинних матеріалів, комплектуючих виробів, напівфабрикатів та готової продукції;
- сприяння впровадженню у виробництво передових технологічних процесів і обладнання, що забезпечують підвищення якості та зниження собівартості продукції, що випускається;
- контроль фізико-хімічних властивостей продукції, що випускається на підприємстві, на відповідність вимогам стандартів, технічних умов, договорів та контрактів на поставку продукції;
- впровадження сучасних засобів і методів вимірів;
- участь у роботі зі створення та впровадження нової техніки і технології у виробництво.

Основними обов'язками ВТК є:

- контроль якості продукції та запобігання поставки споживачам продукції, що не відповідає вимогам стандартів, технічних умов та описів, договорів, контрактів, проектно-конструкторської та технологічної документації, затвердженим зразкам-еталонам, іншої нормативно-технічної документації;
- вхідний контроль якості сировинних матеріалів і комплектуючих виробів, що надходять на підприємство;
- зміцнення виробничої дисципліни і підвищення відповідальності всіх ланок виробництва за якість продукції;
- аналіз причин браку, ефективності системи технічного контролю;
- впровадження прогресивних методів контролю якості продукції, що випускається;
- нагляд за здійсненням технологічного контролю в процесі виробництва;
- удосконалення системи технічного контролю на підприємстві;
- участь у розробці технологічних регламентів виробництва;
- участь у розробці технічних умов і описів на продукцію, що випускається;
- участь у розробці договорів і контрактів на поставку продукції;
- участь у розробці заходів щодо усунення причин браку;
- участь у розробці технічних умов, договорів та контрактів на придбанні сировинні матеріали, комплектуючі вироби;
- участь в узгодженні проектів стандартів, технічних умов, договорів та контрактів, розроблених іншими організаціями;
- участь у випробуваннях нових і модернізованих зразків продукції;
- участь у підготовці до сертифікації продукції підприємства;
- призначення і проведення не передбачених технологічним

регламентом вибіркових перевірок якості готової продукції, сировинних матеріалів, комплектуючих виробів та напівфабрикатів, якості виконання окремих технологічних операцій, якості пакування та зберігання сировинних матеріалів, комплектуючих виробів та готової продукції, а також інших перевірок, необхідних для забезпечення випуску продукції відповідно до встановлених вимог;

- контроль виконання робіт з ліквідації забракованої продукції;
- контроль правильності пакування, маркування і зберігання готової продукції;
- контроль правильності зберігання сировинних матеріалів і комплектуючих виробів;
- контроль ізолювання і незастосування у виробництві бракованих сировинних матеріалів, комплектуючих виробів та напівфабрикатів;
- контроль здійснення заходів, спрямованих на своєчасне впровадження нових стандартів і технічних умов та описів, договорів та контрактів на поставку продукції, змін до чинних стандартів та технічним умовам і описами, договорами і контрактами на поставку продукції;
- контроль якості ремонту технологічного обладнання;
- оформлення документів, що засвідчують відповідність продукції встановленим вимогам;
- оформлення реклаमाції на негідні сировинні матеріали і комплектуючі вироби, що надійшли на підприємство;
- ведення обліку претензій щодо якості продукції підприємства, висунутих споживачами (як формально оформлених, так і неофіційних), і прийнятих за ними заходів;
- розробка пропозицій про підвищення вимог до якості продукції підприємства, споживаних сировинних матеріалів і комплектуючих виробів, системі технологічного контролю, технологічної дисципліни виробництва.

Для того, щоб виробництво мало перспективу, у виробничих підрозділах має постійно відбуватися оновлення технологіч-

ного устаткування, систем автоматизацій і засобів вимірювань, тобто необхідно все це освоювати. Необхідно підвищувати кваліфікацію персоналу та якість його роботи, щоб освоювати нові види продукції, підвищувати її якість, скорочувати витрати палива, енергії, сировини на її виробництво.

1.4 Виробничі процеси

В основі сучасного виробництва полягає виробничий процес.

Виробничий процес – це систематична і цілеспрямована зміна в часі і просторі, кількісних і якісних характеристик засобів виробництва і робочої сили для одержання з вихідних матеріалів готової продукції відповідно до заданої програми. Це сукупність всіх дій людей, знарядь виробництва, необхідних на даному підприємстві для виготовлення чи ремонту виробів РЕПБ, тобто виготовлення, складання, контроль якості, зберігання і переміщення деталей, напівфабрикатів і складальних одиниць на всіх стадіях виготовлення; організація постачання і обслуговування робочих місць, дільниць і цехів, керування всіма ланками виробництва, а також комплекс заходів з технологічної підготовки виробництва.

Класифікація виробничих процесів може здійснюватися за різними ознаками.

Виробничі процеси можуть підрозділятися на основні, допоміжні, обслуговуючі та управлінські виходячи з ролі, яка відводиться їм у загальній системі виробництва.

Основні – на базі яких, власне, і виробляється продукція підприємства.

Допоміжні – забезпечують нормальну і безперебійну роботу основних. Наприклад, виробництво запасних частин, вироблення енергії, комплектуючих, додаткових інструментів. Результати їх діяльності «підтримують» виробництво продукції, що є предметом спеціалізації підприємства.

Обслуговуючі – забезпечують взаємозв'язок між основни-

ми і допоміжними процесами. До таких можуть бути віднесені складські, логістичні, вантажно-розвантажувальні, транспортні, контрольні, комплектувальні процедури.

До *керуючих* відносять ті види виробничих процесів, які призначені для координування всієї роботи підприємства, регулювання сумісності технічних процесів, визначення їх доцільності та економічної ефективності. Найчастіше вони тісно сплетені з основними, допоміжними і обслуговуючими процесами.

З точки зору характеру виконання процеси можуть бути розділені на перервні і безперервні.

Перервні (дискретні) – усередині яких етапи виробничого процесу розділені часовими інтервалами.

Безперервні – види виробничих процесів припускають відсутність розривів між технологічними операціями.

За ступенем механізації процеси поділяються на:

- *ручні*, здійснювані без застосування механізмів;
- *машинно-ручні* групи виробничих процесів – що припускають використання механізмів, або механізованих інструментів з обов'язковою участю робітника;
- *машинні* – протікають із застосуванням механізмів, верстатів або машин, і потребують незначної участі людини;
- *автоматизовані* – процеси, виробництво всередині яких здійснюється автоматично, роль людини зводиться до контролю роботи механізмів;
- *автоматичні лінії* – виробництво продукції на яких не вимагає участі людини.

Залежно від складності продукції, що випускається, види виробничих процесів можуть бути:

- *простими*, що включають в себе операції, спрямовані на зміну властивостей однотипних предметів праці (виробництво партії деталей);
- *складними*, що складаються з простих операцій, виконання яких спрямоване на виробництво кінцевого виробу або його проміжного блоку (остаточна збірка пристрою).

Виходячи з масштабів виробництва продукції одного типу

виробничі процеси поділяють на:

- *індивідуальні*, призначені для виробництва продукції, що не повторюється. Застосовуються в цехах, що випускають вироби часто обновлюваної номенклатури. Вони вимагають високої кваліфікації робітників і застосування складної багатопрофільної техніки (експериментальне виробництво);
- *серійні*, призначені для випуску продукції невеликими серіями, повторюваними з певною періодичністю. У цьому випадку за ділянкою закріплюються конкретні операції, які виконуються в заданій послідовності;
- *масові* застосовуються в тих випадках, коли виробництво націлене на випуск однорідних виробів у великій кількості і протягом тривалого часу.

Технологічний процес – частина виробничого процесу, що містить цілеспрямовані дії із зміни і (або) визначення стану предмета праці.

ТП будують з основних методів їх виконання (процеси лиття, механічної і термічної обробки, покриттів, складання, монтажу та контролю РЕП) і поділяють на операції.

Технологічні процеси класифікуються за такими ознаками:

- за властивостями сировини, які змінюються в процесі її перероблення (фізичні, механічні та хімічні);
- за способом організації;
- за напрямом рухів теплових і сировинних потоків;
- за агрегатним станом складових сировини;
- за тепловим ефектом;
- за основними рушіями (чинниками), які спричиняють і прискорюють технологічні процеси.

У залежності від умов виробництва і призначення технологічні процеси поділяють на: одиничний технологічний процес, уніфікований технологічний процес.

Одиничний технологічний процес – це технологічний процес виготовлення або ремонту виробу одного найменування, типорозміру і виконання незалежно від типу виробництва.

Уніфікований технологічний процес – це технологічний процес, що відноситься до групи виробів, що характеризується єдністю конструкцій та технологічних ознак. Уніфікований технологічний процес поділяється на типовий і груповий.

Типовий технологічний процес – це процес виготовлення групи виробів з подібними конструкторськими та технологічними ознаками. Цей процес характеризується подібністю змісту та послідовності більшості технологічних операцій і переходів.

Груповий технологічний процес – це технологічний процес виготовлення групи виробів з різними конструктивними, але спільними технологічними ознаками.

Робочий технологічний процес – виконується по робочій технологічній або конструкторській документації.

Тимчасовий технологічний процес – використовується протягом протязі обмеженого періоду.

Стандартний технологічний процес – процес, який виконується згідно з чинними стандартами.

Комплексний технологічний процес – процес, у склад якого входять не тільки технологічні операції, а й операції по переміщенню, транспортуванню, контролю та очищенню заготовок по ходу технологічного процесу.

Технологічна операція – закінчена частина ТП, що виконується безперервно на одному робочому місці (над одним або декількома одночасно виготовленими виробами, або виробами, що збираються одним або кількома робочими). Технологічна операція є основною одиницею виробничого планування та обліку. На основі операцій оцінюється трудомісткість виготовлення виробів і встановлюються норми часу і розцінки, визначається необхідна кількість робітників, устаткування, пристроїв та інструментів, собівартість виготовлення (складання); ведеться календарне планування і здійснюється контроль якості і термінів виконання робіт. Структура виробничого процесу показана на рис. 1.4.

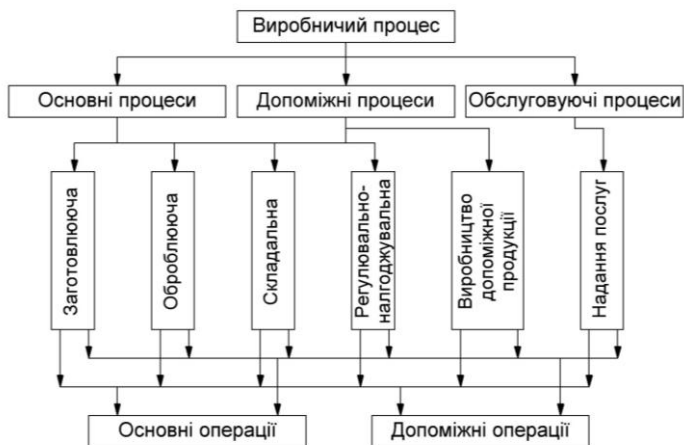


Рисунок 1.4 – Структура виробничого процесу

В умовах автоматизованого виробництва під *операцією* слід розуміти закінчену частину ТП, виконувану безперервно на автоматичній лінії, яка складається з декількох одиниць технологічного обладнання, пов'язаних автоматично діючими транспортно-завантажувальними пристроями.

Крім технологічних операцій в ТП входять ряд необхідних допоміжних операцій (транспортних, контрольних, маркувальних і т.п.).

Операція, в свою чергу складається з технологічних переходів, установ, позицій.

Виробнича операція – частина виробничого процесу з чітко вираженими метою і результатом, виконувана за допомогою відповідного устаткування певним складом виконавців або без участі людини.

Виробничі операції поділяються на *технологічні* (основні), *обслуговуючі*, *допоміжні* і *підготовчі*.

У залежності від способу впливу на предмети праці, рівня технічної оснащеності і ступеня участі виконавця, виробничі операції підрозділяються на *ручні*, *машинно-ручні*, *машинні*, *апаратурні*.

При реалізації виробничих процесів передбачається послідовне, паралельне та паралельно-послідовне сполучення операцій.

Послідовне сполучення операцій – метод організації виробничих процесів, при якому окремих предметів праці передається на наступну операцію після того, як вся партія пройде попередню операцію.

Паралельне сполучення операцій – метод організації виробничих процесів, при якому кожний екземпляр предмета праці передається на наступну операцію відразу ж після проходження їм попередньої операції.

Паралельно-послідовне сполучення операцій – метод організації виробничих процесів, при якому предмети праці можуть передаватися на наступну операцію відразу ж або після проходження попередньої операції частиною партії.

Транспортно-технологічна схема – схема частини або всього ТП, у якій всі виробничі операції подані в послідовності і взаємозв'язку.

Технологічний маршрут – послідовність проходження предметом праці виробничих підрозділів підприємства під час здійснення певного виробничого процесу.

Виробничий цикл – інтервал часу від початку до закінчення виробничого процесу виготовлення або ремонту виробу.

Розрізняють *виробничий та робочий цикли, цикл технологічної операції*.

Графік циклічності – наочне зображення ходу виробничого процесу в часі.

Виробничий паспорт – документ, у якому зафіксовані нормативи часу протікання конкретних операцій виробничого процесу і технічно можлива виробнича потужність устаткування підприємства.

Засоби технологічного оснащення, за допомогою яких здійснюється виконання усіх виробничих операцій, підрозділяються на технологічне устаткування і технологічне оснащення.

Технологічне устаткування – засоби технологічного

оснащення, у яких для виконання певної частини ТП розміщуються матеріали або заготовки, засоби впливу на них, а також технологічне оснащення.

Технологічне оснащення – сукупність пристосувань для установки і закріплення заготовок та інструменту, виконання складальних операцій, транспортування заготовок, напівфабрикатів, деталей або виробів.

Технологічна дисципліна – дотримання точної відповідності ТП виготовлення продукції вимогам технологічної і конструкторської документації.

Невід’ємними характеристиками виробничих процесів є ритм і такт.

Такт потокової лінії – інтервал часу між послідовним випуском двох однойменних одиниць продукції потокової лінії.

Ритм виробництва – підтримка в обсязі й часі рівномірного і безперебійного виготовлення та випуску продукції в передбачених співвідношеннях на основі чіткої погодженості робіт на всіх ділянках виробництва.

Ритм поточного виробництва – ритм виробництва з дотриманням пропорцій між окремими підрозділами підприємства щодо номенклатури продукції, її обсягу і календарних термінів.

Ритм регламентований – організаційно-технічний розпорядок функціонування потокової лінії з дотриманням єдиного розрахункового такту на всіх операціях ТП.

Ритм вільний – організаційний розпорядок функціонування потокової лінії, при якому дотримання розрахункового такту на різних операціях ТП жорстко не регламентується.

Виробничий процес виготовлення радіоелектронних приладів, обладнаний засобами автоматизації керування виробничими операціями та технологічними циклами, може бути прикладом складної системи, узагальнена функціональна схема якої зображена на рис. 1.5.

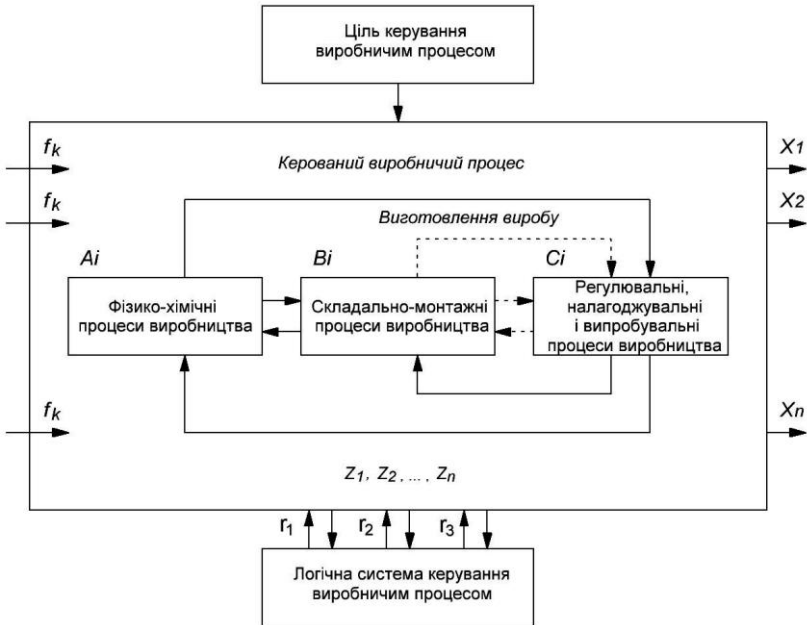


Рисунок 1.5 – Узагальнена функціональна схема виробничого процесу виготовлення РЕП

У цьому випадку під A_i необхідно розуміти фізико-хімічний процес виготовлення i -ї деталі радіоелектронного приладу. Під B_i – складально-монтажний ТП складання i -ї складальної одиниці. Під C_i – регулювальні процеси, що здійснюються над i -ю складальною одиницею даного радіоелектронного приладу. Змінними f_k , що впливають на ТП, можуть бути:

- матеріали;
- комплектуючі вироби;
- енергія, що необхідна для здійснення даного процесу;
- люди, що здійснюють цей процес і т.д.

Вихідні параметри X_n , що характеризують радіоелектронний прилад після виготовлення, можуть представляти собою такі параметри приладу:

- вартість;
- надійність роботи;
- точність;
- зручність в експлуатації та інші.

Логічна система керування виробничим процесом використовується для створення таких керуючих сигналів r_m , які змінюють характеристики процесу з метою забезпечення досягнення деякої цільової функції, що є комплексним показником характеристик пристрою.

Прикладом логічної системи управління можуть бути:

- людина, що здійснює процес виготовлення виробу (найпростіший випадок);
- керуючий обчислювальний комплекс;
- автоматизований обчислювальний комплекс і т.д.

Керуючими сигналами r_m можуть бути конкретні значення параметрів, які характеризують даний виробничий процес (склад спеціалістів, стан та особливості транспортування, постачання комплектуючими виробами і т.д.).

Під цільовою функцією розуміють узагальнений показник системи, що всебічно характеризує об'єкт виробництва.

Розглядання виробничого процесу як складної системи дозволяє вирішувати задачі, пов'язані з математичним описом процесу та вибором його оптимальних характеристик.

1.5 Принципи організації виробничих процесів

При всьому різноманітті виробничих процесів їх організація підпорядковується деяким загальним принципам.

Принцип диференціації передбачає поділ виробничого процесу на окремі ТП, які в свою чергу поділяються на операції, переходи, прийоми. При цьому аналіз особливостей кожного елемента дозволяє вибрати найкращі умови для його здійснення. Потокове виробництво багато років розвивалося за рахунок все більш глибокої диференціації ТП. Виділення нетривалих за часом виконуваних операцій дозволяло спростувати організацію та технологічне оснащення виробництва, збільшувати продук-

тивність праці. Проте надмірна диференціація призводить до зайвих витрат на переміщення предметів праці між робочими місцями, установку, закріплення і зняття їх з робочих місць після закінчення операцій.

При використанні сучасного високопродуктивного гнучкого устаткування (верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК), обробні центри, роботи і т. д.) діє *принцип концентрації* операцій та інтеграції виробничих процесів. Концентрація передбачає виконання декількох операцій на одному робочому місці (універсальне багатопільове складальне обладнання). Інтеграція полягає в об'єднанні основних допоміжних та обслуговуючих процесів.

Принцип спеціалізації обумовлює виділення на підприємстві цехів, дільниць, ліній і окремих робочих місць, які виготовляють продукцію обмеженою номенклатури. Скорочення номенклатури продукції, як правило, призводить до поліпшення всіх економічних показників, зокрема, до підвищення рівня використання основних фондів підприємства, зниження собівартості продукції, механізації та автоматизації виробничих процесів.

Принцип пропорційності передбачає рівну пропускну спроможність усіх виробничих підрозділів. Порушення цього принципу призводить до виникнення «вузьких» місць у виробництві або, навпаки, до неповного завантаження окремих робочих місць, ділянок, цехів, до зниження ефективності функціонування всього підприємства.

Принцип прямоточності означає таку організацію виробничого процесу, при якій забезпечуються найкоротші шляхи проходження деталей і складальних одиниць по всіх стадіях і операціях. Потік матеріалів, напівфабрикатів і складальних одиниць повинен бути без зустрічних та зворотних рухів. Це забезпечується відповідною плануванням розстановки обладнання по ходу ТП. Класичним прикладом такого планування є потокова лінія.

Принцип безперервності означає, що працівники працюють без простоїв, а обладнання працює без перерв. Найбільш

повно цей принцип проявляється в масовому або багатосерійному виробництві при організації поточкових методів виробництва, зокрема, при організації одно- і багатопредметних безперервно поточкових ліній. Цей принцип забезпечує скорочення циклу виготовлення виробу і сприяє підвищенню ефективності виробництва.

Принцип автоматичності передбачає максимальне виконання операцій виробничого процесу автоматично, тільки під наглядом і контролем оператора. Автоматизація процесів призводить до збільшення обсягів випуску виробів, до підвищення якості робіт, до виключення ручної праці на роботах з шкідливими умовами. Особливо важлива автоматизація обслуговуючих процесів. Загальний рівень автоматизації процесів виробництва визначається часткою автоматизованих робіт в основному, допоміжному та обслуговуючому виробництвах.

Принцип стандартизації передбачає широке використання при створенні і освоєнні нової техніки і нової технології стандартизації, уніфікації, типізації і нормалізації, що дозволяє уникнути необґрунтованого різноманіття в матеріалах, обладнанні, ТП і різко скоротити тривалість циклу створення та освоєння нової техніки.

Принцип системності передбачає системний підхід до організації виробництва. Організація виробництва розглядається як деяка інформаційна система, у якій керування підготовкою здійснюється за допомогою інформації. При цьому:

- керування організацією виробництва має будуватися з мінімально можливою кількістю ієрархічних ступенів;
- процедура організації виробництва має бути здатною змінювати свою структуру у певних межах у відповідності з:
 - загальними цілями виробництва, що можуть змінюватися;
 - частковими цілями виробництва, що можуть змінюватися;
 - зміненням умов функціонування виробництва;
 - зміненням якості окремих елементів (людей, технічних

засобів оснащення, керування тощо);

- необхідно досягати найкоротших шляхів проходження інформації;
- дотримуватися вимог персональної відповідальності виконавців;
- розподіл функцій керування між виконавцями і побудова ієрархічних ступенів в організації виробництва мають передбачати деякий раціональний ступінь централізації, при якому, з одного боку, досягаються достатня спеціалізація і повнота використання технічних засобів керування, а з іншого – забезпечується оперативність керування, властива децентралізації взагалі;
- вирішення всіх задач організації виробництва має здійснюватися у повному взаємозв'язку з підпорядкуванням єдиній меті.

Принцип прогресивності передбачає використання сучасних і вдосконалених способів та методів організації виробництва. Принцип прогресивності передбачає наявність деяких організаційно-технічних передумов: конструкторських, технологічних, організаційних і матеріальних на найсучаснішому рівні.

Конструкторські передумови виражаються у високих вимогах до освоєваних виробів – їх технологічності, конструктивної спадковості, відпрацьованості та відносної стабільності. Важливою вимогою до конструкції виробу є її розчленованість на самостійні блоки, вузли, які можливо запускати у виробництво паралельно. Це скорочує виробничий цикл, полегшує організацію складальних робіт і підготовку виробництва.

Технологічні передумови зводяться до виконання таких умов:

- ретельне відпрацьовування ТП з максимальним розчленуванням їх на окремі операції;
- вибір оптимальних режимів виготовлення виробів;
- застосування технічно обґрунтованих норм часу на виготовлення виробів;
- застосування сучасного високопродуктивного устаткування

- ня й оснащення;
- механізація і автоматизація контрольних, регулювальних, іспитових, транспортних та інших процесів;
 - широка типізація й стандартизація технологічних операцій і процесів.

Організаційна передумова зумовлюється достатнім обсягом виробництва, що забезпечує повне завантаження робочих місць, чіткою спеціалізацією робочих місць, правильним вибором системи обслуговування і планування.

Матеріальна передумова – це чітка організація роботи матеріально-технічного постачання всіх ланок виробничого процесу, встановлення і підтримка на розрахунковому рівні необхідних резервів виробництва.

Принцип динамічності полягає в тому, що зміна вихідної інформації, виробничих умов, вимог до якості, номенклатури продукції, що випускається, тощо розглядаються не як випадкові, а як закономірні явища.

У процесі організації виробництва (у тому числі й діючого) постійно відбувається процес вдосконалення і зміни номенклатури виробів, викликаний конкуренцією на ринку збуту. Удосконалюється технологія виготовлення, змінюється технологічне устаткування, змінюються умови праці і виробництва, тощо. Все це приводить до динамічності виробництва.

Кількість і динамічність змін, що відбуваються, для різних типів виробництва будуть різними. У масовому і крупносерійному виробництві кількість змін, як правило, менше (виробництво, як система, прагне до стабілізації), проте їх зміст більш складний. У серійному і дрібносерійному виробництвах зміни, як правило, є звичайними явищами (система знаходиться у стані постійного змінювання).

Таким чином, щоб задовольнити вимогам динамічності виробництва, організація виробництва і саме виробництво мають бути мобільними і забезпечувати постійний розвиток та удосконалення виробництва.

Принцип наступності передбачає широке використання

накопиченого виробничого досвіду в організації, підготуванні і функціонуванні виробництва відповідної галузі.

Принцип економічності є інтегральним, за допомогою нього оцінюється ефективність перерахованих вище принципів. *Економічність* – один з основних параметрів, що враховується під час вирішення виробничих задач і прийняття рішень про їх доцільність.

1.6 Показники якості виробничих процесів

Будь-яке кількісне вивчення процесу можливе лише в разі, якщо визначені величини, що характеризують процес з кількісної точки зору. Тому при математичному описі виробничого (або технологічного) процесу кожному фіксованому моменту часу становлять у відповідність миттєвий стан цього процесу, що задається набором чисел $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$, які виражають основні його властивості з необхідним наближенням.

Якщо роздивлятися процес як послідовну зміну станів у часі, то величини $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ виявляються функціями часу:

$$a_1(t), a_2(t), a_3(t), \dots, a_n(t). \quad (1.8)$$

Ці функції називаються *характеристиками процесу*. На практиці, зрозуміло, для описання всіляких технологічних процесів використовують багатомірний простір, а величини $a_1(t), a_2(t), a_3(t), \dots, a_n(t)$ інтерпретують як координати у n -мірному фазовому просторі у даний момент часу t . Тоді сукупність точок у фазовому просторі, яка описує стан ТП на часовому інтервалі $t \in [t_0, t_k]$, представляє собою так названу *фазову траєкторію* технологічного процесу.

Величини, які визначають початковий стан процесу, називаються *початковими умовами*. Характеристиками є ті величини, якими описується даний процес.

Роздивимось показники виробничого процесу виготовлення штучних виробів (радіоелектронних приладів). У кожному

окремому випадку специфічні умови виробництва того чи іншого приладу можуть визначити свої показники, тому немає можливості об'єднати усі можливі групи показників для усіх можливих типів процесів. Роздивимось показники, які зустрічаються найчастіше, і знайдемо аналітичні залежності, які їх зв'язують.

Останнє є найціннішим, бо якщо змінюється аналітична залежність між двома якимись показниками виробничого процесу, то немає необхідності визначати два показника, а достатньо знайти лиш один із них. Зрозуміло, що інший буде легко знайдений за допомогою відомих аналітичних залежностей.

Продуктивність – це показник виробничого процесу, який виражає середню кількість виробів, які виготовлені системою за фіксований інтервал часу.

Якщо позначити загальний час роботи через t_c (годин, змін, місяців, років і т.п.), то загальна кількість придатних виробів, вироблених за цей час, через $N_z(t_c)$, та продуктивність K_n визначатимемо за формулою

$$K_n = \frac{N_z(t_c)}{t_c}. \quad (1.9)$$

Час t_c можливо виразити у вигляді суми

$$t_c = t_{cn} + t_{c1} + t_c + \dots + t_{cm} + t_{ck} + t_{cmp} + t_{cz} + t_{np}, \quad (1.10)$$

де t_{cn} – час, який витрачається на підготовку виробу, що фактично характеризує тривалість підготовчих операцій;

t_{cm} – тривалість технологічної операції

$$t_{cm} = t_{c1} + t_{c2} + \dots + t_{ci} + \dots + t_{cn}, \quad (1.11)$$

n – число технологічних операцій у виробничому процесі;

t_{ck} – тривалість операцій контролю;

t_{cmp} – час, що витрачається на транспортування виробу або його частин;

t_{cz} – тривалість заключних операцій (маркування, упаковка і т. п.);

t_{np} – загальний час простою.

З розгляду формули (1.10) зрозумілі шляхи зменшення часу t_c отже, шляхи збільшення продуктивності процесу.

Показник середня частина придатних виробів є відношенням кількості вироблених приладів, визнаних придатними, до всіх вироблених приладів

$$\Delta_z = \frac{N_z(t_c)}{N(t_c)}, \quad (1.12)$$

де Δ_z – середня частка придатних виробів;

$N_z(t_c)$ – кількість виробів, що відповідають технічним умовам і вироблених за час t_c ;

$N(t_c)$ – загальна кількість виробів, виготовлених за час t_c .

При контролі технологічного процесу важливим показником є ймовірність $P_{k,v}$ появи в партії обсягом v кількості придатних виробів не більше k

$$P_{k,v} = \sum_{i=0}^k \frac{C_{N_z}^i \cdot C_{N-N_z}^{v-i}}{C_N^v}. \quad (1.13)$$

Якщо $v \leq 0,1N$, то частота $\hat{p} = \frac{k}{v}$ придатних виробів у вибірці розподілена за біноміальним законом і замість рівняння (1.13) використовують рівняння

$$P_{k,v} = \sum_{i=0}^k c_v^i P^i (1-P)^{v-i}, \quad (1.14)$$

де P – задана ймовірність придатних виробів в партії.

Якщо $vP \geq 4$ і $vQ \geq 4$, де Q – задана ймовірність брако-

ваних виробів в партії, то частота P має нормальний розподіл з параметрами

$$M\{\hat{P}\} = P, \quad \sigma^2\{\hat{P}\} = \frac{PQ}{v}. \quad (1.15)$$

Довірчий інтервал частоти I_{β}^P визначається як

$$P\left(P - Z_{\beta} \sqrt{\frac{PQ}{n}} \leq \hat{P} \leq P + Z_{\beta} \sqrt{\frac{PQ}{n}}\right) = \beta, \quad (1.16)$$

де число Z_{β} по визначається табл. 1.2 та іншим відповідного виду.

Таблиця 1.2

Деякі значення Z_{β}

β	Z_{β}	β	Z_{β}	β	Z_{β}	β	Z_{β}
0,9	1,643	0,95	1,96	0,98	2,325	0,9973	3,0
0,92	1,750	0,97	2,169	0,99	2,576	0,999	3,2

Якщо з вимірювання вибірки відома \hat{P} , а ймовірність P невідома, то можливо визначити довірчий інтервал I_{β}^P , який з вірогідністю β перекриє P . Межі визначаються виразом

$$P_{1,2} = \frac{\hat{P} + \frac{Z_{\beta}^2}{2v} \pm Z_{\beta} \sqrt{\frac{\hat{P}(1-P)}{v} + \frac{Z_{\beta}^2}{4v^2}}}{1 + \frac{Z_{\beta}^2}{v}}. \quad (1.17)$$

Середня частка бракованих виробів – відношення кількості бракованих виробів до всіх вироблених виробів, тобто

$$\Delta_{\delta} = \frac{N_{\delta}(t_c)}{N(t_c)}, \quad (1.18)$$

де Δ_{δ} – середня частка бракованих виробів;

$N_{\delta}(T_c)$ – кількість бракованих виробів, вироблених за період часу.

Очевидно, що середня частка бракованих виробів пов'язана з середньою часткою придатних виробів залежністю

$$\Delta_{\delta} = 1 - \Delta_z. \quad (1.19)$$

Зривом виробничого процесу називають подію, що полягає в припиненні нормального функціонування виробництва, не передбачену технічними умовами. Під *інтенсивністю зриву* виробничого процесу розуміють середнє число зривів процесу, що припадають на кожну операцію в одиницю часу

$$\Lambda_c = \frac{n_c}{n \cdot t_c}, \quad (1.20)$$

де Λ_c – середнє число зривів процесу;

n_c – число операцій, в яких спостерігалися зриви;

n – загальне число операцій.

Продуктивною роботою системи називається процес, результатом якого є виготовлення виробу. Наприклад, випробування після ремонту не є продуктивною роботою. Під *середнім часом продуктивної роботи* T_{cp} на одній операції розуміють математичне очікування часу нормальної роботи на кожній операції

$$T_{cp} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n t_i \right)}{n}, \quad (1.21)$$

де t_i – час продуктивної роботи при здійсненні i -ї операції.

Чисельник формули (1.20) являє собою загальний час виробничої роботи системи при проходженні виробів за всіма позиціями.

Надійність процесу є його здатність функціонувати в відповідності до технічних умов заданий період часу при заданих умовах експлуатації. Ця здатність забезпечується розрахунково-теоретичними, конструктивними і профілактичними заходами, пов'язаними зі створенням і роботою системи, що здійснює процес.

Критеріями надійності процесу є інтенсивність зриву, середні години продуктивної роботи і зривів процесу. Найбільш повним є критерій вірогідності *нормального перебігу процесу*, тобто ймовірність того, що протягом заданого часу і при заданих умовах виробничий процес буде протікати відповідно до технічних вимог (без зривів). Цей критерій часто називається *надійністю виробничого процесу*.

Надійність процесу, таким чином, як якісна, так і надійна категорія, являє собою динамічну характеристику. Надійність процесу може бути оцінена тільки відповідно до визначеного відрізка часу і певним комплексом умов. Тому зв'язок описаних критеріїв надійності здійснюється за допомогою таких функціональних співвідношень, в яких аргументом є час (вплив визначених умов враховується при підрахунку самих критеріїв).

Структура функціональних співвідношень, що пов'язують ймовірність нормального перебігу процесу з середнім часом продуктивної роботи (або інтенсивністю зривів виробничого процесу), залежить від закону розподілу відмов у виробничій системі даного типу при даних умовах.

Відмови у виробничій системі можуть викликатися:

- відмовами обладнання;
- відмовами приладів і засобів управління (автоматизації);
- відмовами, викликаними похибками, які вносяться людьми (обслуговуючим персоналом).

Якщо розглядати експериментальні статистичні розподіли зривів виробничого процесу за час t , то форма цих розподілів

може бути будь-якою. У загальному випадку немає універсальних способів опису будь-якої форми розподілу зривів виробничих процесів (як і будь-якого статистичного розподілу, отриманого з досвіду). Тому для опису розподілів в математичній статистиці використовується декілька стандартних розподілів, кожен з яких з певним ступенем вірогідності описує найбільш близькі до нього види розподілів. Графічна інтерпретація деяких статистичних розподілів приведена на рис. 1.6.

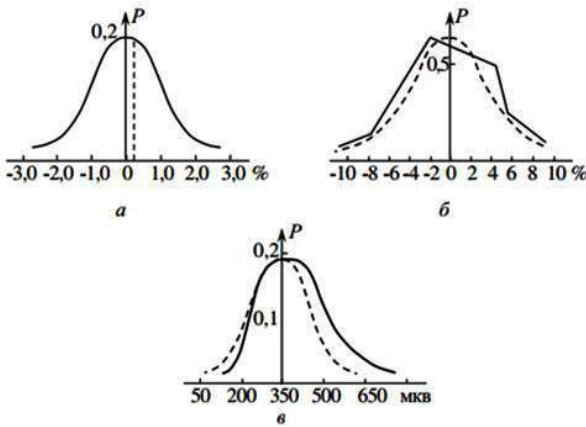


Рисунок 1.6 – Деякі статистичні розподіли, що підкоряються нормальному закону (суцільні лінії), і відповідні їм теоретичні розподіли (штрихові лінії): а – розподіл помилок оператора при зчитуванні показань зі стрілочного вольтметра; б – розподіл похибок налагоджування підсилювача, вироблених по стрілочному приладу; в – розкид параметрів дроселя

Якщо, наприклад, закон розподілу випадкової величини характеризує суму дуже великого числа взаємно незалежних випадкових величин, то це, відповідно, *нормальний закон розподілу* (закон Гаусса). При оцінюванні надійності виробничих процесів нормальний закон розподілу проявляється в основному тоді, коли на процес діє безліч різноманітних за змістом факторів, кожен з яких вносить відносно малу частку в остаточний результат. При цьому зазвичай вважають, що домінуючі фактори

в таких випадках відсутні .

Нормальний закон діє при великій кількості вимірювань в умовах сучасних автоматизованих виробництв РЕПБ.

Також при оцінюванні надійності виробничих процесів часто зустрічаються розподіли, відмінні від нормального. Наприклад, характер зовнішніх впливів на процес залежить від ступеня підготовки самого виробничого процесу. Тоді, якщо обладнання (деталі, вузли, елементи) пройшло попереднє тренування, то виходи з ладу цього обладнання підкоряються *закону рівної ймовірності* (рівномірному розподілу) в заданому інтервалі часу T (рис. 1.7).

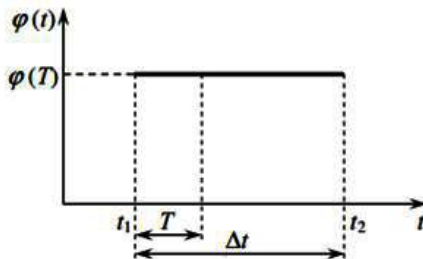


Рисунок 1.7 – Закон рівної ймовірності і його параметри

У тих випадках, коли має місце уповільнений характер зміни значущих чинників (наприклад, самонагрівання генератора стандартних сигналів в системі автоматичного контролю триває протягом зміни), зриви процесу можуть описуватися законом *рівнозростаючої ймовірності* (рис. 1.8).

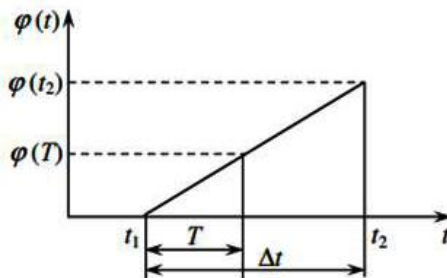


Рисунок 1.8 – Закон рівнозростаючої ймовірності і його параметри

Питання вибору найбільш близьких законів розподілів для опису тих чи інших похибок, помилок, чинників є досить складною окремою галуззю технології виробництва.

Наведені показники виробничого процесу найбільш часто використовуються на практиці. Вони мають універсальний характер та придатні для використання в якості характеристик практично будь-якого виробничого процесу.

1.7 Розробка технологічних процесів в умовах сучасних виробництв

При розробці технологічних процесів у галузі радіоелектронного приладобудування керуються трьома основними принципами:

- *технічний* – технологічний процес повинен повністю забезпечувати виконання всіх вимог робочого креслення і технічних умов на виготовлення приладу;
- *економічний* – виготовлення приладу повинно вестися з мінімальними витратами праці і витратами виробництва;
- *організаційний* – виріб повинен виготовлятися в умовах організації виробництва, які забезпечують найбільшу ефективність.

З декількох варіантів технологічного процесу виготовлення одного і того ж виробу, рівноцінних з позиції технічного принципу, обирають найбільш ефективний варіант з позицій організаційного та економічного принципу.

Технологічні розробки дозволяють виявити необхідні засоби виробництва для випуску виробів, трудомісткість і собівартість виготовлення виробів.

При проектуванні нових і реконструкції існуючих підприємств вказаної галузі розроблені технологічні процеси є *основою проекту*.

Вихідну інформацію для розробки технологічного процесу розподіляють на *базову, керівну і довідкову*.

До *базової інформації* відносять:

- робоче креслення з технічними умовами на виготовлення пристрою;
- обсяг випуску виробів, в який входить виготовлений прилад з урахуванням випуску запасних частин;
- планований інтервал часу випуску.

Якщо технологічний процес розробляється для діючого підприємства, то зазначаються відомості про склад і стан обладнання та інші документи, в яких викладено основні вимоги, що враховуються при її розробці.

Керівна інформація:

- стандарти, що встановлюють вимоги до технологічного процесу і методів керування ним;
- стандарти на обладнання та оснащення; документація на діючі одиничні, типові і групові технологічні процеси;
- нормативи режимів обробки, припусків, допоміжного часу;
- документація з техніки безпеки і виробничої санітарії.

Довідкова інформація:

- технічна інформація дослідного виробництва;
- опис прогресивних методів виготовлення і ремонту;
- каталоги, довідники, альбоми прогресивних засобів технологічного оснащення і т. д.

Технологічний процес розробляється на основі наявного типового або групового технологічного процесу. Він повинен бути прогресивним і забезпечувати підвищення продуктивності праці і якості виробів, скорочення трудових і матеріальних витрат на його реалізацію, зменшення шкідливих впливів на навколишнє середовище. Основні етапи розробки технологічних процесів наведені на рис. 1.9.

Встановлено десять основних етапів проектування технологічного процесу.

1. *Аналіз вихідних даних для розробки технологічного процесу.* Ретельно вивчаються складальне креслення виробів і робочі креслення деталей, умови виготовлення та експлуатації виробу, програма і інтервал часу випуску виробів,

наявність або відсутність обладнання, можливості модернізації обладнання, наявність виробничих площ для розширення виробництва. Визначаються організаційно-економічні характеристики виробництва – тип (серійність), форма організації, такт випуску виробів і ін.

2. *Вибір чинного типового, групового технологічного процесу або пошук аналога одиничного технологічного процесу.* Формується технологічний код виробу за технологічним класифікатором. На основі технологічного коду деталь відноситься до відповідної класифікаційної групи і до діючого типового, групового або одиничного технологічного процесу, а якщо такої класифікаційної групи немає, то розробляється одиничний технологічний процес.
3. *Вибір вихідної заготовки і методів її виготовлення.* Визначають вид вихідної заготовки вибирають метод виготовлення вихідної заготовки з декількох варіантів з економічним обґрунтуванням обраного варіанту. Проектують креслення вихідної заготовки і технологічний процес отримання заготовки в заготівельному цеху.
4. *Вибір технологічних баз.* Технологічна база – це поверхня, лінія або точка заготовки, яка орієнтує її при обробці. За класифікатором способів базування вибирають технологічні бази і оцінюють точність та надійність базування за продуктивністю технологічного процесу.
5. *Складання технологічного маршруту обробки.* За документацією типового, групового або одиничного технологічного процесу визначається послідовність технологічних операцій і попередньо вибирається склад засобів технологічного оснащення: обладнання, пристроїв та інструменту (основного, вимірювального та допоміжного).

Якщо типовий, груповий або аналог одиничного технологічного процесу відсутній, то розробляється технологічний маршрут обробки на підставі виду вихідних даних про виріб.

- б. *Розробка технологічних операцій.* Розробляється або уточнюється послідовність переходів – частин технологічної

операції, що характеризуються сталістю використовуваного інструменту при обробці поверхні деталі або при складанні виробу.

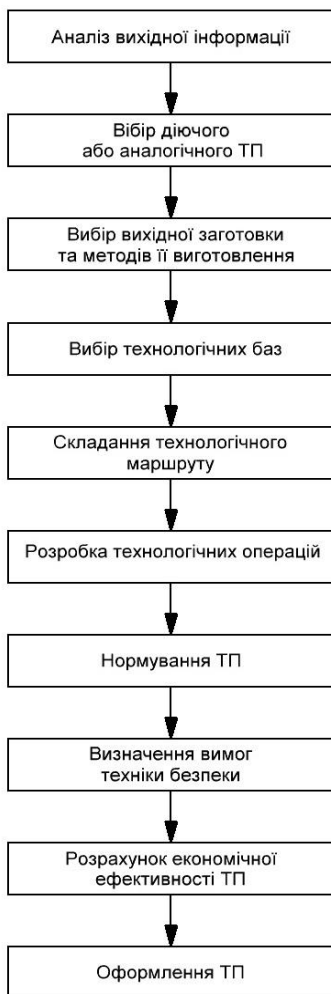


Рисунок 1.9 – Основні етапи розробки технологічних процесів

При проектуванні операцій за методом диференціації переходів, коли операція складається з малого числа простих переходів, забезпечується більша гнучкість виробництва, що важливо при частій зміні виробів. Більш просте обладнання і оснащення сприяють скороченню термінів підготовки виробництва нових виробів.

Остаточоно вибираються засоби технологічного оснащення, а також механізації і автоматизації елементів процесу і внутрішньоцехового транспортування.

7. *Нормування технологічного процесу.* Розраховуються норми часу і витрати матеріалу. Обґрунтовується професія виконавця і визначається розряд робіт.
8. *Визначення вимог техніки безпеки.* Встановлюються вимоги безпеки і виробничої санітарії в умовах виробництва (шум, вібрації і т. д.) Розробляються вимоги, вибираються методи і засоби забезпечення стійкості природного середовища.
9. *Розрахунок економічної ефективності технологічних процесів.* Обирається оптимальний варіант технологічного процесу з декількох аналогічних. Вибір проводиться на основі методики розрахунку економічної ефективності.
10. *Оформлення технологічного процесу.* Проводиться оформлення та нормоконтроль технологічної документації на основі вимог стандартів ЄСТД, а також узгодження документації з усіма зацікавленими службами і її затвердження.

Комплект форм документів, що застосовуються на підприємстві, може містити *форми загального призначення, форми спеціального призначення* та інші форми технологічних документів.

До *форм загального призначення* відносять такі основні документи:

- *титульний лист* – призначений для оформлення комплекта (комплектів) технологічної документації на виготовлення чи ремонт приладу, на технологічні процеси виготовлення чи ремонту виробу (складових частин виробу), або

окремих технологічних документів. Є першим листом;

- *карту ескізів* – графічний документ, що містить ескізи, схеми і таблиці, та призначений для пояснювання виконання технологічного процесу, операції чи переходу виготовлення (ремонту) приладу або його складових частин, включаючи контроль та переміщення;
- *технологічну інструкцію* – документ, що призначено для опису технологічних процесів, методів та прийомів, що повторюються при виготовленні (ремонту) приладу або його складових частин, правил експлуатації з метою скорочення об'єму технологічної документації, що розроблюється.

До форм спеціального призначення відносять:

- *маршрутну карту* – документ, призначений для маршрутного чи маршрутно-операційного опису технологічного процесу чи вказання повного складу технологічних операцій при операційному описі виготовлення (ремонту) приладу чи його складових частин, включаючи контроль та переміщення за всіма операціями різноманітних технологічних методів у технологічній послідовності з вказанням даних про обладнання, технологічне оснащення, матеріальні нормативи та трудові витрати. Є обов'язковим документом. Допускається розробка на окремі види робіт, застосування спільно з відповідною картою технологічної інформації, замість карти технологічного процесу, з операційним описом всіх операцій і повним зазначенням необхідних технологічних режимів в графі «Найменування і зміст операції». Допускається замість маршрутної карти використовувати відповідну карту технологічного процесу;
- *карту технологічного процесу* – документ, призначений для операційного опису технологічного процесу виготовлення або ремонту приладу (складових частин) в технологічній послідовності за всіма операціями одного виду формування, обробки, складання або ремонту, із

зазначенням переходів, технологічних режимів і даних про засоби технологічного оснащення, матеріальні і трудові витрати;

- *карту типового (групового) технологічного процесу* – документ, призначений для опису типового (групового) технологічного процесу виготовлення або ремонту приладів (складових частин) в технологічній послідовності за всіма операціями одного виду формоутворення, обробки, складання або ремонту, із зазначенням переходів і загальних даних про засоби технологічного оснащення, матеріальні і трудові витрати. Застосовується спільно з відомістю деталей (складових одиниць) до типового (групового) технологічного процесу (операції);
- *операційну карту* – документ, призначений для опису технологічної операції із зазначенням послідовного виконання переходів, даних про засоби технологічного оснащення, режими і трудові витрати. Застосовується при розробці одиничних технологічних процесів;
- *карту типової (групової) операції* – документ, призначений для опису типової (групової) технологічної операції із зазначенням послідовності виконання переходів і загальних даних про засоби технологічного оснащення і режими. Застосовується спільно з відомістю деталей (складових одиниць) до типового (групового) технологічного процесу (операції);
- *карту технологічної інформації* – документ, призначений для вказівки додаткової інформації, необхідної при виконанні окремих операцій (технологічних процесів) та пов'язаної з застосуванням унікальних засобів технологічного оснащення, прогресивних методів виготовлення (ремонт) приладу. Допускається застосовувати при розробці типових (групових) технологічних процесів для вказівки змінної інформації з прив'язкою до позначення приладу (складової частини);
- *комплектівочну карту* – документ, призначений для

- зазначення даних про деталі, складальні одиниці і матеріали, що входять в комплект приладу, що складається, і застосовується при розробці технологічних процесів складання. Допускається застосовувати для зазначення даних про допоміжні матеріали в інших технологічних процесах;
- *техніко-нормувальну карту* – документ, призначений для розробки розрахункових даних до технологічної операції за нормами часу (виробітку), опису виконуваних прийомів. Застосовується при вирішенні задач нормування трудовитрат;
 - *карту розрахунку та кодування інформації* – документ, призначений для розрахунку та кодування інформації, що використовується при розробці керуючої програми для верстатів з програмним керуванням;
 - *карту наладки* – документ, призначений для вказівки додаткової інформації до технологічних процесів (операцій) з налагодження засобів технологічного оснащення. Застосовується при багатопозиційній обробці для верстатів з програмним керуванням, при групових методах обробки і т.п.;
 - *відомість технологічних маршрутів* – документ, призначений для зазначення технологічного маршруту виготовлення або ремонту приладу (складових частин) по підрозділам підприємства і застосовується для вирішення технологічних і виробничих завдань;
 - *відомість оснастки* – документ, призначений для зазначення технологічної оснастки, що застосовується при виконанні технологічного процесу виготовлення або ремонту приладу (складових частин);
 - *відомість обладнання* – документ, призначений для вказівки обладнання, необхідного для виготовлення або ремонту приладу (складових частин);
 - *відомість матеріалів* – документ, призначений для зазначення даних про подетальні норми витрат матеріалів, про заготовки, технологічні маршрути проходження приладу

(складових частин), що виготовляється або ремонтується. Застосовується для вирішення завдань з нормування матеріалів;

- *відомість специфікованих норм витрат матеріалів* – документ, призначений для зазначення даних про норми витрат матеріалів для виготовлення або ремонту приладу і застосовується для вирішення завдань по нормуванню витрат матеріалів на виріб;
- *відомість питомих норм витрат матеріалів* – документ, призначений для зазначення даних про питомі норми витрат матеріалів, що використовуються при виконанні технологічних процесів і операцій виготовлення або ремонту приладу (складових частин), і застосовується для вирішення завдань з нормування витрат матеріалів;
- *технологічна відомість* – документ, призначений для комплексного зазначення технологічної та організаційної інформації, що використовується перед розробкою комплексу (комплектів) документів на технологічні процеси (операції), і застосовується на одному з перших етапів технологічної підготовки виробництва;
- *відомість застосовності* – документ, призначений для зазначення застосовності повного складу деталей, складальних одиниць, засобів технологічного оснащення і ін. Застосовується для вирішення завдань технологічної підготовки виробництва;
- *відомість складання виробу* – документ, призначений для зазначення складу деталей і складальних одиниць, необхідних для складання виробу в порядку ступеня входимості, їх застосовності і кількісного складу;
- *відомість операцій* – документ, призначений для операційного опису технологічних операцій одного виду формування, обробки, складання і ремонту приладу в технологічній послідовності із зазначенням переходів, технологічних режимів і даних про засоби технологічного оснащення і норм часу. Застосовується спільно з маршру-

- тною картою або картою технологічного процесу;
- *відомість деталей (складових одиниць) до типового (групового) технологічного процесу (операції)* – документ, призначений для зазначення складу деталей (складальних одиниць), що виготовляються або ремонтуються за типовим (груповим) технологічним процесом (операцією), і змінних даних про матеріали, засоби технологічного оснащення, режими обробки і трудовитрати;
 - *відомість дефектації* – документ, призначений для зазначення приладів (складових частин), що підлягають ремонту, з визначенням виду ремонту, дефектів і для вказівки додаткової технологічної інформації. Застосовується при ремонті виробів (складових частин);
 - *відомість технологічних документів* – документ, призначений для зазначення повного складу документів, необхідних для виготовлення або ремонту приладів (складових частин), і застосовується при передачі комплекту документів з одного підприємства на інше;
 - *відомість власників оригіналів* – документ, призначений для зазначення повного складу документів, необхідних при передачі комплекту документів на мікрофільмування.

1.8 Виробничі цикли

Виробничий цикл – це календарний період часу, протягом якого матеріал, заготовка, або інший предмет, що оброблюється, проходить всі операції виробничого процесу або певної його частини і перетворюється в готову продукцію. Він виражається в календарних днях або при малій трудомісткості виробу – в годинах.

Виробничий цикл розраховується, як сума часу робочого процесу та часу перерв

$$T_{Ц} = T_{РП} + T_{П}, \quad (1.22)$$

де $T_{Ц}$ – виробничий цикл;

$T_{рп}$ – час робочого процесу;

$T_{п}$ – час перерв.

Структура виробничого циклу представлена на рис. 1.10.

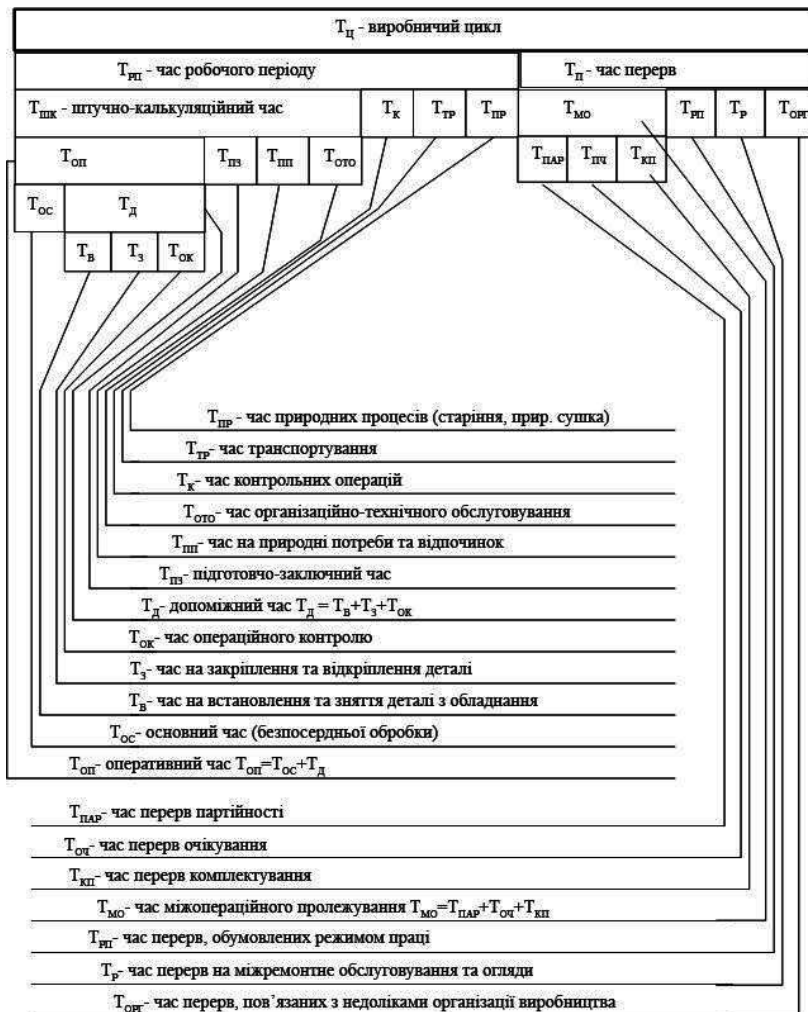


Рисунок 1.10 – Структура виробничого циклу

T_{OTO} – час організаційного і технічного обслуговування (отримання і здача інструменту, прибирання робочого місця, обслуговування устаткування і т.п.).

Штучно-калькуляційний час, в свою чергу, розраховується за наступним виразом

$$T_{ШК} = T_{ОП} + T_{ПЗ} + T_{ПП} + T_{OTO}, \quad (1.23)$$

де $T_{ОП}$ – оперативний час;

$T_{ПЗ}$ – підготовчо-заключний час при обробці нової партії деталей;

$T_{ПП}$ – час на відпочинок і природні потреби робітників;

Оперативний час складається з основного і допоміжного часу

$$T_{ОП} = T_{ОС} + T_{Д}, \quad (1.24)$$

де $T_{ОС}$ – основний час;

$T_{Д}$ – допоміжний час.

Основний час – це безпосередній час обробки або виконання роботи.

Допоміжний час $T_{Д}$ розраховується наступним чином

$$T_{Д} = T_{В} + T_{З} + T_{ОК}, \quad (1.25)$$

де $T_{В}$ – час встановлення і зняття деталі (складальної одиниці) з обладнання;

$T_{З}$ – час закріплення і відкріплення деталі в пристосуванні;

$T_{ОК}$ – час операційного контролю (із зупинкою устаткування) в ході операції.

Час перерв $T_{П}$ обумовлено режимом праці ($T_{РП}$), міжопераційним пролежування деталі ($T_{МО}$), часом перерв на міжремонтне обслуговування і огляди устаткування ($T_{Р}$) і часом перерв, пов'язаних з недоліками організації виробництва ($T_{ОРГ}$)

$$T_{П} = T_{РП} + T_{МО} + T_{Р} + T_{ОРГ}. \quad (1.26)$$

Час міжопераційного пролежування (T_{MO}) визначається часом партійності ($T_{ПАР}$), перерв очікування ($T_{ОЧ}$) і перерв комплектування ($T_{КП}$)

$$T_{MO} = T_{ПАР} + T_{ОЧ} + T_{КП}. \quad (1.27)$$

Перерви партійності ($T_{ПАР}$) виникають при виготовленні виробів партіями і обумовлені пролежуванням оброблених деталей до готовності всіх деталей в партії на технологічній операції.

Перерви очікування ($T_{ОЧ}$) викликаються неузгодженою тривалістю суміжних операцій технологічного процесу.

Перерви комплектування ($T_{КП}$) виникають при переході від однієї фази виробничого процесу до іншої.

Таким чином, в загальному вигляді виробничий цикл виражається формулою

$$T_{Ц} = T_{O} + T_{ПР} + T_{MO} + T_{РП} + T_{P} + T_{ОРГ}. \quad (1.28)$$

При розрахунку виробничого циклу необхідно враховувати перекриття деяких елементів часу або технологічним часом, або часом міжопераційного пролежування. Час транспортування предметів праці ($T_{ТР}$) і час вибіркового контролю якості ($T_{К}$) є елементами, що перекриваються.

Виходячи зі сказаного, виробничий цикл можливо виразити формулою

$$T_{Ц} = (T_{ШК} + T_{MO}) \cdot \kappa_{ПР} \cdot \kappa_{ОО} + T_{ПР}, \quad (1.29)$$

де $\kappa_{ПР}$ – коефіцієнт переведення робочих днів у календарні (відношення числа календарних днів (D_K) до числа робочих днів у році (D_P), $\kappa_{ПР} = \frac{D_K}{D_P}$);

$\kappa_{ОО}$ – коефіцієнт, що враховує перерви на міжремонтне обслуговування обладнання і організаційні неполадки.

У серійному виробництві вироби виготовляються партіями.

Виробнича партія (n) – це група виробів одного найменування і типорозміру, що запускаються у виробництво протягом певного інтервалу часу при одному і тому ж підготовчо-заключному часі на операцію.

Операційна партія – виробнича партія або її частина, яка надходить на робоче місце для виконання технологічної операції.

Розрізняють простий і складний виробничі цикли.

Простий виробничий цикл – це цикл виготовлення деталі.

Складний виробничий цикл – цикл виготовлення виробу.

Тривалість виробничого циклу в великій мірі залежить від способу передачі деталі (виробу) з операції на операцію. Існують три види руху деталі (виробів) у процесі їх виготовлення:

- послідовний;
- паралельний;
- паралельно-послідовний.

При *послідовному типі руху* кожна наступна операція починається тільки після закінчення обробки всієї партії деталей на попередній операції (рис. 1.11).

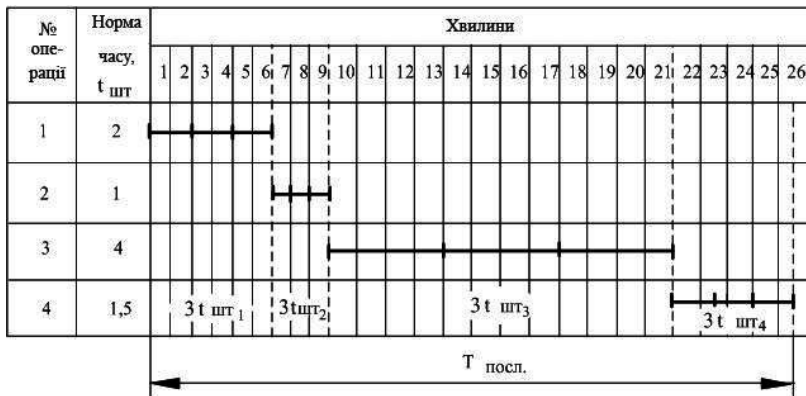


Рисунок 1.11 – Операційний цикл при послідовному русі партії деталей

У такому випадку операційний цикл партії, що складається з n -кількості деталей, оброблених на m -кількості операціях

$$T_{ПОСЛ} = n \cdot \sum_{i=1}^m t_{ШТ_i}, \quad (1.30)$$

де n – кількість деталей у виробничій партії (шт);

m – число операцій технологічного процесу;

$t_{ШТ_i}$ – норма часу на виконання i -ї операції (хв.).

Якщо на всіх або окремих операціях є паралельні робочі місця, то операційний цикл визначається по формулі

$$T_{ПОСЛ} = n \cdot \sum_{i=1}^m \frac{t_{ШТ_i}}{C_{PM_i}}, \quad (1.31)$$

де C_{PM_i} – кількість робочих місць, зайнятих виготовленням партії деталей на кожній операції.

При послідовному типі руху деталей (вироби) відсутні перерви в роботі устаткування на кожній операції, можливе високе завантаження устаткування протягом зміни, але виробничий цикл має найбільшу величину, що зменшує оборотність оборотних коштів.

Паралельний вид руху характеризується передачею деталей (виробів) на наступну операцію негайно після виконання попередньої операції незалежно від готовності решти партії. Деталі передаються з операції на операцію поштучно або операційними партіями, на які ділиться виробнича партія. Процес відбувається безперервно, якщо досягнута повна рівність або кратність виконання операцій у часі, що характерно для поточкових ліній.

Паралельний вид руху деталі (виробів) є найбільш ефективним, але можливості його застосування обмежені, так як обов'язковою умовою такого руху є рівність або кратність тривалості виконання операцій, про що було сказано вище. В іншому випадку неминучі втрати часу (перерви) у роботі обладнання та робітника.

Відповідно до графіку руху партії деталей при паралельному русі, що наведено на рис. 1.12, операційний цикл визначається наступним чином

$$T_{ПАР} = n \cdot \sum_{i=1}^m t_{шт_i} + (n-1) \cdot t_{шт_{max}}, \quad (1.32)$$

де $t_{шт_{max}}$ – час виконання операції, що є найтривалішою у технологічному процесі (хв).

При передачі деталей (виробів) операційними партіями (p) розрахунок ведеться за формулою

$$T_{ПАР} = p \cdot \sum_{i=1}^m \frac{t_{шт_i}}{C_{PM_i}} + (n-p) \frac{t_{шт_{max}}}{C_{PM_{max}}}, \quad (1.33)$$

де p – розмір операційної партії (в шт.).

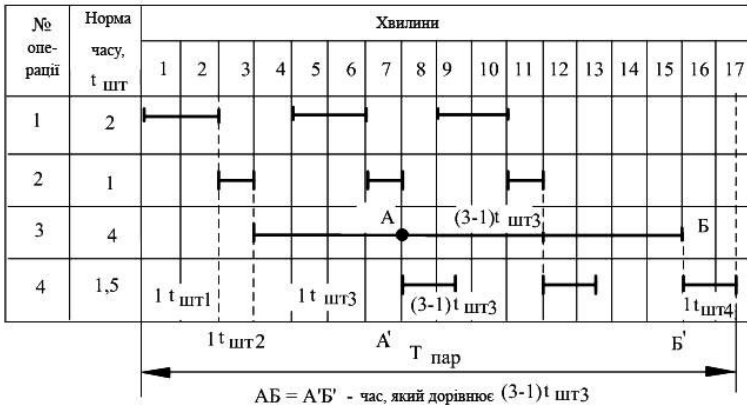


Рисунок 1.12 – Операційний цикл при паралельному русі партії деталей

Паралельно-послідовний вид руху полягає в тому, що виготовлення виробів на наступній операції починається до закінчення виготовлення всієї партії на попередній операції з таким розрахунком, щоб робота на кожній операції по даній партії в цілому йшла без перерв. На відміну від паралельного виду руху тут відбувається лише часткове суміщення в часі виконання суміжних операцій.

Схема паралельно-послідовного виду руху показана на рис.1.13.

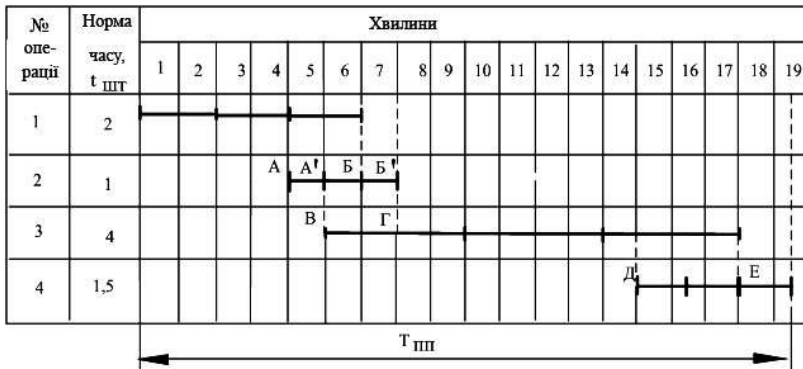


Рисунок 1.13 – Операційний цикл при паралельно-послідовному русі партії деталей

У практиці існує два види поєднання суміжних операцій у часі:

- час виконання наступної операції більше часу виконання попередньої операції;
- час виконання наступної операції менше часу виконання попередньої операції.

У першому випадку є можливість застосовувати паралельний вид руху деталей і повністю завантажити робочі місця.

У другому випадку прийнятний паралельно-послідовний вид руху з максимально можливим суміщенням в часі виконання обох операцій. Максимально поєднані операції, при цьому, відрізняються одна від одної на час виготовлення останньої деталі (або останньої операційної партії) на наступній операції.

АБ, ВГ (рівне А'Б'), ДЕ – час наступної операції, що перебивається часом попередньої операції

$$T_{шт} = n \cdot \sum_{i=1}^m t_{шт_i} - (AB + BГ + DE). \quad (1.34)$$

Паралельно-послідовний вид руху деталей (виробів) забезпечує роботу обладнання і робітника без перерв. Виробничий цикл при цьому виді більший в порівнянні з паралельним, але менше, ніж при послідовному.

Виробничий цикл виробу $T_{ЦВ}$ може бути розрахований за формулою

$$T_{ЦВ} = T_{ЦД} + T_{СР}, \quad (1.35)$$

де $T_{ЦД}$ – виробничий цикл виготовлення провідної деталі;
 $T_{СР}$ – виробничий цикл складальних робіт.

Виробничий цикл використовується як норматив при оперативному плануванні виробництва, фінансовому управлінні і інших планово-виробничих розрахунках.

Виробничий цикл ($T_{Ц}$) безпосередньо пов'язаний з нормативом оборотних коштів

$$T_{ЦД} = \frac{O_{OK}}{Q_{Д}}, \quad (1.36)$$

де O_{OK} – обсяг оборотних коштів у незавершеному виробництві (грн.);

$Q_{Д}$ – одноденний випуск продукції (грн.).

Скорочення виробничого циклу має велике економічне значення відповідно наступному:

- скорочується оборотність оборотних коштів за рахунок скорочення обсягів незавершеного виробництва;
- збільшується фондвіддача основних виробничих фондів;
- знижується собівартість виробів за рахунок скорочення умовно-постійної частини витрат на один виріб і т.д.

Тривалість виробничого циклу залежить від двох найважливіших груп чинників:

- технічного рівня виробництва;
- організації виробництва.

Ці обидві групи факторів взаємообгрунтовують і доповнюють один одного.

Основними напрямками зниження виробничого циклу є:

- вдосконалення технології;
- застосування більш продуктивних обладнання, інструментів, засобів технологічного оснащення;
- автоматизація виробничих процесів і застосування гнучких інтегрованих процесів;

- спеціалізація і кооперування виробництва;
- організація поточного виробництва;
- гнучкість (багатофункціональність) персоналу;
- багато інших чинників, що впливають на тривалість виробничого циклу.

1.9 Організація поточного виробництва

Поточне виробництво є найбільш ефективною формою організації виробничого процесу.

Ознаки поточного виробництва:

- закріплення одного або обмеженої кількості найменувань виробів за певною групою робочих місць;
- ритмічна повторюваність узгоджених у часі технологічних і допоміжних операцій;
- спеціалізація робочих місць;
- розташування обладнання і робочих місць по ходу технологічного процесу;
- застосування спеціальних транспортних засобів для міжопераційної передачі виробів.

При поточному виробництві реалізуються принципи:

- спеціалізації;
- паралельності;
- пропорційності;
- точності;
- безперервності;
- ритмічності.

Поточне виробництво забезпечує найвищу продуктивність праці, низьку собівартість продукції, найбільш короткий виробничий цикл.

Основою (первинна ланка) поточного виробництва є *поточна лінія*.

Розташування поточних ліній (планування) повинне забезпечити:

- прямоточність і найкоротший шлях прямування виробу;
- раціональне використання виробничих площ;

- умови для транспортування матеріалів і деталей до робочих місць;
- зручність підходів для ремонту і обслуговування;
- достатність площ і оснастки для зберігання необхідних запасів матеріалів і готових деталей;
- можливість легкого видалення відходів виробництва.

Приклади розташування обладнання і шляхи руху виробів наведені на рис. 1.14 і рис.1.15.

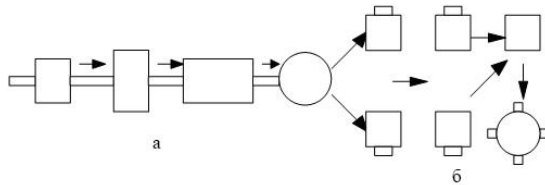


Рисунок 1.14 – Рух виробів на поточній лінії при розташуванні обладнання: а – односторонньому; б – двосторонньому

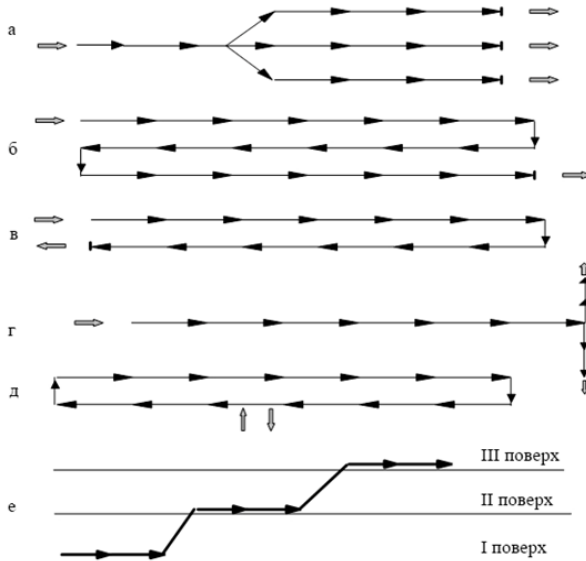


Рисунок 1.15 – Схеми руху виробів по поточних лініях:
 а – що розгалужується; б – зигзагоподібна;
 в – П-подібна; г – Т-подібна; д – замкнута; е – багаторівнева

У радіоелектронному приладобудуванні широко застосовуються *конвеєри* – транспортні засоби, що служать для транспортування виробів, або транспортування і виконання на ньому робочих операцій і регламентують ритм роботи поточної лінії, тобто, які відіграють організуючу роль у потоці. Якщо конвеєр служить для переміщення виробів і підтримки ритму роботи лінії шляхом чіткого адресування виробів по робочих місцях, він називається *розподільним*, якщо він служить і місцем виконання операції – називається *робочим*.

У поточному виробництві застосовуються різноманітні транспортні засоби (табл.1.3).

При проектуванні і організації поточних ліній виконуються розрахунки показників, що визначають регламент роботи лінії і методи виконання технологічних операцій.

Таблиця 1.3

Технологічні характеристики типів виробництва

Ознака	Характеристика			
Призначення	Транспортери		Конвеєри	
Вид приводу	Безприводні	Приводні	Автономні	
	Склізи, жолоби, візки.	З електроприводом, гідроприводом, пневмоприводом.	Промислові роботи, робо трейлери з бортовими комп'ютерами та програмним управлінням.	
Принцип дії	Механічні транспортери, пневмотранспорт, гідротранспорт, електромагнітний транспорт, хвильовий, гравітаційний, на повітряній подушці.			
Конструкція	Транспортери та конвеєри: стрічкові, роликові, шнекові, пластинчасті, ланцюгові, візкові, тросові (з тягнучою шайбою), супутникові (палетні).			
Розташування в просторі	Горизонтально-замкнуті	Вертикально-замкнуті	Підвісні	Змішані (комбіновані)
Неперервність дії	Безперервні		Пульсуючі	
Функція	Розподільні конвеєри		Робочі конвеєри	

Такт поточної лінії – проміжок часу між випуском виробів (деталей, складальних одиниць) з останньої операції або їх запуском на першу операцію потокової лінії.

Для розрахунку такту поточної лінії необхідні наступні вихідні дані:

- виробниче завдання на рік (місяць, зміну);
- плановий фонд робочого часу за цей же період;
- плановані технологічні післяопераційні втрати.

Такт потокової лінії розраховується за формулою

$$r = \frac{F_D}{Q_{ВИП}}, \quad (1.37)$$

де r – такт потокової лінії (хв.);

F_D – дійсний річний фонд часу роботи лінії в планованому періоді (хв.);

$Q_{ВИП}$ – планове завдання на той же період часу (шт.).

Дійсний річний фонд часу роботи лінії в планованому періоді розраховується наступним чином

$$F_D = D_{РАБ} + d_{ЗМ} + T_{ЗМ} + \kappa_{ПЕР} + \kappa_{РЕМ}, \quad (1.38)$$

де $D_{РАБ}$ – число робочих днів у році;

$d_{ЗМ}$ – кількість робочих змін на добу;

$T_{ЗМ}$ – тривалість зміни (хв.);

$\kappa_{ПЕР}$ – коефіцієнт, що враховує плановані перерви;

$\kappa_{РЕМ}$ – коефіцієнт, що враховує час планових ремонтів.

Коефіцієнт планових перерв розраховується за формулою

$$\kappa_{ПЕР} = \frac{T_{ЗМ} - T_{ПЕР}}{T_{ЗМ}}, \quad (1.39)$$

де $T_{ПЕР}$ – час планованих внутрізмінних перерв.

Коефіцієнт планових ремонтів розраховується аналогічним способом.

Класифікація поточних ліній наведена в табл. 1.4.

При неминучих технологічних втратах (планований вихід придатних), такт T розраховується за формулою

$$r = \frac{F_D}{Q_{ЗАП}}, \quad (1.40)$$

де $Q_{ЗАП}$ – кількість виробів, що запускаються на поточну лінію в планованому періоді (шт)

$$Q_{ЗАП} = Q_{ВИП} \cdot K_{ЗАП}, \quad (1.41)$$

де $K_{ЗАП}$ – коефіцієнт запуску виробів на потокову лінію, що дорівнює величині, зворотній коефіцієнту виходу придатних виробів α .

Таблиця 1.4

Класифікація поточних ліній

№	Ознака	Характеристика
1	2	3
1	Ступінь механізації технологічних операцій	1.1. Механізовані 1.2. Комплексно-механізовані 1.3. Напівавтоматичні 1.4. Автоматичні 1.5. Гнучкі інтегровані
2	Кількість типів одночасно оброблюваних виробів, і виробів, що складаються	2.1. Однономенклатурні (обробка виробів одного найменування) 2.2. Багатономенклатурні (обробка виробів декількох найменувань одночасно або послідовно)
3	Характер руху виробів по операціях виробничого процесу	3.1. Безперервно-потокові (всі операції синхронізовані в часі, тобто рівні або кратні такту ліній) 3.2. Безперервно-потокові (перерви в ході виробничого процесу і неможливість синхронізувати технологічні операції в часі)

1	2	3
4	Характер роботи конвеєра	4.1. З робочим конвеєром, коли операції виконуються без зняття виробів з конвеєра 4.2. З розподільчим конвеєром, коли конвеєр здійснює доставку виробів на робоче місце, а операція виконується зі зняттям виробів з конвеєра 4.3. З безперервно рухомих конвеєром 4.4. З пульсуючим конвеєром

Вихід придатних виробів в цілому по поточній лінії визначається як добуток коефіцієнтів виходу придатних по всіх операціях лінії

$$\alpha = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \dots \cdot \alpha_n. \quad (1.42)$$

Розрахунок кількості обладнання потокової лінії ведеться по кожній операції технологічного процесу

$$W_{pi} = \frac{t_{um.i}}{r}, \quad (1.43)$$

або

$$W_{pi} = \frac{t_{um.i}}{r} \cdot k_{3АП.i}, \quad (1.44)$$

де W_{pi} – розрахункова кількість обладнання (робочих місць) на i -й операції потокової лінії;

$t_{um.i}$ – норма штучного часу на i -у операцію (хв);

$k_{3АП.i}$ – коефіцієнт запуску деталі на i -у операцію.

Прийняте кількість обладнання або робочих місць на кожній операції W_{Pi} визначається шляхом округлення розрахункового їх кількості W_{pi} до найближчого більшого цілого числа.

Коефіцієнт завантаження устаткування (робочих місць) визначається як

$$K_{3_i} = \frac{W_{Pi}}{W_{\Pi i}}. \quad (1.45)$$

Кількість обладнання (робочих місць) на всій потокової лінії

$$W_{Л} = \sum_{i=1}^{q_{OP}} W_{\Pi i}. \quad (1.46)$$

де q_{OP} – число операцій технологічного процесу.

Явочна кількість робочих ($P_{ЯВ}$) дорівнює кількості робочих місць на потокової лінії з урахуванням багатостатного обслуговування

$$P_{ЯВ} = \sum_{i=1}^{q_{OP}} W_{\Pi} \cdot K_{МО}. \quad (1.47)$$

де $K_{МО}$ – коефіцієнт багатостатного обслуговування

$$K_{МО} = \frac{\sum_{i=1}^{q_{OP}} P_i}{\sum_{i=1}^{q_{OP}} W_{\Pi}}, \quad (1.48)$$

де $\sum P_i$ – чисельність робітників ділянки.

Загальна кількість робочих на поточних лініях визначається як середньооблікова

$$P_{СП} = \left(1 + \frac{\delta}{100}\right) \sum_{i=1}^{q_{OP}} P_{ЯВ} \cdot d_{СМ}, \quad (1.49)$$

де $P_{СП}$ – середньооблікова кількість робітників потокової лінії;

δ – відсоток втрат робочого часу (відпустки, хвороби і т.д.);

d_{CM} – кількість змін.

Швидкість руху конвеєра (V):

- при безперервному русі конвеєра

$$V = \frac{L}{r}, \quad (1.50)$$

де L – відстань між центрами двох суміжних робочих місць, тобто крок конвеєра (м);

- при пульсуючому русі конвеєра

$$V = \frac{L}{t_{TP}}, \quad (1.51)$$

де t_{TP} – час транспортування виробу з однієї операції на іншу.

Заділ – виробничий запас матеріалів, заготовок або складових частин виробів для забезпечення безперебійного протікання виробничих процесів на потокових лініях.

Розрізняють такі види заділів:

- технологічний;
- транспортний;
- резервний (страховий);
- оборотний міжопераційний.

Технологічний заділ (Z_T) – деталі (складальні одиниці, виробу), що знаходяться безпосередньо в процесі обробки

$$Z_T = \sum_{i=1}^{Ч_{OP}} W_{PMi} \cdot n_i, \quad (1.52)$$

де W_{PMi} – число робочих місць на кожній операції;

n_i – кількість деталей, одночасно обслуговуваних на i -му

робочому місці.

Транспортний заділ (Z_{TP}) – кількість деталей, що знаходяться в процесі переміщення між операціями і розташованих в транспортних пристроях.

При безперервному русі конвеєра

$$Z_{TP} = \frac{L_{PK} \cdot P}{V}, \quad (1.53)$$

де L_{PK} – довжина робочої частини конвеєра (м);

V – швидкість руху конвеєра (м/хв);

P – кількість виробів в операційній партії (шт).

При періодичному транспортуванні

$$Z_{TP} = P \sum_{i=1}^{q_{оп}} W_{PMi} - 1 / \quad (1.54)$$

Транспортний і технологічний заділи залежать від параметрів обладнання, технологічних процесів.

Резервний (страховий) заділ (Z_P) створюється для нейтралізації наслідків, пов'язаних з випадковим характером виходу виробів у брак, перебоїв у роботі обладнання та ін.

$$Z_P = \sum_{i=1}^{q_{оп}} \frac{T_{ПЕР}}{r}, \quad (1.54)$$

де $T_{ПЕР}$ – час можливого перебою надходження виробів з даної операції на операцію, що підлягає страхуванню (хв);

r – такт потокової лінії (хв).

Оборотний міжопераційний заділ на лінії (Z_{MO}) – кількість заготовок (деталей, складальних одиниць), що знаходяться між операціями лінії і утворюються внаслідок різної продуктивності сумісних робочих місць для вирівнювання роботи ліній. Розмір міжопераційного заділу постійно коливається від макси-

муму до нуля і навпаки. Максимальна величина міжопераційного оборотного заділу визначається різницею продуктивностей суміжних операцій

$$Z_{MO} = \frac{T_{СП} \cdot W_{OB_{i-1}}}{t_{ШТ_{i-1}}} - \frac{T_{СП} \cdot W_{OB_i}}{t_{ШТ_i}}, \quad (1.56)$$

де $T_{СП}$ – час спільної роботи обладнання на обох операціях (хв);

$W_{OB_{i-1}}$, W_{OB_i} – кількість обладнання на подають і споживають суміжних операціях, що працює в період $T_{СП}$ (шт);

$t_{ШТ_{i-1}}$, $t_{ШТ_i}$ – норма часу виконання операції.

Синхронізація – процес вирівнювання тривалості операції технологічного процесу відповідно до такту потокової лінії. Час виконання операції має дорівнювати такту лінії або бути кратним йому.

Методи синхронізації:

- диференціація операцій;
- концентрація операцій;
- встановлення додаткового обладнання;
- інтенсифікація роботи обладнання (збільшення режимів обробки);
- застосування прогресивного інструменту і оснастки;
- поліпшення організації обслуговування робочих місць і т.д

1.10 Наукові основи автоматизації виробничих процесів

Автоматизація виробничих процесів, створення і впровадження автоматизованого технологічного устаткування висунули ряд науково-технічних проблем і поклали початок новим науковим напрямкам.

Науковою основою автоматизації виробничих процесів є *теорія продуктивності машин і праці*. Теорія продуктивності дозволяє не тільки вирішувати практичні задачі розрахунку і

проектування автоматизованого устаткування, але і проблемні питання аналізу й оцінки шляхів автоматизації, вибору найбільш перспективних її напрямків.

Математичну основу теорії продуктивності складають рівняння, що пов'язують показники продуктивності машин і продуктивності праці з технологічними, конструктивними, структурними, вартісними й іншими показниками устаткування.

Сутність методу полягає в тому, що математично безпосередньо зв'язуються між собою технічні й економічні показники. Такі порівняння за продуктивністю й ефективністю являють собою в сукупності математичну модель (ММ) автоматів і автоматичних ліній. Тим самим з'являється можливість кількісно визначати, яким чином впливають будь-які зміни техніко-економічних параметрів, що аналізуються, варіантів на їх економічні показники.

Структурну схему математичної моделі наведено на рис. 1.16.

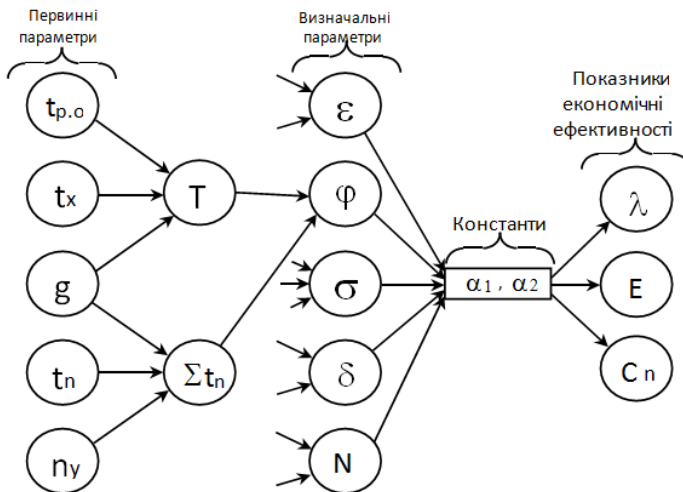


Рисунок 1.16 – Структурна схема ММ взаємозв'язку показників продуктивності й ефективності обладнання автоматичних ліній

Важливою перевагою цієї ММ є її *реверсованість*. Так, знаючи фіксовані числові значення визначальних параметрів, починаючи із самих первинних, можливо визначити відповідні значення економічних показників і тим самим вибрати найкращі варіанти з числа технічно можливих – пряма задача. З іншого боку, задаючись необхідними або оптимальними значеннями економічних показників (наприклад, припустимими або мінімальними строками окупності), можливо, вирішувати рівняння в зворотному напрямку, отримуючи необхідні значення технічних чи економічних параметрів, аж до первинних.

Приведена ММ містить у собі:

- *первинні параметри*, що характеризують технологію, конструкцію і компонування машин, рівень їх експлуатації. Так, для продуктивності машин первинними параметрами є: режими і загальна тривалість виготовлення $m=t_{po}$, час холостих ходів циклу t_x , позациклові втрати конструктивних елементів t_n , кількість робочих позицій g і ділянок, на які поділено лінію n_y . Вони визначають чисельно тривалість робочого циклу системи T і сумарні позациклові втрати $\sum t_n$ як характеристику працездатності;
- *визначальні варіаційні параметри* – техніко-економічні параметри порівнюваних варіантів за продуктивністю Φ , вартістю σ , кількістю робочих, що обслуговують ε , питомими експлуатаційними витратами δ , строком служби N та ін.;
- *постійні для даної моделі параметри*, що входять у формули як константи, наприклад, нормативні показники амортизаційних відрахувань α_1 і т. ін.;
- *показники економічної ефективності* – зростання продуктивності праці λ , коефіцієнт ефективності капіталовкладень E , приведені витрати C_n та ін.

Таким чином, методи теорії продуктивності дозволяють незалежно від прийнятих критеріїв економічної ефективності, типу устаткування і його специфіки вирішувати наступні задачі

розрахунку і проектування:

- вибирати економічно найбільш ефективний варіант на основі інженерного аналізу конкретних техніко-економічних параметрів порівнюваних варіантів (продуктивності і надійності в роботі, вартості, кількості обслуговуючих робітників, строків проектування та служби і т. ін.);
- визначати, виходячи з необхідного економічного ефекту, яким сполученням технічних характеристик повинні характеризуватися автомати й автоматичні лінії, що проектуються, кількісно оцінювати граничні умови автоматизації;
- оптимізувати технічні характеристики машин, що проектуються, за економічними критеріями.

Підвищення будь-яких економічних показників нової техніки, кількісно визначаючих технічний прогрес виробництва, є наслідком удосконалювання тих чи інших технічних або економічних характеристик (інтенсифікація режимів обробки, підвищення надійності механізмів і пристроїв, зниження вартості завдяки уніфікації). Користуючись ММ теорії продуктивності, можливо кількісно аналізувати, як впливають ті чи інші напрямки розвитку технології і конструювання на технічний прогрес, тобто оцінювати перспективність різних напрямків автоматизації.

Через те, що у формулах теорії продуктивності машин і праці одним з визначальних варіаційних параметрів є параметр часу (строки служби, проектування і освоєння нової техніки), теорія продуктивності дозволяє кількісно аналізувати процеси розвитку техніки, перспективи технічного прогресу, у тому числі процеси морального старіння машин у часі.

Таким чином, теорія продуктивності, її математичний апарат є науковою основою вирішення проблемних і прикладних питань автоматизації виробничих процесів.

В основі теорії продуктивності машин і праці лежать наступні основні положення:

- кожна робота для свого здійснення вимагає витрат часу і праці;

- продуктивно витраченим вважається тільки той час, що витрачається на основні процеси обробки (наприклад, формоутворення, контроль, складання та ін.). Весь інший час, включаючи час на допоміжні (холості) ходи робочого циклу і позациклові простої, є непродуктивно витраченим – втратами;
- машина вважається ідеальною, якщо при високому потенціалі продуктивності, якості продукції, відсутні втрати часу на холості ходи і простої (машина безперервної дії, нескінченної довговічності й абсолютної надійності);
- для виробництва будь-яких виробів необхідні витрати минулої (упредметненої) праці на створення засобів виробництва і підтримки їх працездатності, а також живої праці на безпосереднє обслуговування технологічного устаткування;
- закономірність розвитку техніки полягає в тому, що питома вага витрат упредметненої (минулої) праці безупинно підвищується, а витрати живої праці знижуються при загальному зменшенні трудових витрат, що приходяться на одиницю продукції;
- при розробленні ТП будь-який процес виробництва, узятий сам по собі, безвідносно до руки людини, варто розділяти на складові елементи;
- продуктивність машин межі не має;
- автомати і автоматичні лінії різного технологічного призначення мають єдину основу автоматизації, що виражається в спільності цільових механізмів і систем керування, у загальних закономірностях продуктивності, надійності, економічній ефективності, у єдиних методах побудови машин, агрегування, визначення режимів обробки, оцінки прогресивності;
- при остаточному оцінюванні прогресивності нової техніки враховується фактор часу – темпи росту продуктивності праці.

Важливим фактором продуктивності праці є *витрати*

праці на створення машин, обслуговування та експлуатацію робочої машини. Ці витрати можливо представити складеними з трьох компонентів:

- одноразові витрати минулої праці T_n , необхідні для створення машин, устаткування та ін.;
- поточні витрати минулої праці T_v , що містять у собі частину упредметненої праці, затрачувану на основні й допоміжні матеріали, запчастини, електроенергію, інструменти, паливо, мастило і т. ін., необхідні для виробництва виробів. У той час, як поточні витрати минулої праці безупинно зростають пропорційно часу (рокам), тобто кількості випущеної продукції, одноразові витрати минулої праці є разовими, розрахованими на весь термін служби машин N років, тобто носять постійний характер;
- поточні витрати живої праці $T_{ж}$ здійснюються обслуговуючими робітниками, що, використовуючи засоби виробництва, створюють нові матеріальні цінності. Таким чином, виробничий процес забезпечується єдністю робочої сили і засобів виробництва – спільними річними витратами живої праці $T_{ж}$, одноразовими витратами засобів праці T_n , розрахованими на N років, і річними витратами предметів праці T_v . *Сумарні витрати* за весь термін дії засобів праці

$$T = T_n + N \cdot (T_{ж} + T_v), \quad (1.57)$$

Продуктивність суспільної праці визначається шляхом порівняння результатів трудового процесу – кількості продукції, яку було випущено, з сумарними трудовими витратами, необхідними для її випуску за деякий інтервал часу – строк служби машин N років

$$A_{II} = \frac{W}{T}, \quad (1.58)$$

де A_{II} – продуктивність праці;

W – випущена придатна продукція;

T – сумарні трудові витрати, необхідні для випуску продукції.

Через те, що одноразові трудові витрати на устаткування, будинки і споруди реалізуються поступово протягом терміну використання, продуктивність праці визначається з урахуванням фактора часу – насамперед строків служби.

Визначивши сумарні витрати T і випуск продукції W за весь строк служби, легко визначити середньорічні витрати, які найбільш широко використовуються на практиці.

Розмірність продуктивності праці в узагальненому вигляді

$$A_{II} = \left[\frac{P}{T} \right], \quad (1.59)$$

де P – продукція;

T – праця.

При практичних розрахунках розмірність продуктивності праці залежить від того, у яких одиницях обчислюються випущена продукція і трудові витрати.

Випущена придатна продукція виміряється або у фізичних величинах (штуки, одиниці довжини, маси, об'єму та ін.), або у грошовому вираженні (гривні). Сумарні трудові витрати виражаються або в одиницях абстрактної праці (людино-години, людино-дні та ін.) або в грошовому вираженні (гривні). Відповідно до цього при розрахунках продуктивність праці може мати різну розмірність.

Кількість випущеної продукції залежить від того, скільки років працює устаткування.

При постійній продуктивності устаткування

$$W = Q_p \cdot N, \quad (1.60)$$

де Q_p – річний фактичний випуск продукції.

Підставляючи значення W і T у формулу (1.58), отримуємо

$$A_{II} = \frac{Q_p \cdot N}{T_n + N \cdot (T_v + T_{жс})}, \quad (1.61)$$

Проаналізуємо отриману залежність графічно, виразивши W , T і A_{II} у функції строків служби N (рис. 1.17).

Тут N – не поточний час експлуатації машини, а можливі строки служби як змінна величина, невідома в процесі проектування.

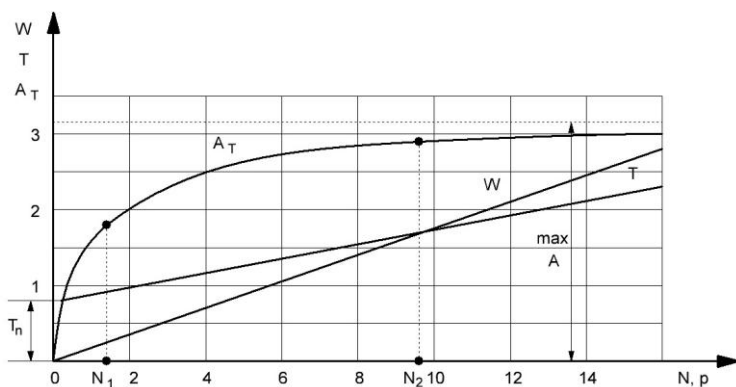


Рисунок 1.17 – Залежність випущеної продукції, експлуатаційних витрат і продуктивності праці від строків служби при незмінних експлуатаційних характеристиках

Аналіз продуктивності праці у функції строків служби показує її змінний характер навіть при незмінних техніко-економічних характеристиках (продуктивність машин, їх надійність, ступінь автоматизації й експлуатаційні витрати).

Рівень продуктивності праці при малих строках служби відносно невисокий, оскільки на порівняно малий обсяг випущеної за цей час продукції потрібні значні витрати на засоби виробництва.

Зі збільшенням строку служби продуктивність праці зростає, тому що одноразові витрати упередженої праці T_n розкладаються в цьому випадку на більший обсяг випущеної продукції.

Поданий на рис. 1.17 характер змінення продуктивності праці в залежності від строку служби показує, що при малих строках служби збільшення продуктивності праці є досить інтенсивним, потім сповільнюється і при великих термінах практично припиняється, асимптотично наближуючись до своєї межі

$$A_{II} = \lim_{N \rightarrow 0} \frac{Q_p \cdot N}{T_n + N \cdot (T_v + T_{жс})} = \frac{Q_p}{T_v + T_{жс}}, \quad (1.62)$$

Якщо строки служби машин перебувають за межами N_2 , то зростання продуктивності праці мало залежить від них, тобто практично припиняється, що може ввійти в суперечність із запланованим зростанням продуктивності суспільної праці. Звідси можливо зробити висновок, що продуктивність праці при даному рівні розвитку техніки має свої межі і щоб вийти за них, необхідно безупинно удосконалювати технологію і техніку. Інший висновок – строки служби машин визначаються не тільки їх фізичним зносом, але і характером залежності продуктивності праці від строку служби і запланованим темпом зростання продуктивності праці, тобто термінами морального зносу устаткування. Так, якщо при значеннях $0 < N < N_2$ збільшення строків служби на рік дозволяє значно підвищити продуктивність праці, то подальше їх збільшення (більше N_2) не дасть помітного зростання продуктивності праці. Таким чином, виникає питання про доцільність строків служби машин, що лежать за межами N_2 .

Формули (1.58), (1.60) і графіки (рис. 1.17) справедливі для випадків, коли експлуатаційні показники машин – кількість випущеної продукції Q_{pi} і експлуатаційні витрати $(T_v + T_{жс})_i$ – є незмінними в часі і від тривалості експлуатації не залежать. У загальному випадку це не завжди справедливо, тому що в процесі експлуатації завжди діють необоротні фактори: з одного боку, освоєння, відпрацювання технології, підвищення кваліфікації

обслуговуючих робітників, з іншого боку, старіння машин унаслідок зносу, втрата твердості і геометричної точності вузлів, нагромадження утомних напруг.

Перетворимо формулу (1.60) продуктивності праці. Приймаючи живу працю за міру (масштаб) оцінки минулої праці, відповідні витрати можливо виразити в одиницях живої праці, вводячи коефіцієнти K і m

$$K = \frac{T_n}{T_{жс}}, \quad m = \frac{T_v}{T}, \quad (1.63)$$

де K – коефіцієнт технічної озброєності живої праці, який характеризує співвідношення одночасних витрат упредметненої праці на створення засобів виробництва T_n до річних витрат живої праці;

m – коефіцієнт енергоматеріалоємності живої праці, який характеризує співвідношення річних поточних витрат T_v упредметненої праці на інструмент, електроенергію, допоміжні матеріали і ремонт до річних витрат живої праці.

Так, якщо робітник обслуговує машину чи систему машин ($T_{жс} = 1$), у дійсності він працює не один. Щоб випускати продукцію протягом року Q_p , використовується концентрована праця

K людей, з якої витрачається в рік $\frac{K}{N}$ людей (минулої праці).

При цьому ще m людей забезпечують цього одного робітника всім необхідним (матеріалами, інструментами, електроенергією та ін.), без чого виробництво неможливе.

Кількість умовно працюючих за рік складає $\frac{K}{N} + m + 1$ людина, а за весь термін служби об'єкта $K + N(m + 1)$ людина.

Отже

$$T = T_{жс} \cdot [K + N \cdot (m + 1)]. \quad (1.64)$$

Таким чином, сумарні витрати суспільної праці в $K + N(m + 1)$ разів більші, ніж затрати живої праці.

Підставляючи значення T з формули (1.64) в залежність (1.62), отримуємо

$$A_T = \frac{N \cdot Q_r}{[\mathcal{J}c + N \cdot (m + 1)]T_c} = \frac{Q_r}{T_c} \frac{N}{\mathcal{J}c + N \cdot (m + 1)}. \quad (1.65)$$

Часто виникає задача визначення продуктивності праці на певному робочому місці, продуктивності праці обслуговуючих робітників. У цьому випадку витрати минулої праці не враховуються і $K = 0, m = 0$.

У результаті

$$A = \frac{Q_p}{T_{\mathcal{J}c}} \cdot \frac{N}{N} = \frac{Q_p}{T_{\mathcal{J}c}} = A_{\mathcal{J}c}. \quad (1.66)$$

Отримана величина являє собою вже продуктивність не суспільної, а *живої праці*, тобто виробіток на одного виробничого робітника.

Автоматизація виробничих процесів і є тим основним засобом, що дозволяє вирішувати задачу підвищення продуктивності праці.

Для оцінки прогресивності нової техніки, у тому числі автоматів і автоматичних ліній, необхідно порівняти різні варіанти за рівнем продуктивності праці. Потім порівняти впроваджуваний варіант із діючим у виробництві (базовим варіантом) і дати висновок про доцільність його впровадження.

Перевагу варто віддати варіантові, що забезпечує найбільше зростання продуктивності праці і гарантує виконання планованих темпів її росту на весь строк служби машини

$$\lambda = \frac{A_{T2}}{A_{T1}}, \quad (1.67)$$

де λ – коефіцієнт зростання продуктивності праці при порівнянні двох технічних варіантів;

A_{T2} – продуктивність праці другого, порівнюваного з вихідним, варіанту техніки;

A_{T1} – продуктивність праці, яку забезпечує вихідний варіант техніки.

Порівняння різних варіантів техніки дозволяє визначити їх прогресивність, оцінити її аналітично.

Нехай продуктивність праці вхідного варіанту

$$A_{I1} = N \frac{Q_1}{[K_1 + N \cdot (m_1 + 1)] \cdot T_{ж1}}. \quad (1.68)$$

Якщо обидва порівнюваних варіанти вводяться в дію одночасно, то продуктивність праці вихідного варіанту

$$A_{I2} = N \frac{Q_2}{[K_2 + N \cdot (m_2 + 1)] \cdot T_{ж2}}. \quad (1.69)$$

Зростання продуктивності праці складе

$$\lambda = \frac{N \cdot Q_2 [K_2 + N \cdot (m_2 + 1)] \cdot T_{ж2}}{N \cdot Q_1 [K_1 + N \cdot (m_1 + 1)] \cdot T_{ж1}} = \frac{Q_2}{Q_1} \quad (1.70)$$

$$\frac{T_{ж2}}{T_{ж1}} \cdot \frac{K_2 + N \cdot (m_2 + 1)}{K_1 + N \cdot (m_1 + 1)}.$$

Введемо безрозмірні коефіцієнти, що характеризують порівняльні техніко-економічні показники обох варіантів виробництва: $\varphi = \frac{Q_2}{Q_1}$ – коефіцієнт зростання продуктивності засобів

виробництва, що показує в скільки разів підвищується продуктивність при другому варіанті в порівнянні з вихідним; $\varepsilon = \frac{T_{ж1}}{T_{ж2}}$

– коефіцієнт скорочення живої праці, що показує в скільки разів скорочується жива праця при другому варіанті в порівнянні з вихідним; $\sigma = \frac{T_{n2}}{T_{n1}}$ – коефіцієнт зміни вартості засобів виробництва; δ – коефіцієнт зміни поточних експлуатаційних витрат на одиницю продукції. Тоді

$$\frac{T_{v2}}{T_{v1}} = \varphi \cdot \delta. \quad (1.71)$$

Величина поточних експлуатаційних витрат (інструмент, електроенергія, допоміжні матеріали та ін.) звичайно пропорційна випускові продукції. Тому у формулі (1.71) коефіцієнт φ відображає зміну масштабів виробництва, а коефіцієнт δ – зміну поточних експлуатаційних витрат на одиницю виробу.

Визначимо величини K_2 і m_2 через безрозмірні коефіцієнти

$$K_2 = \frac{T_{n2}}{T_{\text{ж}2}} = \frac{T_{n1} \cdot \sigma}{T_{\text{ж}1}} = \frac{T_{n1}}{T_{\text{ж}1}} \cdot \sigma \cdot \varepsilon = K \cdot \sigma \cdot \varepsilon; \quad (1.72)$$

$$m_2 = \frac{T_{v2}}{T_{\text{ж}2}} = \frac{T_{v1} \cdot \sigma}{T_{\text{ж}1}} = \frac{T_{v1}}{T_{\text{ж}1}} \cdot \varphi \cdot \delta \cdot \varepsilon = m \cdot \delta \cdot \varphi \cdot \varepsilon. \quad (1.73)$$

Підставляючи значення K_2 і m_2 , а також φ і ε в формулу (1.70), отримуємо формулу, в якій зростання продуктивності праці виражене безпосередньо через порівняльні техніко-економічні показники обох варіантів продуктивності

$$\lambda = \varphi \varepsilon \frac{K + N \cdot (m + 1)}{K \cdot \sigma \cdot \varepsilon + N \cdot (m \cdot \delta \cdot \varepsilon + 1)}. \quad (1.74)$$

В формулі (1.74) добуток $\varphi\varepsilon$ представляє собою зростання продуктивності живої праці

$$\lambda_{жс} = \varphi \cdot \varepsilon . \quad (1.75)$$

Тут φ характеризує збільшення продуктивності праці робочого за рахунок зростання продуктивності засобів виробництва, а ε – збільшення продуктивності праці робочого за рахунок збільшення кількості верстатів, які обслуговуються одним робочим.

Тому формула (1.74) отримує вигляд

$$\lambda = \lambda_{жс} \cdot \frac{K + N \cdot (m + 1)}{K \cdot \sigma \cdot \varepsilon + N \cdot (m \cdot \delta \cdot \varphi \cdot \varepsilon + 1)} \cdot \quad (1.76)$$

Отже, збільшення продуктивності праці дорівнює добуткові зростання продуктивності живої праці, тобто видимому досягнутому результату, на коефіцієнт, що показує, якими витратами минулої праці досягнуто це зростання. Розділивши чисельник і знаменник в формулі (1.74) на ε , отримуємо

$$\lambda = \varphi \frac{K + N \cdot (m + 1)}{K \cdot \sigma + N \cdot (m \cdot \delta \cdot \varphi + \frac{1}{\varepsilon})} \cdot \quad (1.77)$$

Характерним для сучасного етапу розвитку техніки, у першу чергу для автоматизації виробничих процесів, є зростання продуктивності засобів виробництва ($\varphi > 1$), збільшення їх вартості ($\sigma > 1$) і скорочення кількості людей, безпосередньо зайнятих обслуговуванням машин ($\varepsilon > 1$). Зміна поточних витрат минулої праці на одиницю виробу залежить від характеру виробничого процесу і може знаходитись в широких межах.

Теорія продуктивності праці дозволяє при порівняльному аналізі різних варіантів нової техніки обґрунтувати найбільш вигідний і перспективний на основі комплексного урахування всіх техніко-економічних показників по найбільшій продуктив-

ності суспільної праці.

У практичній діяльності будь-якого виробництва дуже важливо знати шляхи підвищення продуктивності праці в конкретних умовах виробництва.

На рис. 1.18 наведено технологічні системи машин.

Автоматизація, як основний напрямок технічного прогресу, пов'язана з поліпшенням тих чи інших технічних характеристик, що супроводжується зростанням продуктивності праці. Однак поліпшення різних техніко-економічних показників впливає на продуктивність суспільної праці. Кількісний аналіз формул, що визначають продуктивність праці, дозволяє вказати наступні основні шляхи підвищення продуктивності праці при автоматизації виробничих процесів.

Перший шлях – зменшення витрат живої праці $T_{жс}$ за рахунок скорочення кількості робітників, безпосередньо зайнятих у процесі виробництва (шлях \mathcal{E}). Воно досягається завдяки удосконаленню засобів виробництва і керування, зміні організації праці та ін.

Реалізацію шляху \mathcal{E} можливо ілюструвати таким чином: за базу прийнято поточкову лінію, скомпоновану з верстатів, що обслуговуються операторами (рис. 1.18, *а*).

На перших стадіях автоматизації верстат поточної лінії оснащуються автоматичними завантажувально-розвантажувальними пристроями (автооператорами), тим самим позиції переводяться з напівавтоматичного режиму роботи в автоматичний. Подальша автоматизація пов'язана з установкою автоматичних транспортних механізмів для зв'язку верстатів лінії. Керування всім комплексом механізмів і вузлів лінії відповідно до циклограми здійснюється системою керування.

Таким чином, оснащення верстатів поточної лінії автооператорами, введення автоматичних транспортних пристроїв і системи керування дозволяє створити автоматичну лінію (рис. 1.18, *б*). Такий шлях автоматизації є одним з найпоширеніших, тому що дозволяє використовувати існуючий парк устаткування, розширюючи фронт автоматизації, скоротити кількість робітни-

ків при обслуговуванні верстатів. Прикладами реалізації першого шляху є автоматичні лінії з типового (універсального) устаткування.

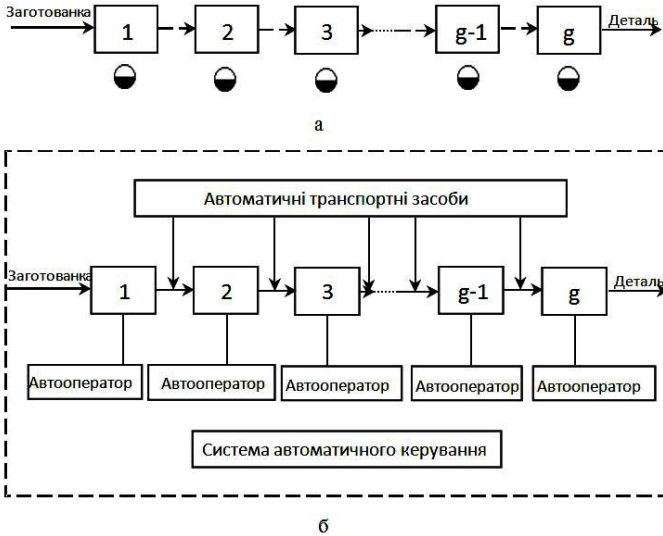


Рисунок 1.18 – Технологічні системи машин: а – поточна лінія з виконанням допоміжних операцій вручну; б – автоматична лінія

Другий шлях підвищення продуктивності праці – скорочення витрат минулої праці за рахунок зниження вартості засобів виробництва (шлях $\sigma < 1$). Цей шлях пов'язаний з удосконалюванням технології виробництва самих засобів виробництва, стандартизацією й уніфікацією механізмів, вузлів і деталей машин, що забезпечують зниження їх вартості.

Третій шлях підвищення продуктивності праці – скорочення витрат живої і минулої праці за рахунок підвищення продуктивності засобів виробництва, а отже, скорочення трудових витрат на одиницю виробу (шлях $\varphi > 1$). Це досягається шляхом розробки нових прогресивних ТП і створення високопродуктивних засобів виробництва.

На практиці знаходять застосування всі три шляхи підвищення продуктивності праці. Однак, у кожному конкретному випадку необхідно відповідне техніко-економічне обґрунтування.

Контрольні питання до розділу 1

- 1. Які основні типи виробництва розрізняють за обсягом випуску продукції?*
- 2. Що таке основне виробництво?*
- 3. Що таке допоміжне виробництво?*
- 4. Що таке підсобне виробництво?*
- 5. Що відносять до основних виробничо-господарських функцій?*
- 6. Назвіть структуру сучасних підприємств радіоелектронного приладобудування.*
- 7. В чому полягає технічна підготовка виробництва?*
- 8. Що відносять до організаційних форм виробництва?*
- 9. В чому полягає сутність наукової організації праці?*
- 10. Назвіть аспекти поняття «робоче місце».*
- 11. Назвіть основні типи цехів на підприємствах радіоелектронного приладобудування.*
- 12. Які виробничі підрозділи розрізняють на виробництвах радіоелектронного приладобудування та в чому полягають їх завдання?*
- 13. Що таке ЄСТД та в чому полягає її призначення?*
- 14. Що таке виробничий процес та що входить до його структури?*
- 15. Що таке технологічний процес, за якими ознаками проводиться його класифікація?*
- 16. Назвіть основні принципи організації виробничих процесів та їх сутність.*
- 17. Що відносять до показників якості виробничих процесів?*
- 18. За якими принципами розробляються технологічні процеси, та в чому полягає їх сутність?*

19. Назвіть основні етапи проектування технологічних процесів.
20. Які технологічні документи відносять до форм загального призначення?
21. Що таке виробничий цикл та як проводиться його розрахунок?
22. Що відносять до ознак поточного виробництва?
23. Що таке заділ, та які його види розрізняють?
24. Що є науковою основою автоматизації виробничих процесів?
25. Назвіть основні шляхи підвищення продуктивності праці.

2 АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ У РАДІОЕЛЕКТРОННОМУ ПРИЛАДОБУДУВАННІ

2.1 Форми та рівні автоматизації виробничих процесів

Автоматизація виробничих процесів – комплекс заходів з розробки нових прогресивних виробничих процесів і проектування на їх основі високопродуктивного технологічного обладнання, що здійснює робочі і допоміжні процеси без безпосередньої участі людини.

Однак, жодною мірою, не слід розуміти автоматизацію у виробництві радіоелектронних приладів лише як процес впровадження елементів і схем автоматики, насичення ними існуючих, або знову проєктованих конструкцій устаткування.

Автоматизація – це комплексна конструкторсько-технологічна задача створення принципово нової техніки на базі прогресивних ТП обробки, складання і контролю. Вона включає створення таких методів і схем обробки, конструкцій та компонентів устаткування і комплексів, які, як правило, були б неможливі, якби людина як і раніше залишалась безпосереднім учасником процесу виготовлення виробів.

Автоматизація виробничих процесів, як правило, пов'язана з великими капітальними вкладеннями, має мету – підвищення продуктивності праці, якості продукції, що випускається за рахунок виключення суб'єктивного фактора, скорочення кількості обслуговуючих робітників у порівнянні з неавтоматизованим виробництвом.

Рівень і способи автоматизації залежать від серійності виробництва й оснащеності його технічними засобами.

Засоби виробництва за своїми функціональними можливостями і рівнем автоматизації поділяються на дві полярні групи:

- універсальне устаткування з ручним керуванням, що забезпечує найбільшу гнучкість виробництва (наприклад, універсальні верстати, які можуть бути пристосовані до

випуску практично будь-якої продукції, але мають низьку продуктивність і потребують постійної присутності робітника-верстатника);

- автоматичні лінії з жорсткою програмою робіт, які забезпечують найбільш високу продуктивність праці, найменше залучення робочої сили і високу стабільність якості, але вони менше пристосовані до зміни продукції, що випускається.

Інше устаткування займає проміжне положення.

З погляду розв'язуваних задач можливо виділити п'ять рівнів автоматизації.

Перший рівень – автоматизація циклу обробки. Вона полягає в керуванні послідовністю і характером рухів робочого інструмента з метою одержання заданої форми, розмірів і якості поверхні оброблюваної деталі.

Другий рівень – автоматизація завантаження-вивантаження (операцій встановлення і зняття деталі з верстата). Це дуже ефективна область автоматизації, що дозволяє робітнику обслуговувати декілька технологічних одиниць устаткування, тобто перейти до багатOVERSTATного обслуговування.

Другий рівень автоматизації в основному забезпечується створенням роботизованих технологічних комплексів, у яких робот обслуговує одну чи кілька одиниць технологічного устаткування.

Третій рівень – автоматизація контролю, що раніше виконувався верстатником. Зокрема, контролю:

- стану інструменту і своєчасної його заміни;
- якості оброблюваних деталей (розмірів, шорсткості поверхні);
- стану верстата і видалення стружки, а також ходу ТП і його піднагодження (адаптивне керування).

Автоматизація вищезгаданих функцій додатково звільняє людину від постійного зв'язку з верстатом і дозволяє розширити сферу обслуговування устаткування одним робітником.

Третій рівень автоматизації забезпечується створенням

адаптивних РТК і гнучких виробничих модулів, що являють собою комплекс, до складу якого входять багатоопераційний верстат, пристрої прийому і переміщення супутників (палет), ПР (чи автооператори), пристрої контролю, діагностування, підналагодження, інші допоміжні механізми та пристрої. Керування комплексом здійснюється за допомогою загального пристрою керування.

Четвертий рівень автоматизації – автоматичне переналагодження устаткування. На існуючому устаткуванні в основному переналагодження здійснюється вручну і займає значну частину календарного часу (від декількох годин до цілої зміни і більше). Чим частіше потрібно переналагодження (за умовами виробництва), тим більший час втрачається. Тому однією з важливих задач на сучасному етапі є удосконалення систем переналагодження устаткування.

Устаткування з автоматичним переналагодженням забезпечує ритмічність роботи складальних цехів, скорочує обсяг незавершеного виробництва і значно зменшує виробничий цикл виготовлення виробів.

П'ятий рівень автоматизації – гнучкі виробничі системи (ГВС), що здатні забезпечити комплексну автоматизацію всіх ланок виробничого процесу, включаючи процеси виготовлення і керування, підготовку виробництва, розробку необхідної конструкторсько-технологічної документації і планування.

В умовах масового виробництва ГВС можуть включати автоматизовані лінії, які допускають переналагодження з метою забезпечення виготовлення невідомих заздалегідь конструктивних модифікацій виробів, а в умовах серійного виробництва – автоматизовані ділянки, роботизовані комплекси, технологічні модулі і т. ін.

Підвищення рівня автоматизації устаткування, що застосовується, тісно пов'язане зі зростанням рівня організації усього виробництва на даному підприємстві. Ізольований гнучкий виробничий модуль чи верстат із ЧПК, як правило, не дає бажаного ефекту при одиночному використанні на підприємстві, де

не застосовують інші верстати з ЧПК, оскільки вся система організації виробництва в цьому разі не відповідає вимогам, які б забезпечили ефективне використання нової високопродуктивної техніки.

Перспективним є створення на базі гнучких виробничих модулів, гнучких автоматизованих ліній і гнучких автоматизованих центрів, гнучких автоматизованих виробництв із повним циклом виготовлення і самовідновлення.

Автоматизація з точки зору повноти охоплення і стадії вирішуваних завдань поділяється на:

- часткову;
- комплексну;
- повну.

Часткова автоматизація по стадії розв'язуваних завдань – початкова, але наступна після повної механізації ТП. По повноті охоплення – автоматизація окремих технологічних операцій за умови, що інша частина всіх операцій виконується робітником.

Вища форма автоматизації виробництва на початковій стадії: автоматичні лінії з напівавтоматів, де основні технологічні операції (процеси) виконуються автоматично, а міжстаночне транспортування, накопичення заготовок, операції завантаження-вивантаження, контроль якості, видалення відходів виконуються вручну.

Комплексна автоматизація виробництва радіоелектронних приладів припускає передачу керування всім комплексом виробничих операцій від людини засобом обчислювальної техніки, при виробництві певного виду продукції в рамках виробничої системи – лінії, ділянки, цеху, підприємства, що розглядається як єдиний, взаємопов'язаний автоматичний комплекс. При цьому на технологічному обладнанні, що використовується, всі операції як основні, так і допоміжні, виконуються автоматично.

В обов'язки людини входить налаштування обладнання, включення і контроль за ходом процесу.

Повна автоматизація виробництва – вища форма автоматизації, при якій всі функції керування і контролю виробничим

процесом покладено на автоматизовану систему управління (АСУ).

Наукові основи автоматизації виробництв радіоелектронного приладобудування розвиваються головним чином за трьома напрямками:

1. Розробляються методи ефективного вивчення закономірностей об'єктів управління, їх динаміки, стійкості, залежність поведінки від впливу зовнішніх факторів. Ці завдання вирішуються дослідниками, конструкторами і технологами-фахівцями конкретних галузей науки і виробництва. Складні процеси і об'єкти вивчають із застосуванням методів фізичного і математичного моделювання, дослідження операцій з використанням аналогових і цифрових обчислювальних машин.

2. Визначаються економічно доцільні методи управління, ретельно обґрунтовуються мета і оцінна функція управління, вибір найбільш ефективної залежності між вимірюваними та керуючими параметрами процесу. На цій основі встановлюють правила прийняття рішень з управління та вибирають стратегію поведінки керівників виробництва з урахуванням результатів економічних досліджень, спрямованих на виявлення раціональних закономірностей системи управління. Конкретні цілі управління залежать від техніко-економічних, соціальних та інших умов. Вони складаються в досягненні максимальної продуктивності процесу, стабілізації високої якості продукції, що випускається, найбільшого коефіцієнта використання палива, сировини і обладнання, максимального обсягу реалізованої продукції і зниженні витрат на одиницю виробу і ін.

3. Ставиться завдання створення інженерних методів найбільш простого, надійного і ефективного втілення структури та конструкції засобів автоматизації, що здійснюють задані функції вимірювання, обробки отриманих результатів та управління. При розробці раціональних структур управління і технічних засобів їх здійснення застосовують теорію алгоритмів, автоматів, математичну логіку і теорію релейних пристроїв. За допомогою обчислювальної техніки автоматизують багато процесів

розрахунку, проектування і перевірки пристроїв управління. Вибір оптимальних рішень зі збору, передачі та обробки даних ґрунтується на методах теорії інформації. При необхідності багато-цільового використання великих потоків інформації застосовуються централізовані (інтегральні) методи її обробки.

2.2 Системи автоматизованого управління виробництвом

Структура управління, оптимально обрана для виконання заданих цілей, в поєднанні з комплексом технічних засобів (вимірювальних, регулюючих і т.п.), у взаємодії з об'єктом управління і людиною (оператором, диспетчером) на основі раціонально побудованих форм і потоків інформації утворює *автоматизовану систему управління*.

Функції АСУ встановлюють в технічному завданні на створення конкретної АСУ на основі аналізу цілей управління, заданих ресурсів для їх досягнення, очікуваного ефекту від автоматизації та відповідно до стандартів, що поширюються на даний вид АСУ. Кожна функція АСУ реалізується сукупністю комплексів завдань, окремих завдань і операцій. Функції АСУ в загальному випадку включають в себе наступні елементи (дії):

- планування і (або) прогнозування;
- облік, контроль, аналіз;
- координацію і (або) регулювання.

Необхідний склад елементів вибирають в залежності від виду конкретної АСУ. Функції АСУ можливо об'єднувати в підсистеми за функціональною та іншими ознаками.

До складу АСУ входять наступні *види забезпечень*: інформаційне, програмне, технічне, організаційне, метрологічне, правове і лінгвістичне.

У сфері промислового виробництва радіоелектронних приладів з позицій управління можливо виділити наступні основні класи структур систем управління: децентралізовану, централізовану, централізовану розосереджену і ієрархічну.

Побудова системи з *децентралізованою структурою*

ефективна при автоматизації технологічно незалежних об'єктів управління по матеріальним, енергетичним, інформаційним та іншим ресурсам. Така система являє собою сукупність кількох незалежних систем зі своєю інформаційної та алгоритмічної базою. В таких системах для вироблення керуючого впливу на кожен об'єкт управління необхідна інформація про стан тільки цього об'єкта.

Централізована структура здійснює реалізацію всіх процесів управління об'єктами в єдиному органі управління, який здійснює збір і обробку інформації про керовані об'єкти, і на основі їх аналізу відповідно до критеріїв системи виробляє керуючі сигнали. Поява цього класу структур пов'язана зі збільшенням числа параметрів, що контролюються, регулюються і керуються і, як правило, з територіальною розосередженістю об'єкта управління. Перевагами централізованої структури є досить проста реалізація процесів інформаційної взаємодії; принципова можливість оптимального управління системою в цілому; досить легка корекція оперативно змінюваних вхідних параметрів; можливість досягнення максимальної експлуатаційної ефективності при мінімальній надмірності технічних засобів управління. Недоліки централізованої структури наступні: необхідність високої надійності і продуктивності технічних засобів управління для досягнення прийнятної якості управління; висока сумарна протяжність каналів зв'язку при наявності територіального розосередження об'єктів управління.

Основна особливість *централізованої розосередженої структури* – збереження принципу централізованого управління, тобто вироблення управляючих впливів на кожен об'єкт управління на основі інформації про стани всієї сукупності об'єктів управління. Деякі функціональні пристрої системи управління є загальними для всіх каналів системи і за допомогою комутаторів підключаються до індивідуальних пристроїв каналу, утворюючи замкнутий контур управління. Алгоритм управління в цьому випадку складається з сукупності взаємопов'язаних алгоритмів управління об'єктами, які реалізуються

сукупністю взаємно пов'язаних органів управління. У процесі функціонування кожен керуючий орган проводить прийняття і обробку відповідної інформації, а також видачу керуючих сигналів на підлеглі об'єкти. Для реалізації функцій управління кожен локальний орган, у міру необхідності, вступає в реакцію інформаційної взаємодії з іншими органами управління. Переваги такої структури: зниження вимог до продуктивності і надійності кожного центру обробки та управління без шкоди для якості управління; зниження сумарної протяжності каналів зв'язку. Недоліки системи в наступному: ускладнення інформаційних процесів в системі управління через необхідність обміну даними між центрами обробки і управління, а також коригування інформації, що зберігається; надмірність технічних засобів, призначених для обробки інформації; складність синхронізації процесів обміну інформацією.

З ростом числа завдань управління в складних системах значно збільшується обсяг переробленої інформації та підвищується складність алгоритмів управління. У результаті здійснювати управління централізовано неможливо, так як має місце невідповідність між складністю керованого об'єкта і здатністю будь-якого керуючого органу отримувати і переробляти інформацію. В таких системах можливо виділити наступні групи завдань, кожна з яких характеризується відповідними вимогами за часом реакції на події, що відбуваються в керованому процесі:

- завдання збору даних з об'єкта управління і прямого цифрового управління (час реакції, секунди, частки секунди);
- завдання екстремального управління, пов'язані з розрахунками бажаних параметрів керованого процесу і необхідних значень уставок регуляторів, з логічними задачами пуску і зупинки агрегатів і ін. (час реакції - секунди, хвилини);
- задачі оптимізації та адаптивного управління процесами, техніко-економічні завдання (час реакції – кілька секунд);
- інформаційні завдання для адміністративного управління, завдання диспетчеризації та координації в масштабах

цеху, підприємства, завдання планування та ін. (час реакції – годинник).

Очевидно, що ієрархія завдань управління призводить до необхідності створення *ієрархічної системи* засобів управління. Такий поділ, дозволяючи впоратися з інформаційними труднощами для кожного місцевого органу управління, породжує необхідність узгодження прийнятих цими органами рішень, тобто створення над ними нового керуючого органу. На кожному рівні має бути забезпечено максимальну відповідність характеристик технічних засобів заданому класу задач. Крім того, багато виробничих систем мають власну ієрархію, яка виникає під впливом об'єктивних тенденцій науково-технічного прогресу, концентрації і спеціалізації виробництва, що сприяють підвищенню ефективності суспільного виробництва. Найчастіше ієрархічна структура об'єкта управління не збігається з ієрархією системи управління. Отже, у міру зростання складності систем вибудовується ієрархічна піраміда управління. Керовані процеси в складному об'єкті управління вимагають своєчасного формування правильних рішень, які приводили б до поставлених цілей, приймалися б своєчасно, були б взаємно узгоджені. Кожне таке рішення вимагає постановки відповідного завдання управління. Їх сукупність утворює ієрархію завдань управління, яка в ряді випадків значно складніше ієрархії об'єкта управління.

В основі організації АСУ кожного типу полягають принципи теорії автоматичного керування.

За принципом керування виробничі системи можливо поділити на *прості, складні та інтелектуальні*. Розрізнити їх можливо за видом алгоритму роботи і принципом прийняття в них рішень. У блок-схемах алгоритмів роботи простих систем використовуються тільки виконавчі блоки, а в блок-схемах алгоритмів роботи складних систем – також блоки прийняття рішень. Для інтелектуальних систем характерне існування дерева прийняття рішень.

У рамках сучасного виробництва радіоелектронних приладів розрізняють автоматизовані системи управління ТП

(АСУТП) та автоматизовані системи управління виробництвом (АСУВ). На рис. 2.1 представлена узагальнена структура наведених АСУ.

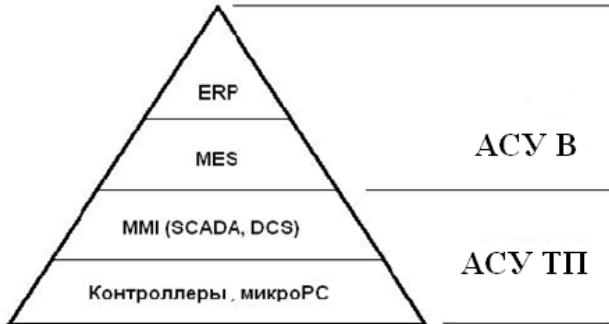


Рисунок 2.1 – Структура АСУ

Автоматизована система управління технологічним процесом – це група рішень технічних і програмних засобів, призначених для автоматизації управління технологічними об’єктами, що включає обладнання з програмованими контролерами (PLC – Programable Logic Controllers), розподілені системи управління (DCS – Distributed Control Systems), системи диспетчерського управління та збору даних (SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition), системи забезпечення людиномашинного інтерфейсу тобто двостороннього зв’язку «оператор-технологічне обладнання» MMI (Man-Machine Interface) або HMI (Human-Machine Interface)

Технологічний об’єкт управління – це сукупність технологічного обладнання, що забезпечує ТП. Технологічним об’єктом управління можуть бути технологічні агрегати і установки, групи верстатів, окремі виробництва (цехи, дільниці), що реалізують самостійний ТП.

До складу АСУТП входять:

- типові елементи автоматики: датчики, контролери, промислові комп’ютери, виконавчі пристрої і т.п., призначені для безпосереднього управління технологічним об’єктом;

- єдина система операторського управління ТП у вигляді одного або декількох пультів управління (комп'ютерів);
- засоби обробки та архівування інформації про хід процесу;
- промислові мережі для інформаційного зв'язку всіх підсистем.

АСУТП будуються згідно з *трьохрівневим принципом*, що зображено на рис. 2.2.

Нижній рівень – це рівень обладнання (входів/виходів). Це рівень датчиків, вимірювальних пристроїв, які контролюють керовані параметри, а також виконавчих пристроїв, що впливають на ці параметри процесу, для приведення їх у відповідність із завданням. На цьому рівні здійснюється узгодження сигналів датчиків з входами пристрою управління, та команд, що виробляються, з виконавчими пристроями.

Середній рівень – рівень управління обладнанням. Це рівень контролерів (ПЛК – PLC, Programable Logic Controller). ПЛК отримує інформацію з контрольно-вимірювального обладнання та датчиків про стан технологічного процесу і видає команди управління, відповідно до запрограмованого алгоритмом управління, на виконавчі механізми.



Рисунок 2.2 – Три рівня АСУТП

Верхній рівень – це рівень промислового сервера, мережевого устаткування, рівень операторських і диспетчерських станцій. На цьому рівні проходить контроль ходу виробництва: забезпечується зв'язок з нижніми рівнями, звідки здійснюється збір даних, візуалізації та диспетчеризації (моніторинг) ходу технологічного процесу. Це рівень HMI, SCADA. На цьому рівні задіяна людина, тобто оператор (диспетчер). Він здійснює локальний контроль технологічного обладнання через так званий людино-машинний інтерфейс. До нього відносяться: монітори, графічні панелі, які встановлюються локально на пультах управління і шафах автоматики. Для здійснення контролю за розподіленою системою машин, механізмів і агрегатів застосовується SCADA система. Ця система являє собою програмне забезпечення, яке налаштовується і встановлюється на диспетчерських комп'ютерах. Вона забезпечує збір, архівацію, та візуалізацію найважливіших даних від ПЛК. При отриманні даних система самостійно порівнює їх із заданими значеннями керованих параметрів (уставками) і при відхиленні від завдання повідомляє оператора, дозволяючи йому вжити необхідних заходів. При цьому система записує все, що відбувається, включаючи дії оператора, забезпечуючи контроль дій оператора в разі аварії або іншої нештатної ситуації. Таким чином, забезпечується персональна відповідальність керівника оператора.

Автоматизована система управління виробництвом – це комплекс програмних, технічних, інформаційних, лінгвістичних, організаційно-технологічних засобів та дій кваліфікованого персоналу, призначений для вирішення завдань планування і управління різними видами діяльності підприємства, що включає системи вирішення завдань синхронізації, координації, аналізу та оптимізації випуску продукції (MES – Manufacturing Execution System) і системи планування ресурсів підприємства (MRP – Manufacturing Resources Planning) або (ERP – Enterprise Resources Planning).

Дані системи вирішують завдання організації виробництва, включаючи основні виробничі процеси, вхідну і вихідну

логістику, здійснюють короткострокове планування випуску з урахуванням виробничих потужностей, аналіз якості продукції, моделювання виробничого процесу.

АСУ виробничого підприємства, як правило, включає в себе наступні *підсистеми управління*:

- складами;
- поставками;
- персоналом;
- фінансами;
- конструкторською та технологічною підготовкою виробництва
- номенклатурою виробництва (в тому числі систему управління каталогом);
- обладнанням;
- оперативного планування потреб виробництва.

На рівні АСУВ вирішуються задачі, що можливо віднести до двох рівнів: верхнього рівня, та рівня систем виконання виробничих завдань.

На *верхньому рівні* управління вирішуються стратегічні завдання. До них можуть відноситись всі види прогнозів, що визначають тенденції розвитку підприємства на багато років вперед; характер цього розвитку – повна реконструкція, розширення виробництва, його часткова модернізація, перехід на виготовлення принципово нових виробів або модифікація моделей, що випускаються.

Верхній рівень – ERP системи (Enterprise Resource Planning System – Система планування ресурсів підприємства) – це конкретний програмний пакет прикладного програмного забезпечення, який реалізує стратегію ERP. Сучасні ERP-системи призначені для побудови єдиного інформаційного простору підприємства і ефективного управління всіма ресурсами компанії, пов'язаними з виробництвом, продажами та обліком замовлень.

Інформаційні системи ERP дозволяють створити єдину базу даних підприємства дозволяє управляти такими складовими виробництва як:

- планування і управління виробництвом;
- управління якістю;
- закупівля сировини;
- управління складами і логістика;
- взаємодія з постачальниками;
- обслуговування клієнтів;
- фінанси і бухгалтерський облік;
- контроль виконання замовлень і ін.

На рис. 2.3 приведені функціональні елементи ERP систем.



Рисунок 2.3 – Функціональні елементи ERP системи

Інтеграція ERP з системами автоматизації виробництва надає багато переваг:

- зменшення кількості паперової інформації;
- забезпечення збору, аналізу, обробки і розподілу даних в режимі реального часу. Якість інформації поліпшується, вона стає доступна тим, кому необхідна в даний момент;
- підвищення точності даних;
- можливість надання усім користувачам даної організації одночасного доступу до інформації з цілями контролю та планування;
- негайна реакція і, в разі необхідності, внесення виправлень;
- об'єднання різних технологічних ліній і ділянок в єдину систему – єдина інформаційна база забезпечує географічно розділені підрозділи необхідними даними і сприяє їх взаємодії.

- збільшення обсягу та підвищення якості виробництва – підвищує споживчий попит;
- поліпшення співпраці і взаємодія між фірмами за рахунок створення баз даних доступних для всіх партнерів;
- підвищення ступеня документованості;
- оперативна підготовка звітів і аналіз виробництва для підтримки прийняття рішень адміністрацією.

ERP-система підтримує підготовку документів і доставляє їх за допомогою принтерів, екранів терміналів, або сучасних систем автоматичної передачі даних на технологічний рівень. Вона визначає графік виробництва (що виробляти і що використовувати). А звіти, отримані на рівні виробництва, повідомляють ERP-системі про стан виробництва (що було вироблено і використано) – інформацію, яка звичайна для готових виробів, час виготовлення і кількість спожитих матеріалів.

На вказаному рівні вирішуються завдання, пов'язані з організацією роботи всіх структур підприємства. Основна мета на даному рівні – максимізація прибутку за окремий період. Особа, яка приймає рішення на цьому рівні АСУВ – керівник підприємства. Об'єкт автоматизації – грошовий потік.

Рівень систем виконання виробничих завдань – це рівень MES систем (Manufacturing Execution Systems). Завдання системи цього рівня – управління виробничим процесом, об'єднання ERP з АСУТП.

На початковому етапі АСУВ (ERP, MRP) і АСУТП розвивалися відокремлено і незалежно один від одного. Спочатку вони не були підпорядковані єдиним цілям і задачам, залишалися слабо пов'язаними фізично й інформаційно, а частіше не пов'язаними зовсім. Програмне забезпечення АСУВ і АСУТП досить довго розвивалося автономно і не передбачало можливість стандартизації каналів для обміну інформацією між ними. Технології, на яких вони проектувалися, не враховували спільної роботи цих систем в єдиному інформаційному просторі. Комутаційне обладнання відповідало тільки своїм рівням.

Поява Ethernet і Web-технологій в АСУТП забезпечило

можливість інтеграції різних рівнів автоматизації підприємства в єдиний інформаційний простір.

В АСУТП, в цехах і на ділянках, вирішуються переважно завдання тактичні, такі, як оперативно-календарне планування, використання систем стимулювання праці, дотримання технології, підвищення якості, зниження собівартості, оновлення обладнання і т.п.

У АСУВ (ERP) необхідно оперативно забезпечувати керівників відомостями про стан справ по кожному із завдань, про нові винаходи, технологічні процеси і обладнання, прогресивні методи праці та використання обладнання, про кращі зразки техніки та інші цінні нововведення, в тому числі створені за кордоном. Тобто визначальною функцією верхнього рівня управління є рішення стратегічних завдань. Таким чином, інформаційний потік, який забезпечував здійснення технологічного процесу, був оперативно недоступний на верхньому рівні АСУВ, обмежував можливість оперативного управління виробництвом і формування стратегії його розвитку. Таким чином існував функціональний розрив між АСУВ (ERP) і АСУТП, що обумовило виникнення необхідності створення єдиної інформаційної системи управління, яка б вирішила завдання збору, накопичення і передачу інформації між рівнями комп'ютерно-інтегрованого виробництва. З'явилася тенденція і необхідність спільного використання даних сучасних програмних розробок ERP, CRM, CSM і SCADA-систем, що дозволяють проводити поточне та оперативне планування витрат, собівартості і оцінки ресурсів підприємства. Це призвело до необхідності створення MES системи (прикладне програмне забезпечення), яка б узгодила і об'єднала програмні додатки створивши можливість вертикальної інтеграції інформаційних потоків і на своєму рівні створила можливість оперативного управління виробництвом.

На багатьох підприємствах є достатня мережева інфраструктура. Існують мережі АСУВ, об'єднані по Ethernet. Створені внутрішні мережі АСУТП на базі Industrial Ethernet та їх інтеграція вимагає незначних капітальних вкладів. Таким чином,

виникла реальна економічна основа інтеграції – поява вимог не просто обміну інформацією між підсистемами, а оперативного збору, обліку та аналізу інформації по всьому підприємству, яка надає можливість оперативно вирішувати виробничі проблеми і планувати перспективи його конкурентного розвитку.

На рис. 2.4 наведені три рівня керування інтегрованим виробництвом, на кожному з яких по його контуру управління циркулюють свої інформаційні потоки.

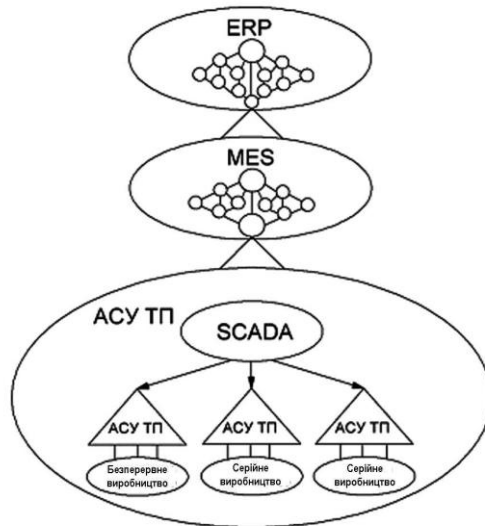


Рисунок 2.4 – Три рівня управління інтегрованим виробництвом

Контур управління рівня АСУТП (технологічний) є самим інтенсивним за обсягом інформації і найжорсткішим за часом реакції, який може становити секунди і навіть мілісекунди, хвилини, години. У верхньому рівні шару АСУТП – в SCADA-системах відбувається накопичення і обробка великого числа технологічних параметрів і створюється інформаційна база вихідних даних для MES-рівня.

Контур управління рівня MES (оперативно-виробничий) спирається на відфільтровану і оброблену інформацію, що

надходить як від АСУТП, так і від інших служб виробництва (постачання, технічної підтримки, технологічних, планово-виробничих і т.д.). Інтенсивність інформаційних потоків тут істотно нижче і пов'язана з завданнями оптимізації заданих виробничих показників (якість продукції, продуктивність, енергозбереження, собівартість і т.д.). Типові часи циклів управління складають години, зміни, тижні. Оперативне управління виробництвом в цьому контурі управління здійснюється фахівцями, які більш детально, ніж вищий менеджмент, володіють виробничою ситуацією (керівники виробничих цехів, дільниць, головні технологи, енергетики, механіки та ін.). У зв'язку з цим має підвищуватися якість і ефективність прийнятих рішень в межах делегованих зверху повноважень.

Контур управління рівня ERP (стратегічний) звільняється в цьому випадку від рішення оперативних завдань виробництва і забезпечує підтримку бізнес-процесів підприємства в цілому. Потік інформації від виробничого блоку стає мінімальним і включає в себе сукупну керуючу і звітну інформацію по стандартам ERP з типовими часом контролю в тиждень, декаду, місяць, квартал, а також аварійні сигнали, що вимагають негайного втручання вищого менеджменту підприємства.

Загалом до систем MES відносять додатки, що відповідають за наступне:

- управління виробничими і людськими ресурсами в рамках технологічного процесу;
- планування та контроль послідовності операцій технологічного процесу;
- управління якістю продукції;
- зберігання вихідних матеріалів і виробленої продукції по технологічним підрозділам;
- технічне обслуговування виробничого обладнання;
- зв'язок систем ERP і SCADA/DCS.

Зазвичай ERP і MES об'єднують в один рівень структури АСУВ. *Відмінність ERP і MES систем полягає в наступному:*

- MES керують поточними процесами виробництва і конт-

- ролюють випуск продукції заданої якості в задані терміни;
- ERP відповідають за об'ємне планування, управління ресурсами підприємства. Узгоджена робота цих систем в режимі реального часу, дозволяє здійснювати оперативне перепланування.

На рис. 2.5 приведені контури циркулюючої інформації за рівнями автоматизації.

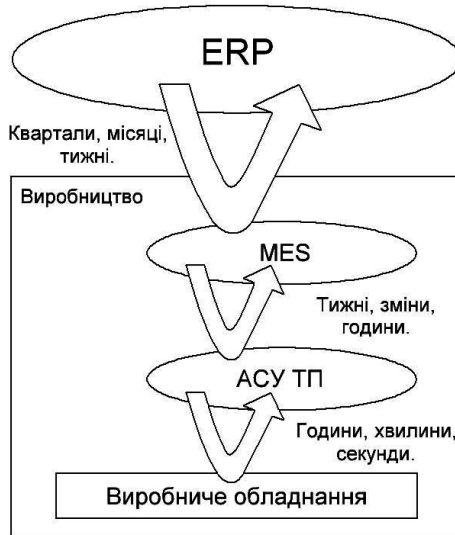


Рисунок 2.5 – Контури циркулюючої інформації за рівнями автоматизації

Таким чином, MES – це система, в яку стікається вся інформація про виробництво і вона допомагає ефективно ним управляти, тобто MES-рівень є ключовим в комп'ютерно інтегрованої автоматизації.

У MES системі суб'єктом або особою, яка приймає рішення, є керівник цеху або відділення АСУТП. Завдання цього рівня – управління підлеглими АСУТП, логістика та контроль над персоналом. Також однією з основних задач цього рівня є оптимізація роботи всіх підлеглих АСУТП (зменшення собівартості

продукції, а також оптимізації роботи системи в цілому).

Комп'ютерна інтеграція рівнів автоматизованого виробництва надала системам автоматизації властивості гнучкості, відкритості та прозорості.

Гнучкість – надає можливість швидкої переорієнтації, переходу на нову продукцію, швидкого гнучкого переналагодження, зміни способу виготовлення та швидкої заміни обладнання.

Відкритість – надає можливість застосовувати апаратні і програмні засоби різними фірмами відповідно до міжнародного стандарту ІЕС.

Прозорість – надає можливість отримання інформації, через системні шини, в режимі реального часу з будь-якого рівня автоматизації і виходу в інтернет.

2.3 Системи малої автоматизації

Системами малої автоматизації SAS (small automation system) – називаються малі розподілені системи керування або контролю DCS (distributed control system), реалізовані на основі спеціалізованих малих і середніх локальних мереж SAN (storage area network), орієнтовані на роботу в режимі реального часу. Першочерговими *якостями* систем малої автоматизації вважаються низька собівартість, забезпечення режиму реального часу, відносно просте проектування, модернізація і експлуатація, відносно просте програмне і апаратне забезпечення в поєднанні з досить високою надійністю.

Ці системи широко застосовуються для автоматизації невеликих технологічних, вимірювальних, дослідницьких систем (зазвичай територіально розташованих в межах одного приміщення).

Основні фактори, що сприяють розвитку цих систем:

- постійне зниження цін на персональні комп'ютери (ПК) при значному підвищенні їх обчислювальної потужності і надійності призвело до того, що стало економічно вигідним використання ПК на верхньому рівні управління

навіть дуже простих SAS. При цьому оптимально вирішуються проблеми візуалізації, зберігання та документування даних системи;

- швидкий розвиток високопродуктивних і дешевих x51-сумісних мікроконтролерів;
- видима в останнє десятиліття глобальна тенденція до реструктуризації великих виробничих та наукових установ і створенню на їх основі малих виробничих фірм і науководослідницьких центрів підвищує актуальність створення малих систем автоматизації;
- розвиток мережевих технологій і створення нових типів SAN, що володіють низькою вартістю при високих якісних показниках, спеціально орієнтованих на роботу в складі SAS, також сприяє їх швидкому розвитку.

Найбільш часто в сучасних SAS використовуються так звані командно-інформаційні мережі – CI-LAN (command-information local area network).

Мережі CI-LAN характеризуються тим, що мають у своєму складі тільки один персональний комп'ютер (або потужний спеціалізований контролер, оснащений повним комплектом периферійного обладнання), і деяку кількість універсальних (або спеціалізованих) контролерів – станцій. Мережа працює за принципом опитування. Комп'ютер є ініціатором всіх обмінів в мережі, тобто «провідним» вузлом. Він передає всім станціям фрейм команди, що містять, зокрема, і адресу однієї з станцій. Усі станції пасивні, тобто працюють в режимі «відомого». Вони не мають права ініціалізувати обміни в мережі (за винятком аварійних ситуацій). Вони приймають і аналізують фрейм команди, але тільки одна з них, адреса якої збігся з адресою фрейму, виконує покладені командним фреймом дії і або повідомляє комп'ютер про виконання команди, або передає в нього отримані дані. Таким чином, повний цикл обміну складається з команди і відповідної інформації, звідси термін – командно-інформаційні мережі. Це тип SAN володіє всіма необхідними якостями для створення малих систем автоматизації і знаходить останнім

часом широке застосування.

Типова структура сучасних систем малої автоматизації, побудованих з використанням CI-LAN, приведена на рис.2.6.

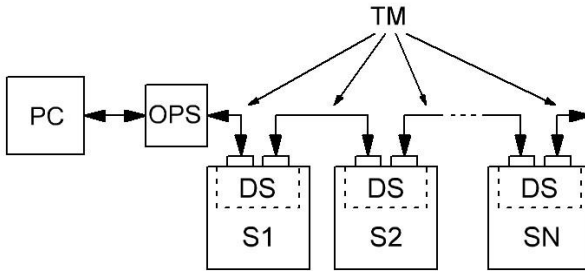


Рисунок 2.6 – Типова структура сучасних систем малої автоматизації

Єдиний в SAS персональний комп'ютер виконує роль єдиного в системі генератора завдань і одержувача інформації. Тільки він має право ініціювати обміни інформацією в мережі. Крім того, він отримує всю попередньо оброблену інформацію від N периферійних станцій S1, S2,..., SN (Station I...N), які не мають право самостійного доступу до мережі. Вони тільки мають право відповідати на надійшовшу команду. Винятком може бути випадок аварійної ситуації в станції (станціях) або в обслуговуваній підсистемі об'єкта регулювання.

Станції між собою з'єднуються за допомогою кабелів з роз'ємами (зазвичай типу DB9) через паралельно-з'єднані пари роз'ємів X1, X2,..., XN на кожній зі станцій S1, S2,..., SN. Кожна зі станцій в мережі має індивідуальний номер, що встановлюється на модифікаторах (перемикачах або перемичках) чи записаний в Flash-пам'яті мікроконтролера. З'єднання персонального комп'ютеру може проводитися до однієї зі станцій безпосередньо або через спеціальний вузол диспетчера персонального комп'ютера PCD (PC Dispatcher) залежно від кількості станцій N, що використовуються, необхідності перетворення інтерфейсів (вихідного інтерфейсу персонального комп'ютера в інтер-

фейс мережі) і оптичної розв'язки. Кабельна частина мережі називається мережевим середовищем – ТМ (Transmission Medium). У кожній станції є вузол, що узгоджує інтерфейс мікроконтролера станції (зазвичай UART) з мережевим середовищем. Він зазвичай називається диспетчером станції SD (Station Dispatcher) або SMG (Station Management).

Сучасні системи малої автоматизації SAS за кількістю використовуваних станцій підрозділяються на три групи:

- малі (до 16-32 станцій);
- середні (до 128-256 станцій);
- великі (понад 256 станцій).

Великі SAS у вигляді мережі одного рівня виконуються рідко, зважаючи на обмежену навантажувальну здатність існуючих послідовних інтерфейсів. Найчастіше великі SAS або являються мережею одного рівня з комбінацією інтерфейсів, або виконуються у вигляді багаторівневих мереж.

Умовно структуру SAS можливо розбити на два рівня. Перший верхній рівень – рівень організації командно-інформаційних мереж CI-LAN. Другий нижній рівень – рівень організації станцій, в якості яких використовуються так звані універсальні технологічні контролери.

Сучасне поняття децентралізації системи передбачає і територіальне розосередження обчислювальної системи, і поділ функції системи (вимірювань, первинної обробки та управління) на ряд слабопов'язаних функцій, і розподіл цих функцій між декількома децентралізованими обчислювачами. Таким чином, сучасні децентралізовані системи є системами з безліччю потоків команд і даних MIMD (Multiply Instruction Multiply Data). З іншого боку, кожна зі станцій (зосереджений обчислювач) також може виконувати кілька слабопов'язаних функцій одночасно і складатися з декількох слабопов'язаних обчислювачів, тобто бути мультимікропроцесорна (MMPS).

Створення децентралізованих систем автоматизації виробництва і наукових досліджень в умовах малих виробничих фірм і науково-дослідницьких центрів визначає в якості однієї з основ-

них вимог – вимогу мінімальної вартості.

Системи, орієнтовані на роботу в умовах малих виробничих фірм і науково-дослідницьких центрів, повинні задовольняти вимогам простоти установки й експлуатації, а також забезпечувати досить просту модернізацію, тобто оновлення.

Під поняттям *максимальної ефективності*, як правило, розуміється співвідношення продуктивність-ціна, проте останнім часом це поняття часто об'єднується з поняттям мінімальної надмірності системи. При цьому під надмірністю розуміють як апаратну надмірність (невикористовуванні вузли апаратури чи зайві сигнали управління), так і тимчасову надмірність (наприклад, передача зайвої інформації з мереж).

Командно-інформаційні мережі широко використовуються в сучасних системах малої автоматизації SAS.

Командно-інформаційними мережами CI-LAN називаються малі та середні спеціалізовані локальні мережі з шинної топологією і централізованим управлінням, орієнтовані на роботу в режимі реального часу.

Усі вузли мережі називаються станціями. Централізоване управління шиною здійснюється провідною станцією, в ролі якої, як правило, виступає єдиний в мережі ПК або потужний спеціалізований контролер, оснащений повним комплектом периферійного обладнання. Всі інші станції мережі називаються периферійними станціями (PS – Peripheral Stations).

Існує досить проста методика, що дозволяє проаналізувати граничну продуктивність CI-LAN (тобто максимально можливу кількість циклів передачі-прийому фреймів у секунду без урахування аварійних ситуацій і збоїв). *Послідовність розрахунку наступна.*

1. Вибирається найбільш повільно діючий контролер станції (хоча зазвичай розробники CI-LAN прагнуть використовувати однотипні мікроконтролери).
2. Вибирається тактова частота мікроконтролера. Визначається тривалість одного машинного циклу.
3. Розробляються найбільш коротка і найбільш довга коман-

- ди контролера.
4. Приблизно покладається сумарний час, що витрачається ПК на формування фрейму команди і обробку відповідного фрейму. Природно, що цей час залежить від багатьох факторів (частоти процесора, операційної системи, алгоритму задачі та кількості фонових задач).
 5. Розробляється тестова програма роботи станції, що включає всі вище перераховані програмні блоки.
 6. За допомогою програмного відладчика визначаються кількість циклів і час виконання кожного з блоків програми при заданій тактовій частоті контролера. При цьому виключаються будь-які програмні затримки, пов'язані, наприклад, з очікуванням прийому або передачі байта.
 7. Визначається повний цикл обміну LAN, який складається з:

$$T_c = T_{PC} + T_R + T_{FRAME_GET} + T_{MONITOR} + T_{COMMAND} + T_{FRAME_SEND} + T_T, \quad (2.1)$$

- де T_{PC} – сумарний час реакції ПК;
 $T_R = F(S)$ – час прийому одного фрейму від ПК на швидкості S ;
 T_{FRAME_GET} – час виконання блоку прийому фрейму команди;
 $T_{MONITOR}$ – час виконання блоку монітора;
 $T_{COMMAND} = F(N)$ – час виконання блоку команди як функції від номера команди N , та, відповідно, її довжини;
 T_{FRAME_SEND} – час виконання блоку передачі відповідного фрейму;
 $T_T = F(S)$ – час передачі одного фрейму на швидкості S .
8. З урахуванням тієї обставини, що фрейми прийому і передачі мають однакову довжину і передаються на одній швидкості ($T_R = T_T$), формула (2.1) набуває вигляду:

$$T_c(S, N) = T_{PC} + 2 \cdot T_R(S) + T_{FRAME_GET} + T_{MONITOR} + \\ + T_{COMMAND}(N) + T_{FRAME_SEND} \quad (2.2)$$

9. Розраховується продуктивність LAN залежно від швидкості передачі даних і тривалості команди N за формулою:

$$P_{MAX}(S, N) = \frac{1}{T_c \cdot (S, N)} \quad (2.3)$$

10. Під максимальної (піковою) продуктивністю CI-LAN розуміється максимально можлива кількість повних циклів обміну при виконанні найбільш короткої команди контролера на максимальній швидкості.

2.4 Автоматизація життєвого циклу радіоелектронних приладів

Життєвий цикл (ЖЦ) виробу радіоелектронного приладобудування – це сукупність процесів, які виконуються від моменту виявлення потреб в певній продукції, до моменту задоволення цих потреб і утилізації продукту.

Життєвий цикл включає період від виникнення потреби в створенні продукції до її ліквідації внаслідок вичерпання споживчих властивостей. Основні етапи життєвого циклу радіоелектронних виробів з точки зору промислових виробництв – це проектування, виробництво та експлуатація.

Автоматизація ЖЦ складних технічних об'єктів, якими є сучасні радіоелектронні прилади, відбувається відповідно до його *етапів*, що зображені на рис. 2.7.

Набір даних про виріб, які створюються і використовуються на всіх етапах його ЖЦ включають до себе наступне:

- інформацію про конфігурацію та структуру виробу,
- характеристики і властивості,
- організаційну інформацію (опис процесів, пов'язаних зі

- зміною даних про виріб, необхідні ресурси – люди, матеріали, тощо),
- інформацію про проведені контрольні випробування,
 - документи, які розробляються до виробу з моменту його проектування до його продажу і подальшого обслуговування, і т.д.



Рисунок 2.7 – Стадії життєвого циклу складних технічних об'єктів

Інформацію про виріб, відповідно до стадій його ЖЦ, класифікують наступним чином.

1. *Конструкторські дані* про виріб – це сукупність інформаційних об'єктів, що розробляються в процесі проектування і розробки виробу, та містить відомості:
 - про склад виробу;
 - про геометричні моделі виробу;
 - про його компоненти та їх технічні характеристики;
 - про відносини компонентів в структурі виробу;
 - про результати розрахунків і моделювання;
 - про допуски на виготовлення деталей і т.д.
2. *Технологічні дані* про виріб – це сукупність інформаційних об'єктів, що розробляються на стадії технологічної підготовки виробництва і асоційовані з інформаційними об'єктами, які описують виріб і його компоненти, та містить наступні відомості:

- про методи виготовлення і контролю виробу;
 - опис маршрутних і операційних технологій;
 - норми часу і витрати матеріалів;
 - керуючі програми для виконавчого обладнання (верстатів з ЧПК);
 - дані для проектування оснащення.
3. *Виробничі дані* про виріб містять відомості про статус конкретних екземплярів виробу і його компонентів у виробничому циклі.
 4. *Дані про якість виробу* – це сукупність інформаційних об'єктів, що розробляються при виконанні всіх видів контролю. Вони містять відомості про ступінь відповідності виробу заданим технічним вимогам (ТВ), стандартам і ін.
 5. *Логістичні дані* про виріб складаються в процесі проектування і розробки, містять відомості про просторово-часові зв'язки планування взаємодій всіх суб'єктів і для підтримки виробу на після виробничих стадіях ЖЦ.
 6. *Експлуатаційні дані* про виріб складаються в процесі проектування і розробки, містять керівництва по експлуатації, відомості для організації обслуговування, ремонту та інших дій, що забезпечують працездатність виробу

Єдина інтегрована модель виробу, зображена на рис. 2.8, містить всю інформацію про виріб (його властивості, інформацію про нього і його виробництво), необхідну на будь-якому з етапів ЖЦ. Дані моделі виробу складаються з модулів, при побудові кожного з яких повинні використовуватися єдині засоби і методи побудови моделей, а також забезпечуватись цілісність всієї моделі, яка описує виріб.

Для забезпечення узгодженої роботи всіх підрозділів виробництва, що беруть участь в проектуванні, виробництві, реалізації та експлуатації радіоелектронних приладів, використовується відповідна інформаційна підтримка етапів життєвого циклу промислових виробів.

CALS (Continuous Acquisition and Life-cycle Support – безперервна інформаційна підтримка ЖЦ виробу) – це стратегія

систематичного впровадження сучасних методів інформаційної взаємодії учасників життєвого циклу продукції.



Рисунок 2.8 – Інтегрована модель виробу

Мета реалізації *CALS-стратегії* – це якісне підвищення ефективності діяльності за рахунок прискорення процесів дослідження, розробки і модернізації продукції.

CALS – це не конкретний програмний продукт і не набір правил, а саме концепція. Суть *концепції CALS* полягає у створенні єдиної інтегрованої моделі виробів. Концепція *CALS* реалізується у вигляді відповідних *CALS-технологій* і визначає набір правил, регламентів, стандартів, взаємодії учасників процесів проектування, виробництва, випробувань і т.д.

Призначення CALS-технологій полягає у забезпеченні надання необхідної інформації в потрібний час, в потрібному вигляді, в конкретному місці будь-якому з учасників життєвого циклу промислових виробів.

Побудова відкритих розподілених автоматизованих систем для проектування і управління в радіоелектронній промисловості складає основу сучасної *CALS-технології*. Головна проблема їх побудови – забезпечення однакового опису та інтерпретації даних, незалежно від місця і часу їх отримання в загальній системі, що має глобальні масштаби.

Структура проектної, технологічної та експлуатаційної документації та мови її подання повинні бути стандартизованими. Тоді стає реальною успішна робота над спільним проектом

різних колективів, розділених в часі і просторі та використовуючи різні CAE/CAD/CAM-системи. Одна і та ж проектна документація може бути використана багаторазово в різних проектах, а одна і та ж технологічна документація – в різних виробничих умовах, що істотно скоротить і здешевить загальний цикл проектування і виробництва. Спрощується експлуатація систем.

До *ключових областей CALS* відносять:

- сучасні інформаційні технології;
- інформаційну інтеграцію процесів ЖЦ виробів;
- реінжиніринг бізнес-процесів і управління проектами;
- паралельне проектування;
- віртуальне підприємство;
- електронний обмін даними;
- розподілені системи підтримки прийняття рішень;
- інтегровану логістичну підтримку;
- розраховані на багато користувачів бази даних;
- метаописи систем понять і їх зберігання;
- метаописи предметних областей;
- міжнародні стандарти.

На кожному з етапів автоматизації ЖЦ радіоелектронних приладів застосовуються різноманітні автоматизовані системи, що зображено на рис. 2.9.

На рис. 2.9 приведені загальноприйняті міжнародні аббревіатури, що мають наступне пояснення:

- CAD – Computer Aided Design (Автоматизоване проектування);
- CAM – Computer Aided Manufacturing (Автоматизована технологічна підготовка виробництва);
- CAE – Computer Aided Engineering (Автоматизовані розрахунки і аналіз);
- PDM – Product Data Management (Управління проектними даними);
- ERP – Enterprise Resource Planning (Планування і управління підприємством);
- MRP-2 – Manufacturing (Material) Requirement Planning

- (Планування виробництва);
- MES – Manufacturing Execution System (Виробнича виконавча система);
 - SCM – Supply Chain Management (Управління ланцюгами поставок);
 - CRM – Customer Relationship Management (Управління взаєминами із замовниками);
 - SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition (Диспетчерське управління виробничими процесами);
 - CNC – Computer Numerical Control (Комп'ютерне числове управління);
 - S&SM – Sales and Service Management (Управління продажами і обслуговуванням);
 - CPC – Collaborative Product Commerce (Спільний електронний бізнес).

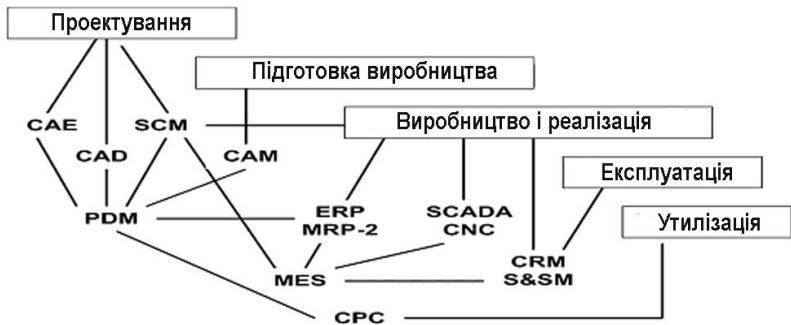


Рисунок 2.9 – Етапи ЖЦ автоматизованих виробів та системи їх автоматизації

На етапі конструювання сучасні системи автоматизованого проектування (САПР), або системи CAE/CAD, що забезпечують наскрізне проектування складних виробів або, принаймні, виконують більшість проектних процедур, мають багатомодульну структуру. Модулі розрізняються своєю орієнтацією на ті чи інші проектні завдання стосовно до тих чи інших типів пристроїв і конструкцій. При цьому виникають природні проблеми,

пов'язані з побудовою загальних баз даних, з вибором протоколів, форматів даних і інтерфейсів різнорідних підсистем, з організацією спільного використання модулів при груповій роботі.

Для вирішення проблем спільного функціонування компонентів САПР різного призначення розробляються системи управління проектними даними – системи PDM. Вони або входять до складу модулів конкретної САПР, або мають самостійне значення і можуть працювати спільно з різними САПР.

Уже на етапі *проекткування* потрібні послуги системи SCM, іноді званої системою управління поставками комплектуючих (Component Supplier Management), яка на етапі виробництва забезпечує постачання необхідних матеріалів і комплектуючих.

На етапі *виготовлення*, автоматизовані системи технологічної підготовки виробництва (АСТПВ), що становлять основу системи САМ, виконують синтез технологічних процесів і програм для устаткування з числовим програмним управлінням (ЧПУ), вибір технологічного обладнання, інструменту, оснащення, розрахунок норм часу і т.п. Модулі системи САМ зазвичай входять до складу розвинених САПР, і тому інтегровані САПР часто називають системами CAE/CAD/CAM/PDM.

Функції *управління* на промислових підприємствах виконуються автоматизованими системами на декількох ієрархічних рівнях. Автоматизацію управління на верхніх рівнях від корпорації (виробничих об'єднань підприємств) до цеху здійснюють АСУВ, що класифікуються як системи ERP або MRP-2.

Найбільш розвинені системи ERP виконують різні бізнес-функції, пов'язані з плануванням виробництва, закупівлями, збутом продукції, аналізом перспектив маркетингу, управлінням фінансами, персоналом, складським господарством, урахуванням основних фондів і т.п. Системи MRP-2 орієнтовані головним чином на бізнес-функції, безпосередньо пов'язані з виробництвом.

АСУТП контролюють і використовують дані, що характеризують стан технологічного обладнання і протікання техноло-

гічних процесів. Саме їх частіше називають системами *промислової автоматизації*.

Для виконання диспетчерських функцій (збору і обробки даних про стан обладнання та технологічних процесів) і розробки програмного забезпечення для вбудованого обладнання до складу АСУТП вводять систему SCADA. Для безпосереднього програмного управління технологічним обладнанням використовують системи CNC на базі контролерів (спеціалізованих комп'ютерів, які називаються промисловими), вбудованих в технологічне обладнання.

На етапі *реалізації продукції* виконуються функції управління відносинами з замовниками і покупцями, проводиться аналіз ринкової ситуації, визначаються перспективи попиту на заплановані до випуску вироби. Ці завдання вирішуються за допомогою системи CRM. Маркетингові функції іноді покладаються на систему S&SM, яка, крім того, служить для вирішення проблем обслуговування.

На етапі *експлуатації* застосовуються спеціалізовані комп'ютерні системи, зайняті питаннями ремонту, контролю, діагностики експлуатованих систем. Обслуговуючий персонал використовує інтерактивні навчальні посібники та технічні керівництва, а також кошти для дистанційного консультування при пошуку несправностей, програми для автоматизованого замовлення деталей замість відмовили.

Слід зазначити, що функції деяких автоматизованих систем часто *перекриваються*. Зокрема, це відноситься до систем ERP і MRP-2. Управління маркетингом може бути доручено як системі ERP, так і системі CRM або S&SM. На рішення оперативних завдань управління проектуванням, виробництвом і маркетингом орієнтовані системи MES. Вони близькі за деякими функціями до систем ERP, PDM, SCM, S&SM і відрізняються від них саме оперативністю, прийняттям рішень в реальному часі, причому важливе значення надається оптимізації цих рішень з урахуванням поточної інформації про стан обладнання і процесів.

Перераховані автоматизовані системи можуть працювати автономно, і в даний час так зазвичай і відбувається. Однак ефективність автоматизації буде помітно вище, якщо дані, які генеруються в одній з систем, будуть доступні в інших системах, оскільки прийняті в них рішення стануть більш обґрунтованими.

Щоб досягти належного рівня взаємодії промислових автоматизованих систем, потрібне створення єдиного інформаційного простору не тільки на окремих підприємствах, а й, що важливіше, в рамках об'єднання підприємств. Єдиний інформаційний простір забезпечується завдяки уніфікації як форми, так і змісту інформації про конкретних виробач на різних етапах їх життєвого циклу.

Уніфікація форми досягається використанням стандартних форматів і мов представлення інформації в міжпрограмних об'єктах і при документуванні.

Уніфікація змісту – це однозначна правильна інтерпретація даних по конкретному виробу на всіх етапах його ЖЦ, що забезпечується розробкою онтології (метаописів) додатків, що закріплюються в прикладних CALS-протоколах.

Уніфікація термінології – це уніфікація переліків і найменувань сутностей, атрибутів і відносин в певних предметних галузях, що є основою для єдиного електронного опису виробу в CALS-просторі.

2.5 Кількісні показники якості радіоелектронних приладів в умовах автоматизованого виробництва

У зв'язку із збільшеною складністю, а також через високі вимоги, що пред'являються до роботи сучасних радіоелектронних приладів, виготовлених в умовах автоматизованого виробництва, велика увага в процесі розробки, виготовлення і експлуатації приділяється підвищенню *надійності* та її прогнозування – одного з головних показників якості та однієї з основних проблем, що поставлені перед конструкторами і розробниками у даній галузі. Основним шляхом підвищення надійності радіо-

електронних приладів є підвищення надійності кожного їх елемента. Визначення показників надійності – один з найскладніших етапів проектування складальних одиниць, модулів і радіоелектронних приладів в цілому.

Надійність приладу, або його окремих блоків і вузлів – це можливість самого приладу (і його елементів) виконувати протягом необхідного часу задані функції за певних умов використання, технічного обслуговування, ремонту, зберігання і транспортування.

Надійність – це комплексна властивість. Залежно від призначення приладу і умов його експлуатації вона може включати чотири складових: безвідмовність, ремонтопридатність, збереженість довговічність.

Безвідмовність – властивість пристрою, що полягає в пристосованості до попередження і виявлення причин виникнення відмов, пошкоджень і усунень їх наслідків шляхом проведення ремонту і техобслуговування.

Збереженість – властивість пристрою безперервно зберігати справний і працездатний стан протягом зберігання і після нього і (або) при транспортуванні.

Довговічність – властивість пристрою зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі.

Подія, що полягає в частковій або повній втраті працездатності і що приводить до невиконання або неправильного виконання тестів і задач називають *відмовою*. Відмови по своєму характеру ділять на раптові (різка, стрибкоподібна зміна параметра) і поступові (зміна параметрів до виходу за норму).

Збій – це відмова, що усувається самостійно і виникає в результаті тимчасово діючих причин. Інтенсивність відмов характеризується відношенням числа елементів, що відмовили, в одиницю часу до числа виробів, що продовжують залишатися справними до початку даного проміжку часу, тобто

$$\lambda = \frac{m}{N \cdot t}, \quad (2.4)$$

де m – число виробів, що відмовили за час t ;

N – число справних виробів.

Інтенсивність відмов пристрою дорівнює сумі інтенсивностей відмов елементів, що становлять пристрій

$$\lambda = \sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot C_i, \quad (2.5)$$

де C_i – кількість елементів i -го типу, вхідного пристрою;

λ_i – інтенсивність відмов елементів i -го типу.

Розрахунок надійності приладів проводять для *періоду нормальної експлуатації*, якому відповідає експоненціальний закон густини розподілу напрацювання повністю

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t}. \quad (2.6)$$

Вірогідність безвідмовної роботи радіоелектронних приладів (тобто вірогідність того, що не буде відмови в межах заданого напрацювання) залежить від інтенсивності відмов і описується:

- для раптових відмов по експоненціальному закону

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t}; \quad (2.7)$$

- для поступових відмов по нормальному закону (Гауса)

$$P(t) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma^2}} \int_0^{\infty} e^{-\frac{(t-T_{cp})^2}{2 \cdot \sigma^2}} dt, \quad (2.8)$$

де σ^2 – дисперсія середнього напрацювання повністю;

T_{cp} – середній час безвідмовної роботи.

Для режимів зберігання і транспортування вірогідність не виникнення відмов і середній час напрацювання повністю визначають аналогічно, замінюючи напрацювання тривалістю зберігання до відмови.

Середній час між сусідніми відмовами, або *напрацювання на відмову* дорівнює

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda}. \quad (2.9)$$

При виникненні відмов працездатність пристрою відновляється шляхом ремонту (усунення несправності).

Час відновлення T_B – величина випадкова і розподілена по експоненціальному закону. Середній час відновлення дорівнює

$$T_B = \sum_{i=1}^m \frac{\tau_i}{m}, \quad (2.10)$$

де τ_i – час, необхідний на виявлення і усунення i -ї відмови;

m – число відмов.

Коефіцієнт готовності K_z – це вірогідність того, що прилад опиниться в працездатному стані у будь-який момент часу, окрім періодів, в які його використання не планується

$$K_z = \frac{T}{T + T_e}, \quad (2.11)$$

де T – загальний час справної роботи за період експлуатації;

T_B – час відновлення за цей же період

Коефіцієнт технічного використання визначається наступним чином

$$K_{TH} = \frac{T}{T + T_e + T_n}, \quad (2.12)$$

де T – час перебування ЕОМ в працездатному стані;

T_n – час профілактики;

T_e – час відновлення (ремонт).

Розрахунок надійності елементів, вузлів і радіоелектронних приладів в цілому проводиться для експоненціального зако-

ну розподілу відмов в часі (розрахунки для нормального закону, або закону Вейбулла, що використовується для визначення надійності електромеханічних елементів і значно складніший). Пропонована методика дозволяє визначити кількісні показники надійності з метою уточнення:

- вибору найнадійніших варіантів функціональних елементів, вузлів, блоків і пристроїв;
- вибору варіантів найбільш надійних конструктивних модулів для однієї моделі приладу;
- оцінки кількісних показників надійності;
- визначення складу і кількості запасних частин і обладнання.

Нормування (визначення) кількісних показників надійності функціональних частин приладів (пристроїв, блоків, вузлів, елементів) проводиться послідовно в 5 етапів:

- 1 – модель;
- 2 – пристрій;
- 3 – блок;
- 4 – вузол;
- 5 – функціональний елемент.

Як показник безвідмовності приладів, чисельне значення якого підлягає розподілу між складовими частинами, приймається напрацювання на відмову. Як показники надійності (безвідмовності) радіоелектронних приладів, чисельні значення яких підлягають встановленню при нормуванні, приймаються: напрацювання на відмову – для пристроїв, модулів, електронних і електромеханічних блоків або вузлів; інтенсивність відмов – для комплектуючих виробів (інтегральних мікросхем та електрорадіоелементів).

Початкові дані для розрахунку показників надійності типових конструкцій радіоелектронних приладів:

- принципова схема з вказівкою типу деталей, що входять в неї;
- режими роботи всіх деталей (електричні, кліматичні і механічні);

- значення інтенсивності відмов всіх типів деталей при фактичних і номінальних режимах;
- значення середнього часу безвідмовної роботи;
- дисперсія для елементів, схильних поступовим відмовам.

Для *типових конструкцій* різного рівня розраховують наступні показники:

- інтенсивність відмов для типового елемента заміни;
- інтенсивність відмов і напрацювання на відмову для панелі (блоку);
- інтенсивність відмов, напрацювання на відмову і середній час відновлення для рами, стійкі.

Сумарна інтенсивність відмов типової конструкції розраховується за формулою

$$\lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i \cdot n_i, \quad (2.13)$$

де N – число типів елементів;

λ_i та n_i – інтенсивність відмов і кількість елементів i -го типу.

Розрахунок *напрацювання на відмову пристрою* проводиться наступним чином

$$T_o = \frac{1}{\lambda}. \quad (2.14)$$

Інтенсивність відмов комплектуючих елементів, що є їх початковою характеристикою надійності і залежить від режиму роботи та ступеня тяжкості таких зовнішніх дій, як температура, тепловий удар, вологість, вібрації, лінійні прискорення, удари, радіація і т.п., можливо записати

$$K = K_E + K_g + K_T, \quad (2.15)$$

де K_E – коефіцієнт електричного навантаження;

K_g – коефіцієнт тимчасового навантаження;

K_T – поправочний коефіцієнт, що враховує режими роботи і умови експлуатації.

Для обліку впливу режиму роботи на інтенсивність відмов електрорадіоелементів вводять визначення *коефіцієнта навантаження*

$$K_{\text{Э}} = \frac{H_{\text{роб}}}{H_{\text{ном}}}, \quad (2.16)$$

де $H_{\text{роб}}$ – навантаження в робочому режимі;

$H_{\text{ном}}$ – навантаження в номінальному режимі.

Коефіцієнт навантаження для транзисторів

$$K_{\text{Э1мр}} = \frac{P_{\text{к.роб}}}{P_{\text{к.ном}}}, \quad K_{\text{Э2мр}} = \frac{U_{\text{к.э.роб}}}{U_{\text{к.э.ном}}}. \quad (2.17)$$

Коефіцієнт навантаження для резисторів

$$K_{\text{Э.р.}} = \frac{P_{\text{роб}}}{P_{\text{ном}}}. \quad (2.18)$$

Коефіцієнт навантаження для конденсаторів

$$K_{\text{Э.к.}} = \frac{U_{\text{роб}}}{U_{\text{ном}}}. \quad (2.19)$$

Коефіцієнти навантаження для діодів

$$K_{\text{Э2д}} = \frac{U_{\text{обр.роб}}}{U_{\text{обр.ном}}}, \quad K_{\text{12д}} = \frac{I_{\text{пр.роб}}}{I_{\text{пр.ном}}}. \quad (2.20)$$

Коефіцієнти навантаження для трансформаторів

$$K_{\text{Э.тр}} = \frac{J_{\text{i.роб}}}{J_{\text{i.ном}}}, \quad (2.21)$$

де J_i – густина струму в i -й обмотці.

Тепловий режим інтегральних схем значно впливає на їх інтенсивність відмов. Залежність відносної інтенсивності відмов інтегральних схем при їх експлуатації від температури називають *поправочним коефіцієнтом по температурі*. Для обліку режиму роботи інтегральної мікросхеми вводять коефіцієнт, що оцінює відповідно до тимчасової діаграми дію на неї сигналів верхнього і нижнього рівнів по відношенню до номінального режиму (K_{ic}). На початкових етапах проектування вплив зовнішніх дій на інтенсивність відмов для приладів різного призначення можливо обчислити за допомогою *інтегрального поправочного коефіцієнта*

$$K_m = \frac{\lambda}{\lambda_0}, \quad (2.22)$$

де λ_0 – інтенсивність відмов елементів за нормальних умов роботи (температура середовища $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$, атмосферний тиск (760 ± 30) мм рт.ст., відносна вологість $(65 \pm 15)\%$).

Типовий елемент заміни – це конструктивна одиниця, що служить для електричного об'єднання інтегральних схем і електричних компонентів. Визначають інтенсивність відмов типового елемента заміни за формулою

$$\lambda = \sum_{i=1}^p k_i \cdot \lambda_i \cdot n_i + \sum_{j=1}^m k_j \cdot \lambda_j \cdot n_j + \sum_{k=1}^R \lambda_k \cdot n_k, \quad (2.23)$$

де λ_i – інтенсивність відмов елементів i -го типу (електро-радіоелементи або спецементи);

λ_j – інтенсивність відмов елементів j -го типу (інтегральні схеми);

λ_k – інтенсивність відмов елементів конструкції типового елемента заміни (паяння, зварювання, накрутка, металізовані отвори, друковані провідники, друкована плата в цілому);

k_i, k_j – коефіцієнти, що враховують відмінність в інтенсивностях відмов елементів i -го і j -го типів відповідно при дії на них електричних навантажень верхнього або нижнього рівнів, змінних відповідно до тимчасової діаграми;

n_i, n_j, n_k – кількість елементів i -го, j -го і k -го типу, відповідно;

p, m, R – кількість типів елементів в типовому елементі заміни.

Інтенсивність відмов панелі визначають за формулою

$$\lambda = \sum_{i=1}^p \lambda_{mэз} \cdot N_i + \sum_{j=1}^m \lambda_{d0} \cdot n_j + \sum_{k=1}^n \lambda_i \cdot n_i, \quad (2.24)$$

де $\lambda_{mэз}$ – інтенсивність відмов типового елемента заміни, год.;

N_i – кількість однотипних типових елементів заміни, шт.;

λ_{d0} – інтенсивність відмов елементів конструкції панелі (друкована платня в цілому, роз'їм для з'єднання з типовим елементом конструкції, паяння, накрутка, металізований отвір, каркас панелі);

n_i – кількість елементів конструкції;

λ_i – інтенсивність відмов елементів i -го типу, що встановлені на панелі (в блоці).

Напрацювання панелі на відмову визначають наступним чином

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_n}. \quad (2.25)$$

Вірогідність безвідмовної роботи пристрою для раптових відмов у випадку навантаженого резерву із загальним резерву-

ванням всього пристрою в цілому без відновлення пристрою, що відмовив, визначається з формули

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t}, \quad (2.26)$$

де t – час випробувань на безвідмовність.

У випадку перегріву блоку, чи одного з його складових елементів, прилад може дати збій, чи зовсім вийти з ладу. Це ставить перед розробниками завдання обрахунку та прогнозування *теплових режимів* блоків радіоелектронних приладів. *Розрахунок теплового режиму блоку* приладу полягає у визначенні за електричними, конструктивними даними і параметрами навколишнього середовища температур нагрітої зони, поверхонь елементів, повітря, корпусу і т.п. Вибір типу охолодження проводиться за даним перегрівом ΔT і питомим тепловим навантаженням (потужністю розсіювання) q_k за графіком, приведеним на рис. 2.10.

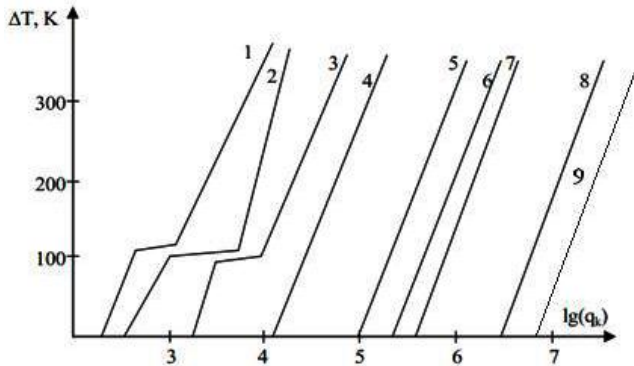


Рисунок 2.10 – Види охолодження: 1 – природне повітряне; 2 – можливе застосування природного і примусового повітряного; 3 – примусове повітряне; 4 – можливе застосування примусового повітряного і рідинного; 5 – примусове рідинне; 6 – можливе застосування примусового рідинного і природного випарного; 7 – можливе застосування примусового рідинного, примусового і природного випарного; 8 – можливе застосування природного і примусового випарного; 9 – примусове випарне

Визначальними параметрами для розрахунку *теплого режиму блоку в герметичному корпусі* є питомі потужності розсіювання блоку приладу в цілому і нагрітої зони q_k і q_3 відповідно

$$q_k = \frac{P_o}{S_\kappa}, \quad q_3 = \frac{P_3}{S_3}, \quad (2.27)$$

де P_o – розсіювана потужність;

S_κ – площа поверхні корпусу блоку приладу

$$S_\kappa = 2 \cdot (L_1 \cdot L_2 + L_3 \cdot (L_1 + L_2)), \quad (2.28)$$

де L_1, L_2, L_3 – відповідно довжина, ширина і висота підстави блоку приладу;

S_3 – умовна величина поверхні нагрітої зони

$$S_3 = 2 \cdot (L_1 \cdot L_2 + L_3 \cdot K_3 \cdot (L_1 + L_2)), \quad (2.29)$$

де K_3 – коефіцієнт заповнення об'єму.

В загальному випадку, *перегрів корпусу герметичного блоку приладу, що працює в нормальних кліматичних умовах, відносно навколишнього середовища визначається залежністю*

$$V_1 = 0,1472 \cdot q_k - 0,2962 \cdot 10^{-3} \cdot q_k^2 + 0,3127 \cdot 10^{-6} \cdot q_k^3, \quad (2.30)$$

де q_k – питома потужність, Вт/м².

Перегрів нагрітої зони визначається аналогічною залежністю

$$V_2 = 0,1390 \cdot q^3 - 0,1223 \cdot 10^{-3} \cdot q^2 + 0,0698 \cdot 10^{-6} \cdot q^3, \quad (2.31)$$

Зміна атмосферного тиску зовні корпусу впливає на перегрів корпусу блоку приладу щодо температури навколишнього повітря, а усередині корпусу – на перегрів нагрітої зони щодо

температури корпусу блоку приладу. Виходячи з цього, *перегрів нагрітої зони*, в загальному випадку, визначається

$$V_3 = V_1 \cdot K_{H_1} + (V_2 - V_1) \cdot K_{H_2}, \quad (2.32)$$

де перший доданок – це перегрів корпусу $V_k = V_1 \cdot K_{H_2}$.

Коефіцієнт K_{H_1} визначається тиском повітря зовні блоку приладу

$$K_{H_1} = 0,82 + \frac{1}{0,925 + 4,6 \cdot 10^{-5} \cdot H_1}, \quad (2.33)$$

а K_{H_2} залежить від тиску середовища у середині блоку приладу

$$K_{H_2} = 0,80 + \frac{1}{1,25 + 3,8 \cdot 10^{-6} \cdot H_2}, \quad (2.34)$$

де H_1 і H_2 – атмосферний тиск, МПа, зовні і усередині блоку приладу відповідно.

За отриманими даними визначають:

- *перегрів повітря у блоці* (приладі)

$$\theta_g = 0,5 \cdot (\theta_k + \theta_3); \quad (2.35)$$

- *середню температуру повітря в блоці* (приладі)

$$T_g = \theta_g + T_c; \quad (2.36)$$

- *температуру корпусу блоку* (приладу)

$$T_k = \theta_k + T_c; \quad (2.37)$$

- *температуру нагрітої зони*

$$T_3 = \theta_3 + T_c, \quad (2.38)$$

де T_c – температура навколишнього середовища.

Наявність перфораційних отворів враховується *коефіцієн-*

том перфорації, залежним від відносної площі перфораційних отворів:

$$K_{\Pi} = \frac{S_{\Pi}}{L_1 \cdot L_2}, \quad (2.39)$$

де S_{Π} – сумарна площа перфораційних отворів.

Розрахунок режиму стандартного блоку з примусовою вентиляцією можливо проводити виходячи з наступної моделі блоку приладу: корпус блоку має форму паралелепіпеда, в протилежних гранях якого є пристрої для підведення і відведення повітря. Усередині корпусу розташовано або шасі, яке ділить блок на два відсіки, або n касет, які ділять блок на $n+1$ відсіків. Деталі можуть мати різну форму і розміри, і розміщуватися на шасі (платі) хаотично.

Кондуктивні стоки тепла відсутні, а блок приладу працює в наступних умовах, що наведені у вигляді прикладу для розрахунку:

- температура навколишнього середовища: $-60 \dots +60$ °C;
- температура охолоджуючого повітря на вході в блок: $-20 \dots +60$ °C;
- коефіцієнт заповнення блоку: $0,1 \dots 0,85$;
- потужність, розсіювання в блоці: $5 \dots 800$ Вт;
- масова витрата охолоджуючого повітря: $0,003 \dots 0,25$ кг/с;
- перетин блоку, перпендикулярний до напрямку обдуву: $0,020 \dots 0,750$ м²;
- довжина блоку у напрямі обдуву: $0,1 \dots 0,8$ м.

Виходячи з припущення, що електрорадіоеlementи рівномірно заповнюють об'єм блоку, а середня температура повітря усередині блоку дорівнює

$$\theta_3 = 5 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{P_o}{G} + M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdot M_4, \quad (2.40)$$

де G – масова витрата охолоджуючого повітря;

M_1 – коефіцієнт, що враховує величину масової витрати

повітря

$$M_1 = \frac{10^{-3}}{\sqrt{G}}; \quad (2.41)$$

M_2 – коефіцієнт, що враховує величину площі поперечного до напрямку обдуву перетину блоку

$$M_2 = (L_1 \cdot L_2)^{-0,406}; \quad (2.42)$$

M_3 – коефіцієнт, що враховує довжину блоку у напрямі обдуву

$$M_3 = L_3^{-1,059}; \quad (2.43)$$

M_4 – коефіцієнт, що враховує заповнення блоку

$$M_4 = K_3^{-0,42} \cdot \sqrt{1 - \sqrt[3]{K^2}}. \quad (2.44)$$

Окрім забезпечення високого рівня вже розглянутих показників якості виробів радіоелектронного приладобудування необхідно також враховувати забезпечення *технологічності конструкції*, яка є одним з найважливіших параметрів, що визначає більшість експлуатаційних, конструкторських та економічних показників радіоелектронних приладів.

Технологічність конструкції – це сукупність властивостей конструкції виробу, що виявляються в можливості оптимальних витрат праці, коштів, матеріалів і часу під час технічної підготовки виробництва, виготовлення, експлуатації і ремонту виробу порівняно з відповідними показниками однотипних конструкцій виробів того ж призначення за умови забезпечення встановлених значень показників якості в регламентованих умовах виробництва.

Під регламентованими умовами виробництва мають на увазі тип виробництва, спеціалізацію й організацію виробництва, річний обсяг випуску, повторюваність випуску та технологічні процеси, що були застосовані.

Забезпечення технологічності конструкції виробу – функ-

ція підготовки виробництва, що передбачає взаємозалежне вирішення конструкторських і технологічних задач, спрямованих на підвищення продуктивності праці, досягнення оптимальних матеріальних і трудових витрат та скорочення часу на виробництво, технічне обслуговування і ремонт виробу.

Існують наступні *види технологічності конструкції* виробу:

- виробнича – відповідає етапу виробництва виробу;
- експлуатаційна – відповідає етапу експлуатації і поточного ремонту виробу;
- ремонтна – відповідає усім вимогам ремонту, крім поточного.

Для забезпечення технологічності конструкції виробу передбачене виконання таких заходів:

- відпрацювання конструкції виробу на технологічність на всіх стадіях розробки, під час технологічної підготовки виробництва і, у разі необхідності, під час виготовлення виробу;
- удосконалення умов виконання робіт під час виробництва, експлуатації та ремонту виробів і фіксація прийнятих рішень у технологічній документації;
- кількісна оцінка технологічності конструкції виробів;
- технологічний контроль конструкторської документації;
- підготовка і внесення змін у конструкторську документацію за результатами технологічного контролю, що забезпечують досягнення базових показників технологічності.

Відпрацювання конструкції на технологічність здійснюється спільно розроблювачами конструкторської і технологічної документації, підприємствами-виготовлювачами виробу і представниками замовника (фахівцями з технічного обслуговування і ремонту виробів).

На стадії *технологічної підготовки виробництва* існують такі вимоги до технологічності конструкції:

- конструкція деталі повинна складатися зі стандартних і уніфікованих конструктивних елементів або бути стандар-

- тною в цілому;
- деталі повинні виготовлятися зі стандартних чи уніфікованих заготовок;
 - розміри і поверхні деталі повинні мати оптимальні точність і шорсткість;
 - фізико-хімічні і механічні властивості деталей повинні відповідати вимогам технології виготовлення;
 - показники базової поверхні (точність, шорсткість) деталі мають забезпечувати точність установа, оброблення та контролю;
 - заготовки повинні бути отримані раціональним способом з урахуванням заданого обсягу випуску та типу виробництва;
 - метод виготовлення повинен забезпечувати можливість одночасного виготовлення кількох деталей;
 - сполучення поверхонь різних класів точності та шорсткості мають відповідати методам і засобам обробки, що були застосовані;
 - конструкція деталі повинна забезпечувати можливість застосування типових і стандартних ТП виготовлення.

На практиці застосовують декілька видів оцінки технологічності конструкції виробу:

- *якісна* – проводиться на початковому етапі за двобальною системою: відповідає, чи не відповідає;
- *кількісна* – проводиться з метою визначення показників технологічності.

Послідовність робіт під час оцінки технологічності конструкції виробу наступна:

- розрахунок показників технологічності конструкції;
- визначення показників рівня технологічності конструкції виробу;
- розробка рекомендацій з поліпшення показників технологічності конструкції виробу;
- внесення змін у конструкцію з метою забезпечення технологічності.

Склад показників технологічності конструкції деталі наведений у табл. 2.1.

Відповідно до цього *рівень технологічності за трудомісткістю* виготовлення визначається наступним чином

$$K_{PT} = \frac{T_B}{T_{BB}}, \quad (2.45)$$

де T_B – трудомісткість виготовлення виробу, н-рік;

T_{BB} – базовий показник трудомісткості виробу – визначається за допомогою аналогічної конструкції, вже освоєної на виробництві, н-рік.

Таблиця 2.1

Склад показників технологічності конструкції виробу

Показники технологічності конструкції виробу	Стадія розробки конструкторської документації	
	дослідного зразка (дослідної партії)	серійного (масового виробництва)
Трудомісткість виготовлення виробу	немає	так
Технологічна собівартість	немає	так
Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів	так	не обов'язково

Базовий показник *трудомісткості виготовлення* виробу визначається так

$$T_{BB} = T_A \cdot K_{CK} \cdot K_T, \quad (2.46)$$

де T_A – трудомісткість конструкції, що є аналогом виробу, який проектується, н-рік;

$K_{СК}$ – коефіцієнт складності проекрованої конструкції;

K_T – коефіцієнт зниження трудомісткості.

Коефіцієнт складності проекрованої конструкції визначається з виразу

$$K_{СК} = \frac{P}{P_A}, \quad (2.47)$$

де P – технічний параметр конструкції проектованого виробу (маса, потужність тощо);

P_A – технічний параметр конструкції аналога.

Коефіцієнт зниження трудомісткості визначається за формулою

$$K_T = \left[\frac{100}{100} + K_{ПТ} \right] \cdot t_{ПР}, \quad (2.48)$$

де $K_{ПТ}$ – планове зростання продуктивності праці, 1/міс;

$t_{ПР}$ – період часу від початку проектування до запуску у виробництво, міс.

Рівень технологічності за технологічною собівартістю визначається з виразу

$$K_{РС} = \frac{C_T}{C_{БТ}}, \quad (2.49)$$

де C_T – технологічна собівартість виготовлення виробу, грн.;

$C_{БТ}$ – базове значення технологічної собівартості, грн.

Слід зазначити, що дана методика визначає порядок розрахунку показників виробничої технологічності. Найкращі ж результати досягаються за умови сполучення заходів щодо забезпечення як виробничої, так і експлуатаційної технологічності.

До показники рівня *технологічної підготовки виробництва* для підприємств галузі радіоелектронного приладобудування

відносяться наступні коефіцієнти.

Коефіцієнт застосування типових технологічних процесів (нормативний рівень складає 0,8)

$$K_{ТПП} = \frac{Q_{ТПП}}{Q_{ТП}}, \quad (2.50)$$

де $Q_{ТПП}$ – кількість типових технологічних процесів виготовлення, контролю та випробувань, що були застосовані;

$Q_{ТП}$ – загальна кількість технологічних процесів, що були застосовані.

Коефіцієнт уніфікації технологічної документації (нормативний рівень складає 0,9)

$$K_{УТД} = \frac{Q_{УФ}}{Q_{Ф}}, \quad (2.52)$$

де $Q_{УФ}$ – кількість найменувань форм документів, які відповідають стандартам;

$Q_{Ф}$ – загальна кількість найменувань форм документів, які застосовуються в технологічній підготовці виробництва.

Коефіцієнт забезпеченості нормативами для проектування (нормативний рівень складає 0,85)

$$K_{ЗН} = \frac{Q_{Н}}{Q_{ПН}}, \quad (2.53)$$

де $Q_{Н}$ – загальна кількість нормативів, які є на підприємстві, для вирішення задач технологічної підготовки виробництва;

$Q_{ПН}$ – потрібна кількість нормативів для вирішення задач технологічної підготовки виробництва.

Коефіцієнт автоматизації підготовки програм для верстатів ЧПК (нормативний рівень складає 0,7)

$$K_{АПП} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{AKП}}{Q_{ЗКП}}, \quad (2.54)$$

де $Q_{AKП}$ – кількість програм, які підготовлені за допомогою ЕОМ (автоматизованих) за рік;

$Q_{ЗКП}$ – загальна кількість розроблених за рік програм;

n – кількість років.

Коефіцієнт уніфікації класифікаторів техніко-економічної інформації, нормативний рівень якого складає 0,71:

$$K_{УК} = \frac{Q_{УК}}{Q_K}, \quad (2.55)$$

де $Q_{УК}$ – загальна кількість класифікаторів техніко-економічної інформації, які використовуються в технологічній підготовці виробництва і відповідають загальнодержавним та галузевим системам класифікації;

Q_K – загальна кількість класифікаторів техніко-економічної інформації, які використовуються в технологічній підготовці виробництва.

Коефіцієнт автоматизації проектування засобів технологічного оснащення (нормативний рівень 0,58)

$$K_{АПЗТО} = \frac{0,2 \cdot K_{АПП} + 0,4 \cdot K_{АПО} + 0,25 \cdot K_{АПТО}}{0,85}, \quad (2.56)$$

де $K_{АПП}$ – коефіцієнт автоматизації проектування інструменту;

$K_{АПО}$ – коефіцієнт автоматизації проектування оснащення;

$K_{АПТО}$ – коефіцієнт автоматизації проектування технологічного обладнання.

Коефіцієнт автоматизації проектування інструменту
(нормативний рівень дорівнює 0,72)

$$K_{АПИ} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Q_{AI}}{Q_I}}{n}, \quad (2.57)$$

де Q_{AI} – кількість типорозмірів інструменту, спроектованого автоматизовано на ЕОМ протягом року;

Q_I – загальна кількість типорозмірів спроектованого за рік інструменту;

n – кількість років;

Коефіцієнт автоматизації проектування оснащення (нормативний рівень 0,55)

$$K_{АПО} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Q_{AO}}{Q_O}}{n}, \quad (2.58)$$

де Q_{AO} – кількість типорозмірів оснащення, спроектованого автоматизовано на ЕОМ за рік;

Q_O – загальна кількість типорозмірів спроектованого за рік оснащення;

n – кількість років.

Коефіцієнт автоматизації проектування технологічного обладнання (нормативний рівень дорівнює 0,5)

$$K_{АПТО} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Q_{ATO}}{Q_{TO}}}{n}, \quad (2.59)$$

де Q_{ATO} – кількість типорозмірів технологічного обладнання, спроектованого автоматизовано на ЕОМ за рік;

Q_{TO} – загальна кількість типорозмірів спроектованого за рік технологічного обладнання;

n – кількість років.

Коефіцієнт застосування стандартних засобів технологічного оснащення (нормативний рівень дорівнює 0,69)

$$K_{зсзто} = \frac{0,15 \cdot K_{СТО} + 0,25 \cdot K_{СПТО} + 0,4 \cdot K_{СВТО} + 0,18 \cdot K_{СВІ}}{0,98} \quad (2.60)$$

де $K_{СТО}$ – коефіцієнт стандартизації технологічного оснащення;

$K_{СПТО}$ – коефіцієнт спеціалізації проектування технологічного оснащення;

$K_{СВТО}$ – коефіцієнт спеціалізованого виробництва технологічного оснащення;

$K_{СВІ}$ – коефіцієнт спеціалізованого виробництва інструменту.

Коефіцієнт стандартизації технологічного оснащення (нормативний рівень складає 0,75)

$$K_{СТО} = \frac{Q_{СТО}}{Q_{ОО}}, \quad (2.61)$$

де $Q_{СТО}$ – загальна кількість типорозмірів стандартних систем оснащення, які використовуються на підприємстві при виготовленні виробів;

$Q_{ОО}$ – загальна кількість типорозмірів оснащення, яке використовується на підприємстві при виготовленні виробів.

Коефіцієнт спеціалізації проектування технологічного оснащення (нормативний рівень дорівнює 0,66)

$$K_{СПТО} = \frac{Q_{СО}}{Q_{ОО}}, \quad (2.62)$$

де Q_{CO} – загальна кількість типорозмірів стандартних систем оснащення, які використовуються на підприємстві при виготовленні виробів.

Коефіцієнт спеціалізованого виробництва технологічного оснащення (нормативний рівень дорівнює 0,6)

$$K_{CBTO} = \frac{Q_{CPO}}{Q_{OO}}, \quad (2.63)$$

де Q_{CPO} – загальна кількість типорозмірів оснащення, виготовленого на спеціальних підприємствах з виготовлення технологічного оснащення, на виріб.

Коефіцієнт спеціалізованого виробництва інструменту (нормативний рівень 0,9)

$$K_{CBI} = \frac{Q_{CI}}{Q_{OI}}, \quad (2.64)$$

де Q_{CI} – загальна кількість типорозмірів інструмента, виготовленого на спеціалізованих інструментальних заводах, на виріб;

Q_{OI} – загальна кількість типорозмірів використовуваного інструмента на виріб.

Коефіцієнт спадковості засобів технологічного оснащення (нормативний рівень 0,44)

$$K_{CПЗТО} = \frac{0,29 \cdot K_{ЗАГО} + 0,24 \cdot K_{ЧПК} + 0,34 \cdot K_{ЗПО}}{0,87}, \quad (2.65)$$

де $K_{ЗАГО}$ – коефіцієнт застосування агрегатного обладнання;

$K_{ЧПК}$ – коефіцієнт застосування верстатів с ЧПК;

$K_{ЗПО}$ – коефіцієнт застосування переналагоджуваного оснащення.

Коефіцієнт застосування агрегатного обладнання (нормативний рівень 0,38)

$$K_{\text{заГО}} = \frac{Q_{\text{АГО}}}{Q_{\text{ОБ}}}, \quad (2.66)$$

де $Q_{\text{АГО}}$ – кількість агрегатного обладнання, яке використовується на підприємстві при виготовленні виробу;

$Q_{\text{ОБ}}$ – загальна кількість обладнання на виріб.

Коефіцієнт застосування верстатів с ЧПК (нормативний рівень 0,28)

$$K_{\text{чПК}} = \frac{Q_{\text{чПК}}}{Q_{\text{ОБ}}}, \quad (2.67)$$

де $Q_{\text{чПК}}$ – кількість обладнання з ЧПК на виріб.

Коефіцієнт застосування переналаджуваного оснащення (нормативний рівень 0,28)

$$K_{\text{зПО}} = \frac{Q_{\text{ПО}}}{Q_{\text{ОО}}}, \quad (2.68)$$

де $Q_{\text{ПО}}$ – кількість типорозмірів переналаджуваних систем оснащення на виріб.

Коефіцієнт технологічності конструкцій виробів (нормативний рівень 0,61)

$$n_{\text{ТКВ}} = \frac{K}{K_{\text{Б}}}, \quad (2.69)$$

де K – показник, досягнутий в процесі проектування або після його завершення;

$K_{\text{Б}}$ – показник базовий, відносно якого здійснюється порівняння. K і $K_{\text{Б}}$ – визначаються відповідно до норматив-

но-технічних документів.

Коефіцієнт уніфікації виробів (нормативний рівень дорівнює 0,65)

$$n_{yB} = \frac{n_y}{n_D} = \frac{n_D - n_0}{n_D}, \quad (2.70)$$

n_y – кількість типорозмірів уніфікованих деталей у виробі (включаючи стандартні);

n_0 – кількість типорозмірів оригінальних деталей у виробі;

n_D – загальна кількість типорозмірів деталей у виробі.

Коефіцієнт використання матеріалів (нормативний рівень 0,28)

$$n_{BM} = \frac{1}{\sum_{i=1} M_M} \sum M, \quad (2.71)$$

де M_M – маса матеріалу, витраченого на виготовлення складової частини виробу;

M – маса складової частини виробу.

Коефіцієнт завантаженості обладнання (нормативний рівень 0,8):

$$n_{3O} = \frac{F_D}{F_H}, \quad (2.72)$$

F_D – дійсний річний фонд часу одиниці технологічного обладнання в годинах;

F_H – номінальний річний фонд часу в годинах.

Питома вага застосування прогресивних високоефективних методів обробки (нормативний рівень 0,45)

$$n_{ЗПМ} = \frac{Q_{EM}}{Q_M}, \quad (2.73)$$

де Q_{EM} – кількість ефективних методів обробки, застосовуваних при виготовленні виробу;

Q_M – загальна кількість методів, що застосовано при виготовленні виробу.

Коефіцієнт оснащення технологічних процесів (нормативний рівень дорівнює 0,8)

$$n_{ОП} = \frac{Q_{OO}}{Q_D}, \quad (2.74)$$

де Q_{OO} – загальна кількість типорозмірів оснащення, яке використовується на підприємстві при виготовленні виробів;

Q_D – кількість деталей виробу, виготовлених на підприємстві.

Коефіцієнт стійкості і терміну служби інструментів (нормативний рівень дорівнює 1)

$$n_{ТСІ} = \frac{F_\Phi}{F_P}, \quad (2.75)$$

де F_Φ – фактичний ресурс роботи інструмента в годинах;

F_P – розрахунковий ресурс роботи інструмента в годинах.

Питома вага автоматичних обробляючих систем (нормативний рівень 0,41)

$$n_{AOC} = \frac{Q_{AOC}}{Q_{OB}}, \quad (2.76)$$

де Q_{AOC} – кількість шифрів автоматичних обробляючих

систем, працюючих в комплексі з ЕОМ, при виготовленні виробу.

Коефіцієнт застосування автоматичного і напівавтоматичного обладнання (нормативний рівень 0,62)

$$n_{\text{ЗАО}} = \frac{Q_{\text{АОБ}}}{Q_{\text{ОБ}}}, \quad (2.77)$$

де $Q_{\text{АОБ}}$ – кількість шифрів автоматичного і напівавтоматичного обладнання на виріб.

Питома вага технологічного обладнання в автоматичних системах (нормативний рівень 0,51)

$$n_{\text{ТО}} = \frac{Q_{\text{ОБАС}}}{Q_{\text{ОБ}}}, \quad (2.78)$$

де $Q_{\text{ОБАС}}$ – кількість обладнання, працюючого у складі автоматичних систем, які керуються від ЕОМ.

Коефіцієнт комплексної механізації транспортно-складських операцій (нормативний рівень 0,78)

$$n_{\text{МТСО}} = \frac{Q_{\text{МТРО}}}{Q_{\text{ТРО}}}, \quad (2.79)$$

де $Q_{\text{МТРО}}$ – кількість механізованих транспортно-складських операцій;

$Q_{\text{ТРО}}$ – загальна кількість транспортно-складських операцій у виробничому процесі виробу.

Коефіцієнт застосування засобів обчислювальної техніки у виробничому процесі (нормативний рівень 0,45)

$$n_{\text{ОТ}} = \frac{Q_{\text{ОТ}}}{Q_{\text{ОП}}}, \quad (2.80)$$

де Q_{OT} – кількість операцій у виробничому процесі виробу, виконаних за допомогою обчислювальної техніки;

Q_{OPP} – кількість операцій у виробничому процесі виробу.

Коефіцієнт застосування роботів (нормативний рівень 0,23)

$$n_{зр} = \frac{Q_{OPP}}{Q_{OP}}, \quad (2.81)$$

де Q_{OPP} – кількість операцій у виробничому процесі виробу, виконуваних роботами.

Коефіцієнт кооперованих поставок комплектуючих виробів (нормативний рівень 0,66)

$$n_{КП} = \frac{Q_{КПК}}{Q_{КП}}, \quad (2.82)$$

де $Q_{КПК}$ – кількість комплектуючих виробів, одержуваних за кооперацією;

$Q_{КП}$ – загальна кількість комплектуючих виробів.

Коефіцієнт спеціалізації виробництва деталей та вузлів загального застосування (нормативний рівень 0,72)

$$n_{СВДВ} = \frac{Q_{ДОБСП}}{Q_{ДОП}}, \quad (2.83)$$

де $Q_{ДОБСП}$ – кількість деталей та вузлів загального застосування, виготовлених на спеціалізованих підприємствах і одержаних за кооперацією;

$Q_{ДОБ}$ – загальна кількість деталей та вузлів загального застосування у виробі.

Коефіцієнт застосування автоматизованих систем управління виробничими процесами (нормативний рівень дорівнює 0,67)

$$n_{АСУ} = \frac{Q_{ОПАСУ}}{Q_{ОП}}, \quad (2.84)$$

$Q_{ОПАСУ}$ – кількість технологічних операцій виробничого процесу, що мають АСУ.

Коефіцієнт застосування групових методів обробки (нормативний рівень 0,55)

$$n_{ГМО} = \frac{\sum_{i=1}^k n'_{ГД}}{N}, \quad (2.85)$$

де $n'_{ГД}$ – річна програма i -ї операції групових ділянок;

k – кількість технологічних операцій групових ділянок обробки;

N – загальна річна програма виробу.

Коефіцієнт застосування потокових ліній (нормативний рівень 0,62)

$$n_{ЗПЛ} = \frac{\sum_{i=1}^m n_{РП}}{N}, \quad (2.86)$$

$n_{РП}$ – річна програма i -ї потокової лінії;

m – кількість потокових ліній.

2.6 Моделювання та оптимізація технологічних процесів автоматизованих виробництв радіоелектронного приладобудування

В наш час існує велика кількість методів моделювання ТП, що призводить до їх оптимізації.

Статистичні методи планування експерименту є одними з емпіричних способів отримання математичного опису складних процесів. При цьому математичний опис зазвичай подається у вигляді полінома.

План експерименту визначає розташування експериментальних точок у k -вимірному факторному просторі, чи, іншими словами, умови всіх дослідів, які необхідно провести. Зазвичай план експерименту задається у виді *матриці планування*, кожен рядок якої визначає умови досліду, а кожен стовпець – значення однієї з незалежних змінних у різних дослідах.

Часто експериментаторові буває досить отримати *математичну модель* процесу у вигляді лінійного полінома, у цьому випадку кожен із факторів варіюється на двох рівнях. Якщо при цьому здійснюються всі можливі комбінації з k - факторів, то реалізація експерименту за таким планом називається *повним факторним експериментом* (ПФЕ) типу 2^k .

Знаходження математичного опису методом ПФЕ практично виконується в наступному порядку:

- планування експерименту;
- проведення експерименту;
- перевірка відтворюваності;
- отримання математичної моделі об'єкта з перевіркою статистичної значимості коефіцієнтів полінома;
- перевірка адекватності математичного опису.

Центр плану, чи точка, в околі якої ставиться серія дослідів, вибирається на основі *ап'риорних відомостей* про процес, якщо ж вони відсутні, то зазвичай за центр плану вибирається центр досліджуваної області. Інтервали варіювання за кожною змінною вибираються такими, щоб збільшення величини вихід-

ного параметра у до базового значення y_0 можливо було виділити на фоні «шуму» при невеликій кількості паралельних дослідів. Зазвичай ж інтервал варіювання вибирають у межах 0,05-0,3 від діапазону варіювання за даною змінною.

Далі для зручності обробки результатів дослідів проводиться перетворення незалежних змінних X до безрозмірних змінних:

$$x_i = \frac{X_i - X_{0i}}{\Delta X_i}, \quad (2.87)$$

де X_{0i} – базовий чи початковий рівень i -ї змінної;

ΔX_i – інтервал варіювання за i -ю змінною.

Припустимо, що ми маємо справу з двома незалежними змінними X_1 і X_2 та при цьому значення кожної з них варіюємо на двох рівнях. Легко побачити, що всі можливі комбінації для двох факторів ($k=2$), які варіюються на двох рівнях, будуть вичерпані, якщо ми поставимо чотири досліди ($2^2=4$). Досліджені точки розташуються у вершинах квадрата, центр якого збігається з центром плану (рис. 2.11).

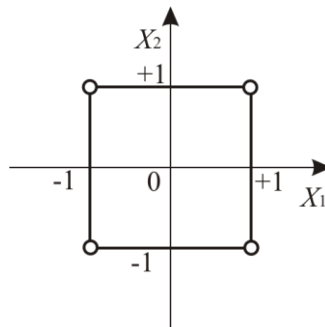


Рисунок 2.11 – Розташування точок, в яких проводиться дослід

У безрозмірній системі координат верхній рівень відповідно до виразу (2.87) дорівнює +1, а нижній дорівнює -1, координати ж центру плану дорівнюють нулю і збігаються з початком координат.

Складемо *матрицю планування* (табл. 2.2), де:

- у першому стовпці приведено значення фіктивної змінної $x_0=1$, відповідної до коефіцієнта b_0 ;
- значення верхнього й нижнього рівнів, змінних для спрощення запису, замінено символами (+) і (-) відповідно;
- у другому й третьому стовпцях наведено значення змінних x_1 і x_2 , чи власне планування;
- у четвертому стовпці дано значення добутку x_1x_2 .

Таблиця 2.2

Матриця планування 2^2

№ дослідю	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	у
1	+	-	-	+	y_1
2	+	+	-	-	y_2
3	+	-	+	-	y_3
4	+	+	+	+	y_4

При побудові матриці планування можливо користуватися наступним правилом: перший рядок матриці планування вибирається таким чином, щоб керовані змінні знаходилися на нижньому рівні (-); частота зміни знака керованих змінних для кожної наступної змінної вдвічі менше, ніж для попередньої.

Керуючись цим правилом, легко побудувати матрицю і для більшої кількості змінних; так, для трьох змінних ($k = 3$), де кількість дослідів (N) дорівнює $N = 2^3 = 8$, матриця планування буде мати вигляд табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Матриця планування 2^3

№ дослідю	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	у
1	+	-	-	-	+	+	+	-	y_1
2	+	+	-	-	-	+	+	+	y_2
3	+	-	+	-	-	-	-	+	y_3
4	+	+	+	-	+	-	-	-	y_4
5	+	-	-	+	+	-	-	+	y_5
6	+	+	-	+	-	-	-	-	y_6
7	+	-	+	+	-	+	+	-	y_7
8	+	+	+	+	+	+	+	+	y_8

У цьому випадку досліджені точки розташовуються у вершинах куба з центром $(0; 0; 0)$ (рис. 2.12).

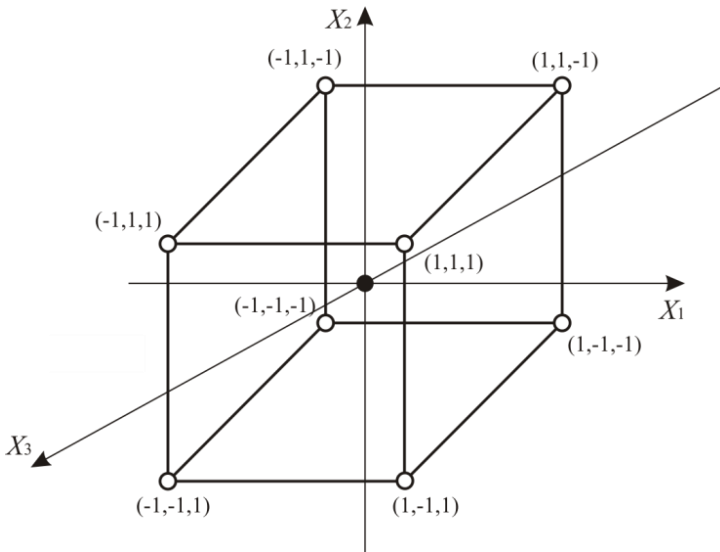


Рисунок 2.12 – Розташування точок, в яких проводиться дослід

Відзначимо деякі особливості наведених вище планів ПФЕ.

По-перше, досліджені точки відповідно до цих планів розташовано оптимальним чином, а саме: математичний опис процесу виявляється найбільш точним, ніж якби досліди проводилися в точках, розташованих якимось іншим чином.

По-друге, усі фактори і відповідно коефіцієнти поліному оцінюються незалежно один від одного, що забезпечується незалежністю й ортогональністю стовпців матриці планування.

Коли вплив на вихідний параметр членів x^2 стає значним і необхідно оцінити коефіцієнти при цих членах, то за допомогою ПФЕ не вдається роздільно оцінити коефіцієнти b_0 , b_{11} , b_{22} і т.д., тому що відповідні стовпці матриці планування будуть ідентичні між собою, отже, матриця стає не ортогональною із залежними стовпцями.

При дослідженні якого-небудь процесу зміна вихідної величини y через наявність неконтрольованих факторів має випадковий характер. Це обумовлює *необхідність*:

- по-перше, проведення паралельних дослідів, результати яких y_{q1}, y_{q2}, y_{q3} усереднюються

$$\bar{y}_g = \frac{\sum_{i=1}^m y_{gi}}{m}, \quad (2.88)$$

де y_{gi} – значення параметру;

i – номер дослідів;

m – число паралельних дослідів;

- по-друге, забезпечення випадкового порядку проведення експерименту, при якому всі неконтрольовані фактори були б рандомізовані.

Для цього перед безпосередньою реалізацією плану для кожної з m серій дослідів зазвичай визначається за допомогою таблиці випадкових чисел послідовність виконання дослідів на об'єкті.

Добре відомо, як навіть одна груба помилка може спотворити результати дослідження, проведеного за допомогою невеликого ряду експериментів. Цим і обумовлюється необхідність контролю відтворюваності результатів дослідження, що здійснюється за допомогою *критерію Кохрена*.

Оцінки дисперсій S_g^2 при цьому знаходяться

$$S_g^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (y_{gi} - \bar{y}_g)^2. \quad (2.89)$$

Якщо перевірка показала, що експерименти відтворені, то їх результати можливо використовувати для оцінки *коефіцієнтів регресії*; якщо ж експерименти не відтворені, то залишається визнати, що наявність неконтрольованих і некерованих факто-

рів створює на виході занадто великий рівень «шуму». При цьому можливо рекомендувати збільшити кількість паралельних дослідів.

Отримання математичної моделі об'єкта з перевіркою статистичної значимості коефіцієнтів полінома. Після виконання ПФЕ дослідник отримує можливість зробити незалежну оцінку коефіцієнтів полінома за наступною формулою

$$b_i = \frac{\sum_{g=1}^N x_{gi} \bar{y}_g}{N}, \quad (2.90)$$

де x_{gi} приймає значення +1 або -1 відповідно до матриці планування.

Таким чином, у чисельнику фактично стоїть сума середніх значень вихідного параметру за всіма дослідями з урахуванням рівня незалежної змінної x_i у g -му досліді.

Слід зазначити, що за допомогою формули (2.90) ми можемо знайти також коефіцієнти при добутках факторів $x_i x_j (i \neq j)$. Значення цих коефіцієнтів показують, наскільки вплив одного фактора залежить від значення іншого.

Після обчислення коефіцієнтів здійснюється оцінка їх значимості для визначення ступеня впливу різних факторів на вихідний параметр. Основою оцінки значимості є зіставлення значень абсолютного значення коефіцієнта $|b_i|$ і дисперсії помилки визначення коефіцієнта $S^2\{b_i\}$.

Оцінка значимості коефіцієнтів (перевірка нуль-гіпотези $b_i = 0$) виконується за допомогою *t-критерію Ст'юдента*, де в чисельник підставляється $|b_i|$

$$t_i = \frac{|b_i|}{S\{b_i\}}. \quad (2.91)$$

При ортогональному плануванні дисперсії помилок визна-

чення кожного з коефіцієнтів рівні між собою:

$$S^2\{b_i\} = \frac{S^2\{y\}}{N \cdot m}, \quad (2.92)$$

Для оцінки $S^2\{y\}$ дисперсії відтворюваності можливо скористатися групою вибірових дисперсій

$$S^2\{y\} = \frac{\sum_{g=1}^N S^2_g}{N}. \quad (2.93)$$

Коефіцієнт b_i виявляється значимим, якщо t_i перевищує значення t_{kp} для прийнятого рівня значимості q_{zn} , %, і кількості ступенів волі $\nu_{zn} = N(m-1)$.

Статистична незначимість коефіцієнта b_i може бути викликана наступними обставинами:

- рівень базового режиму за даною змінною (x_{0i}) (або за добутком змінних) близький до точки локального екстремуму

$$b_i \approx \frac{\delta y(\bar{X}_0)}{\delta x_i} = 0; \quad (2.94)$$

- крок варіювання Δx_i змінної був обраний занадто малим;
- велика помилка експерименту через наявність некерованих і неконтрольованих змінних;
- даний фактор (взаємодія факторів) не впливає на значення вихідного параметра.

Оскільки застосування ортогональних планів дає можливість оцінювати значення всіх коефіцієнтів незалежно один від одного, то, якщо один чи кілька коефіцієнтів виявляються незначущими, вони можуть бути відкинуті без перерахування інших.

Тепер, відкинувши незначущі коефіцієнти, отримуємо рівняння зв'язку, що подає приведену лінійну залежність вихідного параметра від технологічних факторів.

Математична модель повинна досить вірно, якісно й кількісно описувати властивості досліджуваного процесу, тобто вона повинна бути адекватною. Для перевірки адекватності досить оцінити відхилення отриманого за допомогою рівняння значення вихідного параметра t_g від результатів експерименту \bar{y}_g в точці \bar{X}_g факторного простору. Оцінюємо дисперсію адекватності

$$S^2_{ад} = \frac{1}{N - \alpha} \sum_{g=1}^N (y_g - \hat{y}_g)^2, \quad (2.95)$$

де α – кількість членів апроксимуючого полінома.

Якщо $\sigma^2_{ад}$ не перевищує дисперсії досліду $\sigma^2\{y\}$, то отримана математична модель адекватно подає результати експерименту, якщо ж $\sigma^2_{ад} > \sigma^2\{y\}$, то й опис вважається неадекватним об'єктові. Перевірка гіпотези про адекватність здійснюється за допомогою *F-критерію Фішера*.

Якщо обчислене значення критерію менше F_{kp} , знайденого для прийнятого рівня значимості $q_{zn}, \%$, $v = N - \alpha$, і $v_{ад2} = N(m - 1)$ ступенів волі, то модель визначається адекватною об'єктові.

У випадку, якщо $S^2_{ад} \leq S^2\{y\}$, *F*-критерій менше або дорівнює одиниці і нерівність $F < F_{kp}$ виконується завжди.

Очевидно, що перевірка адекватності за допомогою критерію Фішера можлива, якщо $v_{ад} > 0$; при $N = \alpha$ не залишається ступенів волі для перевірки нуль-гіпотези про адекватність. У цьому випадку можливо провести непряму перевірку адекватності, поставивши ряд експериментів у центрі плану. Розходження між середнім значенням вихідної величини, отриманої в цих

експериментах, і вільним членом лінійного рівняння може дати уявлення про адекватність моделі, а саме: якщо це розходження незначуще, то можливо припустити, що модель адекватна. У випадку, якщо перевірка адекватності дала негативний результат, тобто модель недостатньо вірно описує процес, необхідно:

- або переходити до рівняння зв'язку більш високого порядку, тому що, очевидно, експеримент ставився в області, близької до екстремальної;
- або, якщо це можливо, проводити експеримент із меншим інтервалом варіювання ΔX_i ;
- зменшення інтервалу варіювання приводить:
 - а) по-перше, до збільшення відносини завад до корисного сигналу, що обумовлює необхідність збільшення кількості паралельних дослідів для виділення сигналу на фоні шуму;
 - б) по-друге, до зменшення абсолютного значення коефіцієнтів b_i , величини яких залежать від інтервалів варіювання; і при надмірному зменшенні ΔX_i коефіцієнти можуть стати статистично незначущий.

Якщо ж отримана модель адекватна, то можливі наступні ситуації:

- усі лінійні коефіцієнти значимі – дослідник може використовувати отриману модель для керування технологічним процесом і оптимізації його шляхом руху в напрямку екстремуму;
- один з коефіцієнтів різко виділяється за абсолютною величиною; у цьому випадку рух за градієнтом функції виходить у звичайний однофакторний експеримент. Тому варто повторити експеримент, зменшивши інтервал варіювання цього фактора або збільшивши інтервали для інших факторів;
- деякі з лінійних коефіцієнтів є незначущими – дослідник може їх відкинути, якщо він упевнений, що дійсно відповідні фактори не впливають на вихідний параметр. Наприклад, якщо незначущим виявився ефект, включений у

дослідження з обережності, який і за апріорними відомостями не повинний істотно впливати на функцію відгуку. Якщо ж такої впевненості в дослідника немає, то необхідно поставити нову серію дослідів, розширивши інтервали варіювання у відповідних факторів;

- деякі або всі лінійні ефекти є незначущими, але значимими виявилися ефекти взаємодії. Таке положення може виникнути через невдалий вибір інтервалів варіювання, тому треба поставити нову серію дослідів, збільшивши інтервали варіювання у відповідних факторів. Причиною подібної ситуації може бути і те, що експеримент ставився в області, де лінійне наближення є невдалою моделлю поверхні відгуку. Треба переходити до знаходження математичної моделі більш високого порядку.

При великій кількості досліджуваних факторів ПФЕ стає недостатньо ефективним, тому що кількість дослідів із ростом k збільшується за *показниковою функцією*. Правда, при цьому зменшуються помилки у визначенні коефіцієнтів полінома, тому що всі досліди використовуються для оцінки кожного з коефіцієнтів. Однак часто, особливо в початковій стадії дослідження, буває необхідно одержати деякі, нехай не особливо точні відомості про процес при мінімальних експериментальних витратах.

Кількість дослідів можливо скоротити, застосовуючи при плануванні *дробові репліки від ПФЕ або дробовий факторний експеримент* (ДФЕ). При цьому вдається зберегти переваги ортогонального планування.

Припустимо, що необхідно отримати наближений математичний опис процесу при трьох технологічних факторах, що впливають на вихідний параметр.

Виявляється, що в цьому випадку можливо обмежитися чотирма дослідями, якщо в плані для ПФЕ 2^2 добуток x_1x_2 замінити третьою змінною x_3 , експеримент буде ставитися вже з включенням третьої змінної, що буде змінюватися відповідно до стовпця x_1x_2 ПФЕ (табл. 2.4). Такий скорочений план-половина ПФЕ називається напівреплікою від ПФЕ 2^3 . Умовна позначка

плану ДФЕ – 2^{h-p} , де p – кількість взаємодій, прирівнюваних незалежним змінним. Приведене планування дає можливість оцінити вільний член b_0 і коефіцієнти при лінійних членах b_1 , b_2 і b_3 .

Однак складання такої матриці планування можливе лише в тому випадку, якщо передбачається, що відсутній або малий вплив на вихідний параметр ефектів взаємодії і відповідно коефіцієнти регресії b_{ij} при парних добутках дорівнюють нулю.

Таблиця 2.4

Матриця планування ДФЕ 2^{3-1}

№ дослідю	x_0	x_1	x_2	x_3	y
1	+	-	-	+	y_1
2	+	+	-	-	y_2
3	+	-	+	-	y_3
4	+	+	+	+	y_4

Якщо ця передумова не виконується, то знайдені коефіцієнти будуть оцінками для спільних ефектів

$$b'_1 = b_1 + b_{23}; \quad b'_2 = b_2 + b_{13}; \quad b'_3 = b_3 + b_{12}. \quad (2.96)$$

Ці ефекти не можуть бути роздільно оцінені при плануванні, що складається усього з чотирьох дослідів, тому що тут нерозрізнені стовпці для лінійних членів і парних добутків. Якщо після реалізації перших чотирьох дослідів у дослідника виникнуть сумніви в тому, що $b_{ij} = 0$, то він може поставити ще чотири досліді, дорівнявши цього разу $x_3 = -x_1x_2$ (табл. 2.5). Користуючись цим планом, можливо оцінити спільні ефекти

$$b''_1 = b_1 + b_{23}; \quad b''_2 = b_2 + b_{13}; \quad b''_3 = b_3 + b_{12}. \quad (2.97)$$

Таблиця 2.5

Матриця планування ДФЕ 2^{3-1}

№ досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	y
1	+	-	-	-	y_1
2	+	+	-	+	y_2
3	+	-	+	+	y_3
4	+	+	+	-	y_4

У цьому випадку елементи стовпців x_1, x_2, x_3 , дорівнюють відповідно елементам стовпців x_1x_3, x_2x_3, x_1x_2 , узятим із зворотним знаком.

Тепер після постановки уже восьми дослідів відповідно до приведених планів можливо отримати роздільні оцінки

$$\left. \begin{aligned} b_1 &= \frac{b'_1 + b''_1}{2}; b_2 = \frac{b'_2 + b''_2}{2}; b_3 = \frac{b'_3 + b''_3}{2}; \\ b_{23} &= \frac{b'_1 + b''_1}{2}; b_{13} = \frac{b'_2 + b''_2}{2}; b_{12} = \frac{b'_3 + b''_3}{2}; \end{aligned} \right\} \quad (2.98)$$

Необхідно помітити, що об'єднання представлених двох напівреплік дає нам ПФЕ 2^3 , тому роздільні оцінки b_i і b_{ij} ми отримуємо лише за допомогою ПФЕ. Таким чином, скорочення кількості дослідів приводить до отримання змішаних оцінок коефіцієнтів.

Матриця планування ДФЕ при фіксованих k і p може мати різну систему змішування, і природно, що дослідник прагне того, щоб максимальна кількість лінійних ефектів виявилася не змішаною з парними взаємодіями. Звідси актуальність питання про розрізняльну здатність дробової репліки, тобто можливості роздільної оцінки коефіцієнтів. Для характеристики розрізняльної здатності вводяться поняття «генеруючого співвідношення» (ГС) і «визначального контрасту» (ВК).

Вище вже було показано, що ДФЕ 2^{3-1} може бути поданий двома різними напіврепліками, кожна з яких характеризується одним із наступних співвідношень, що генерують

$$x_3 = x_1 x_2; \quad x_3 = -x_1 x_2.$$

Вираз ВК виходить множенням лівої й правої частин приведених ГС на x_3 . При цьому виходять елементи першого стовпця матриці планування, що завжди дорівнюють одиниці

$$x_3^2 = 1 = x_1 x_2 x_3; \quad x_3^2 = 1 = -x_1 x_2 x_3.$$

Значення ВК дозволяє визначити всю систему спільних оцінок, не вивчаючи матрицю планування. Для цього треба послідовно помножити незалежні змінні ВК

$$\begin{aligned} x_1 &= x_2 x_3; & x_1 &= -x_2 x_3; \\ x_2 &= x_1 x_3; & x_2 &= -x_1 x_3; \\ x_3 &= x_1 x_2; & x_3 &= -x_1 x_2. \end{aligned}$$

Щоб отримати високу розрізняльну здатність, прагнуть побудувати план ДФЕ таким чином, щоб лінійні ефекти були змішані з взаємодіями найвищого порядку (вони частіше дорівнюють 0) або з тими взаємодіями, про які апіорі відомо, що вони не впливають на процес. Оцінити розрізняльну здатність, нам допомагає ГС: чим більше символів входить у ГС, тим зазвичай вищою є розрізняльна здатність.

Наприклад, в експерименті з $k = 4$ за співвідношення, що генерують, можуть бути взяті $x_4 = x_1 x_2 x_3$ і $x_4 = x_1 x_2$.

Визначимо ВК та з їхньою допомогою знайдемо системи спільних оцінок

$$\begin{aligned} 1 &= x_1 x_2 x_3 x_4; & 1 &= x_1 x_2 x_4; \\ x_1 &= x_2 x_3 x_4; & x_1 &= x_2 x_4; \\ x_2 &= x_1 x_3 x_4; & x_2 &= x_1 x_4; \\ x_3 &= x_1 x_2 x_4; & x_3 &= x_1 x_2 x_3 x_4; \\ x_4 &= x_1 x_2; & x_4 &= x_1 x_2; \\ x_1 x_2 &= x_3 x_4 x_1; & x_1 x_3 &= x_2 x_3 x_4; \\ x_1 x_3 &= x_2 x_4; & x_2 x_3 &= x_1 x_3 x_4; \end{aligned}$$

$$x_1 x_4 = x_2 x_3;$$

$$x_3 x_4 = x_1 x_2 x_3;$$

Таким чином, якщо експериментатора, насамперед, цікавлять оцінки для лінійних ефектів, то варто вибрати ГС.

При дослідженні багатофакторних технологічних процесів застосовують репліки і більшого ступеня дрібності (1/4, 1/8 і т.д.). Із зростанням кількості незалежних змінних зростає розрізняльна здатність дробових реплік.

Бокс і Уїлсон запропонували використовувати сполучення факторного експерименту для локального опису поверхні відгуку і крокового руху до екстремуму в напрямку градієнта. Такою побудовою експерименту і визначається ефективність методу крутого сходження для оптимізації технологічних процесів.

Кроковий рух до екстремуму продовжується доти, доки дослідник не досягає області, близької до екстремуму, чи «майже стаціонарної» області, яка не може бути описана лінійним наближенням. Тут уже стають значимими квадратичні ефекти. Близькість «майже стаціонарної» області можливо установити, поставивши ряд експериментів у центрі плану і визначивши значення вихідного параметра y_0 .

Значення b_0 , що обчислюється для лінійного рівняння, при реалізації факторного експерименту (ПФЕ чи ДФЕ) у «майже стаціонарній» області є спільною оцінкою для вільного члена й суми квадратичних членів. Тому різниця відгуку ($b_0 - \bar{y}_0$) може дати уявлення про кривизну поверхні відгуку.

«Майже стаціонарну» область зазвичай удається описати з достатньою точністю поліномом другого порядку

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i \neq j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ij} x_i^2, \quad (2.99)$$

З теорії інтерполяції відомо, що для знаходження роздільних оцінок кількість рівнів кожної з незалежних змінних повинна бути на одиницю більшою, ніж ступінь інтерполяційного полінома. Іншими словами, для обчислення полінома другого порядку кількість рівнів повинна бути як мінімум три.

Застосування ПФЕ типу 3^k не раціонально, тому що це планування характеризується різким збільшенням обсягу експерименту. Скоротити кількість дослідів можливо використовуючи так звані *центральні композиційні плани* (ЦКП), ядром яких є лінійні ортогональні плани. Перевага цих планів полягає в тому, що якщо гіпотеза про лінійність не підтвердилася, немає необхідності ставити всі експерименти заново для отримання моделі більш високого порядку: досить у цьому випадку додати трохи спеціально спланованих експериментальних точок, щоб отримати план другого порядку. Побудову центральних композиційних планів можливо пояснити на прикладі з трьома незалежними змінними.

Припустимо, що дослідник для знаходження лінійної моделі поставив ПФЕ 2^3 , експериментальні точки якого знаходяться у вершинах куба (рис. 2.13).

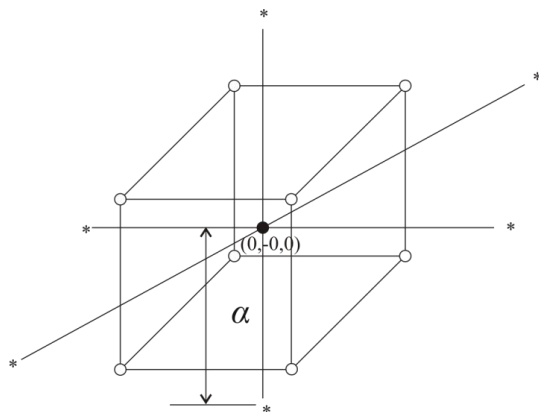


Рисунок 2.13 – Розташування експериментальних точок

Якщо отримана модель незадовільно описує процес, дослідник ставить експерименти в центрі плану, щоб за різницею $(b_0 - y_0)$ оцінити кривизну поверхні відгуку. У випадку підтвердження неадекватності лінійної моделі додаються так називані «зіркові точки» із координатами $(0, a, \dots, 0)$, що лежать на сфері діаметром $2a$ (рис. 2.13).

Загальна кількість дослідів центрального композиційного плану при k факторах дорівнює

$$N = 2^k + 2k + n_0, \quad (2.100)$$

де n_0 – кількість дослідів у центрі плану;
 $2k$ – зоряні точки.

У теорії планування другого порядку розрізняють кілька типів композиційних планів Найбільше поширення отримали ортогональне ЦПК і рототабільне ЦПК:

- *Бокс і Уїлсон* запропонували вибирати плече α і кількість центральних точок n_0 таким чином, щоб план другого порядку залишався ортогональним. Центральний композиційний ортогональний план (ЦКОП) при $k = 3$ містить всього 15 дослідів (табл. 2.6), у той час як при ПФЕ типу 3^3 необхідно було поставити вже 27 дослідів.

У силу ортогональності планування всі коефіцієнти визначаються незалежно один від одного

$$b_i = \frac{\sum_{g=1}^N x_{gi} \bar{y}_g}{\sum_{g=1}^N x_{gi}^2}. \quad (2.101)$$

Таблиця 2.6

Матриця для різних коефіцієнтів центрального композиційного ортогонального планування

№ дослідів	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2	y
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	y_1
2	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	y_2
3	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	y_3
4	+1	+1	+1	-1	+1	+1	+1	y_4
5	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	y_5
6	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	y_6
7	+1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	y_7

№ досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2	y
8	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	y_8
9	+ 1	+ α	0	0	α^2	0	0	y_9
10	+ 1	- α	0	0	α^2	0	0	y_{10}
11	+ 1	0	+ α	0	0	α^2	0	y_{11}
12	+ 1	0	- α	0	0	α^2	0	y_{12}
13	+ 1	0	0	+ α	0	0	α^2	y_{13}
14	+ 1	0	0	- α	0	0	α^2	y_{14}
15	+ 1	0	0	0	0	0	0	y_{15}

Однак незалежність оцінки коефіцієнтів при плануванні в екстремальній області не має настільки великого значення, як при лінійному плануванні на початковій стадії дослідження, коли в експеримент включається велика кількість факторів, частину з яких потім приходиться відкидати (у силу незначущості впливу на процес).

Однак на відміну від лінійного наближення при ортогональному плануванні другого порядку оцінки коефіцієнтів полінома знаходяться з неоднаковими дисперсіями, тому що знаменник у формулі для оцінок дисперсій коефіцієнтів у загальному випадку

$$S_2 \{b_i\} = \frac{S^2 \{y\}}{\sum_{g=1}^N x_{gi}^2}. \quad (2.102)$$

При ЦКОП дисперсії визначення коефіцієнтів змінюються при повороті координат, тобто точність прогнозування вихідної величини в різних напрямках факторного простору неоднакова. Більш вдалим є таке планування, при якому кількість інформації однакова для всіх еквідистантних точок, тобто забезпечує однакову точність визначення у за всіма напрямками на однаковій відстані (R) від центру планування. Планування, що має таку властивість, називають *рототабельним плануванням*.

При рототабельному плануванні, таким чином, виконується умова

$$\sigma^2\{y\} = \text{const при } R = \text{const}. \quad (2.103)$$

При цьому *центральні композиційні рототабельні плани* (ЦКРП) дозволяють мінімізувати помилки у визначенні y , пов'язані з неадекватністю подання результатів дослідження поліномом другого порядку.

Для того щоб композиційний план був рототабельним, величину зіркового плеча a вибирають з умови $\alpha = 2^{k/4}$ і, крім того, при ЦКРП кількість центральних точок збільшується і визначається в залежності від кількості факторів.

Величини a і n_0 як для рототабельного, так і для ортогонального ЦКП рототабульовані і зведені в таблиці, які можливо знайти в спеціальній літературі. Матриця ЦКРП, приклад якої для $k = 3$ наведений у табл. 2.7, не ортогональна.

Формули для розрахунку коефіцієнтів полінома і їх дисперсій при рототабельному плануванні значно складніші, ніж при ортогональному

$$b_0 = \frac{A}{N} \left[2\lambda(k+2)(0y) + 2\lambda c \sum_{i=1}^k iiy \right]; \quad (2.104)$$

$$b_i = \frac{c}{N\lambda} (iy); \quad (2.105)$$

$$b_{ij} = \frac{c^2}{N\lambda} (ijy); \quad (2.106)$$

$$b_{ij} = \frac{A}{N} \left\{ c^2[(k+2)\lambda - k](iijy) + c^2(1-\lambda) \sum_{i=1}^k (ijy) - 2\lambda c(0y) \right\} \quad (2.107)$$

$$S^2\{b_0\} = \frac{2A\lambda^2(k+2)S^2\{y\}}{N \cdot m}; \quad (2.108)$$

$$S^2\{b_i\} = \frac{cS^2\{y\}}{N \cdot m}; \quad (2.109)$$

$$S^2\{b_{ij}\} = \frac{A[(k+1)\lambda - (k+1)]c^2S^2\{y\}}{N \cdot m}; \quad (2.110)$$

$$S^2\{b_{ij}\} = \frac{cS^2\{y\}}{\lambda N \cdot m}, \quad (2.111)$$

де

$$c = \frac{N}{\sum_{l=1}^N x_{ij}^2}; \quad (2.112)$$

$$A = \frac{1}{2\lambda[(k+2)\lambda - k]}; \quad (2.113)$$

$$\lambda = \frac{kN}{(k+2)n_1}; \quad (2.114)$$

$$n_1 = N - n_0; \quad (2.115)$$

$$(oy) = \sum_{l=1}^N x_{0l} y_l; \quad (2.116)$$

$$(i iy) = \sum_{l=1}^N x_{il}^2 y_l; \quad (2.117)$$

$$(iy) = \sum_{l=1}^N x_{il} y_l; \quad (2.118)$$

$$(ijy) = \sum_{l=1}^N x_{il} x_{jl} y_l. \quad (2.119)$$

Таблиця 2.7

Матриця центрального композиційного
рототабельного планування

№ досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2	y
1	+ 1	- 1	- 1	- 1	+ 1	+ 1	+ 1	y_1
2	+ 1	+ 1	- 1	- 1	+ 1	+ 1	+ 1	y_2
3	+ 1	- 1	+ 1	- 1	+ 1	+ 1	+ 1	y_3
4	+ 1	+ 1	+ 1	- 1	+ 1	+ 1	+ 1	y_4
5	+ 1	- 1	- 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	y_5
6	+ 1	+ 1	- 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	y_6
7	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	y_7
8	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	y_8
9	+ 1	+ α	0	0	α^2	0	0	y_9
10	+ 1	- α	0	0	α^2	0	0	y_{10}
11	+ 1	0	+ α	0	0	α^2	0	y_{11}
12	+ 1	0	- α	0	0	α^2	0	y_{12}
13	+ 1	0	0	+ α	0	0	α^2	y_{13}
14	+ 1	0	0	- α	0	0	α^2	y_{14}
15	+ 1	0	0	0	0	0	0	y_{15}
16	+ 1	0	0	0	0	0	0	y_{16}
17	+ 1	0	0	0	0	0	0	y_{17}
18	+ 1	0	0	0	0	0	0	y_{18}
19	+ 1	0	0	0	0	0	0	y_{19}
20	+ 1	0	0	0	0	0	0	y_{20}

Так само як і при отриманні лінійної моделі, обробка результатів при реалізації ЦКП припускає статистичні перевірки гіпотез (відтворюваності результатів експериментів, значимості коефіцієнтів і адекватності моделі).

Отримана адекватна модель другого порядку може бути використана для знаходження *оптимальних технологічних режимів*. При цьому ретельно аналізують отриману модель і методами аналітичної геометрії приводять її до канонічної форми. При перетворенні спочатку, переносячи початок координат у точку S , звільняються від лінійних членів, а потім за допомогою повороту осей координат звільняються від ефектів взаємодії.

Так, для двох незалежних змінних рівняння в канонічній формі буде мати вигляд

$$Y - Y_s = B_{11}^2 X_1^2 + B_{22}^2 X_2^2. \quad (2.120)$$

Поверхня відгуку в залежності від виду канонічного рівняння може бути однією з трьох типів:

- якщо коефіцієнти B_{11} і B_{22} мають однакові знаки, то поверхня відгуку є еліптичним параболоїдом, а центр фігури S шуканим екстремумом (рис. 2.14). У цьому випадку дослідник для отримання оптимальної точки може скористатися і не приведеним рівнянням другого порядку.

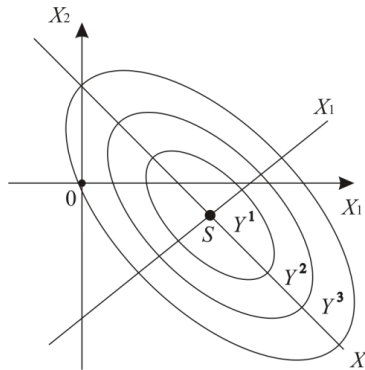


Рисунок 2.14 – Поверхня відгуку у вигляді еліптичного параболоїду

Для цього порівнюються нульові значення компонентів градієнта

$$\frac{\partial y}{\partial y_1} = b_i + 2b_{ij}x_i + b_{ij}x_j = 0. \quad (2.121)$$

і вирішується система рівнянь;

- якщо B_{11} і B_{22} мають різні знаки, то поверхня відгуку відноситься до типу мінімакс чи «сідла» (рис. 2.15). Для знаходження оптимальних технологічних режимів дослідник буде рухатися по найсприятливішому для нього каналу «сідла»;

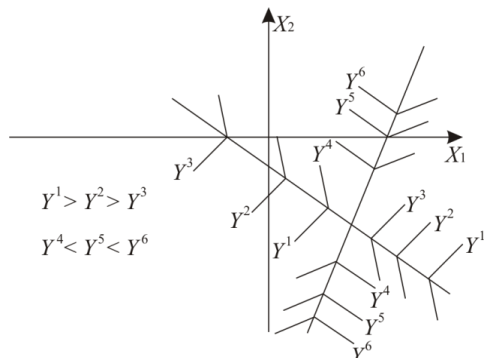


Рисунок 2.15 – Поверхня відгуку типу мінімакс чи «сідло»

- якщо один із коефіцієнтів B_i дорівнює нулю, то поверхня відгуку має вигляд зростаючого узвишшя (рис. 2.16). Тут дослідник для відшукування оптимуму буде рухатися по гребню, поки це допускають можливості технологічного процесу.

Розглянуті вище методи отримання математичних моделей за допомогою факторного експерименту припускають, що в експеримент включено усі фактори, які впливають на вихідний параметр. Довільна зміна не включеного в план експерименту суттєвого технологічного фактора призводить до різкого збільшення помилки експерименту.

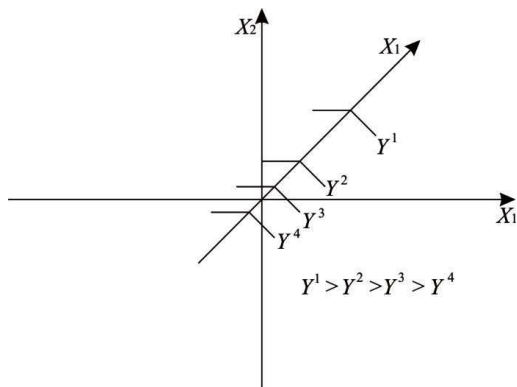


Рисунок 2.16 – Поверхня відгуку у вигляді зростаючого узвишшя

Таким чином, пропуск одного чи тим більше декількох факторів, які впливають на вихідний параметр, практично зводить нанівець результати всіх дослідів. Для того щоб цього не відбулося, на перших етапах у дослідження необхідно включати дуже велику кількість факторів. При цьому чим менше апріорних відомостей про технологічний процес, тим зазвичай більше факторів включається в план експерименту. Потім багато які з них будуть відкинуті як такі, що не впливають чи мало впливають на процес, однак, щоб не пропустити істотні фактори, на початку дослідження експериментатор змушений враховувати десятки факторів і їх взаємодій.

Викладені вище методи припускають ретельне вивчення поверхні відгуку, і реалізація їх при великій кількості факторів досить трудомістка.

Крім того, на першому етапі дослідження і не потрібна точна кількісна оцінка впливу вхідних параметрів на вихідну величину, тут потрібна лише якісна оцінка впливу.

Розглянемо основні методи, що дозволяють із мінімальними витратами виділити з великої кількості факторів домінуючі, які найбільш істотно впливають на хід процесу.

Оскільки навіть невелике зменшення кількості факторів приводить до значного зменшення дослідів, виникає питання про використання апріорної інформації для попереднього відсівання несуттєвих факторів. *Метод рангової кореляції* дозволяє в деяких випадках відкинути несуттєві технологічні фактори, ґрунтуючись на опитуванні думки фахівців, що працюють у даній області. Процедура визначення ступеню впливу технологічних факторів на вихідний параметр цим методом *зводиться до наступного*:

- як можливо більш широкому колу фахівців пропонується розташувати технологічні фактори в порядку убудування ступеня їх впливу на обраний вихідний параметр. При цьому представляється список факторів, однак кожен з опитуваних може включати додаткові фактори, якщо список, на його думку, не повний;

- результати опитування подаються у вигляді таблиці – матриці рангів (табл. 2.8), де під кожним фактором вказуються місця, займані їм в анкетах фахівців. Іноді матриця рангів будується з урахуванням кваліфікації опитуваного – у цьому випадку показання фахівців збільшуються на коефіцієнт, який присвоюється відповідно до кваліфікації.

Таблиця 2.8

Матриця рангів

Фахівці	Фактори				
	x_1	x_2	x_3	...	x_n
1	a_{11}	a_{12}	a_{13}		a_{1n}
2	a_{21}	a_{22}	a_{23}		a_{2n}
3	a_{31}	a_{32}	a_{33}		a_{3n}
...
...
...
m	a_{m1}	a_{m2}	a_{m3}		a_{mn}
Сума рангів					
Відхилення суми рангів від середнього					
Квадрати відхилень					

Чим менше сума рангів даного фактора, тим вище місце він займає в ранжируванні, тим більше повинен впливати цей фактор на вихідний параметр;

- останні два рядки матриці потрібні для обчислення коефіцієнта конкордації

$$W = \frac{12H}{m^2(n^3 - n)}, \quad (2.122)$$

де H – сума квадратів відхилень.

Коефіцієнт конкордації за допомогою статистичних методів дозволяє визначити, випадкова чи не випадкова погодженість у думках фахівців: чим вище коефіцієнт конкордації, тим вище ступінь узгодження думок фахівців. $W=0$ означає відсутність

погодженості між ранжируваннями фахівців. $W=1$ показує, що фахівці однаково розташували фактори;

- за допомогою отриманої матриці рангів будується діаграма рангів (рис. 2.17).

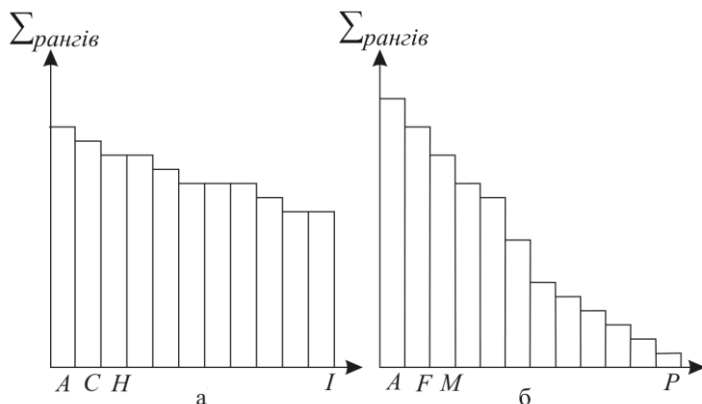


Рисунок 2.17 – Діаграма рангів: а – при рівномірному розподілі рангів; б – при нерівномірному розподілі рангів

Якщо розподіл на діаграмі рангів рівномірний, то усі фактори повинні включатися в експеримент. Можливо сказати, що опитування в цьому випадку не дало бажаного результату.

Якщо розподіл нерівномірний, однак зміна суми рангів незначна, то це значить, що хоча розходження між факторами і робиться, але робиться невпевнено. Тому тут також краще усі фактори включити в експеримент (рис. 2.17, а).

Найбільш сприятливим є випадок швидкого експонентного зменшення ступеня впливу факторів. У цьому випадку можливе відсівання ряду факторів на основі проведеного опитування (рис. 2.17, б).

Застосування насичених планів для відсівання несуттєвих факторів ґрунтується на передумові, що на вихідний параметр впливають лише лінійні ефекти і не впливають взаємодії факторів. При цьому використовують дробові репліки ПФЕ, прагнучи до того, щоб усі $(N-1)$ ступенів волі були використані для

оцінки коефіцієнтів при відповідних змінних, чи, іншими словами, замінюючи всі або майже всі взаємодії лінійними ефектами. Так, наприклад, якщо передбачається, що на вихідний параметр здатні впливати 15 факторів, то для відсівання несуттєвих або тих, що оказують незначний вплив, може бути використаний ДФЕ 2^{15-11} з кількістю дослідів $N = 16$ (табл. 2.9).

Таблиця 2.9

Матриця насиченого планування

№ дослідів	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	y_g
1	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	y_1
2	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	y_2
3	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	y_3
4	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	-	+	-	y_4
5	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-	y_5
6	+	+	+	+	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	y_6
7	+	-	+	+	-	+	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	y_7
8	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+	+	-	+	-	-	y_8
9	+	-	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-	y_9
10	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	y_{10}
11	+	-	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	y_{11}
12	+	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	y_{12}
13	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	y_{13}
14	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	y_{14}
15	+	-	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	y_{15}
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	y_{16}

Тоді

$$x_5 = x_1x_2x_3x_4; \quad x_6 = x_1x_2x_3; \quad x_7 = x_1x_2x_4; \quad x_8 = x_1x_3x_4$$

$$x_9 = x_2x_3x_4; \quad x_{10} = x_1x_2; \quad x_{11} = x_1x_3; \quad x_{12} = x_1x_4;$$

$$x_{13} = x_2x_3; \quad x_{14} = x_2x_4; \quad x_{15} = x_3x_4.$$

Після виконання експериментів виконується обчислення коефіцієнтів і оцінка їх значимості. Фактори, для яких коефіці-

енти виявилися незначущими, відкидаються. Однак іноді до-пускається відсівання несуттєвих факторів виходячи з порядку отриманих коефіцієнтів.

Можливо помітити, що при $K = 9, 17, 33$ і т.д. використання дробових реплік від ПФЕ веде до значного збільшення кількості дослідів, відповідно $y = 16, 32, 64$ і т.д. Для того щоб збільшити насиченість планів, розроблені ортогональні плани з $N = 12, 20, 24, 36$ і т.д. Застосування методу насичених планів для дослідження технологічних процесів РЕПБ обмежене, тому що вплив взаємодії технологічних факторів на вихідний параметр дуже значний.

Метод *надтонасичених планів* дає можливість відсівати як лінійні ефекти, так і їх взаємодії, однак застосування цього методу припускає, що кількість значимих ефектів значно менше загальної кількості ефектів, узятих під підозру. З назви методу видно, що для виявлення істотних факторів тут використовуються надтонасичені плани, тобто плани, де кількість дослідів менше, ніж ефектів, включених в експеримент $k > N - 1$. При цьому пропонується брати випадкові вибірки з ПФЕ. Таким чином, спільні оцінки виявляються змішаними деяким випадковим образом, звідси й інша назва методу – *метод випадкового балансу*. Оскільки застосування методу базується на передумові, що істотних ефектів мало, то можливо сподіватися, що таким чином їх удасться виявити. Ефекти, що залишилися, відносяться до «шумового поля». Природно, що оцінка виділених факторів буде здійснюватися тут з більшою помилкою, ніж у ПФЕ чи ДФЕ, тому що залишкова дисперсія визначається не тільки дисперсією, що характеризує помилку дослідів, але також і дисперсією «шумового поля». І чим більше остання, тим з більшою помилкою виконується кількісна оцінка виділених істотних факторів. Але на цьому етапі дослідження і не потрібно давати точну кількісну оцінку факторів. У той же час метод випадкового балансу дозволяє вирішити основну задачу експериментів, які відсівають: виявити домінуючі ефекти серед дуже великої кількості ефектів, включених у дослідження, як потенційно здатних

впливати на вихідний параметр.

Для побудови матриці планування усі фактори розбиваються на групи. З погляду отримання роздільних оцінок доцільніше розбивку на групи робити так, щоб у кожену групу входили фактори, які характеризують певні моменти технологічного процесу. Для кожної групи будується матриця планування, що відповідає ДФЕ чи ПФЕ. При цьому краще складати групи з трьох-п'яти факторів, тому що в цьому випадку для кожної можливо взяти ПФЕ, у якому перебираються всі можливі комбінації рівнів у групі. План експерименту утвориться шляхом випадкового змішування рядків групових планів, виконуваного звичайно за допомогою таблиці випадкових чисел.

Отриманий експериментальний матеріал обробляється в кілька етапів за допомогою *діаграм розсіювання результатів спостережень* за окремими факторами (рис. 2.18).

На першому етапі діаграма розсіювання будується для кожного фактора. Ліворуч розташовуються всі значення вихідного параметра тих дослідів, де даний фактор знаходився на одному рівні (наприклад, на нижньому), праворуч – на іншому.

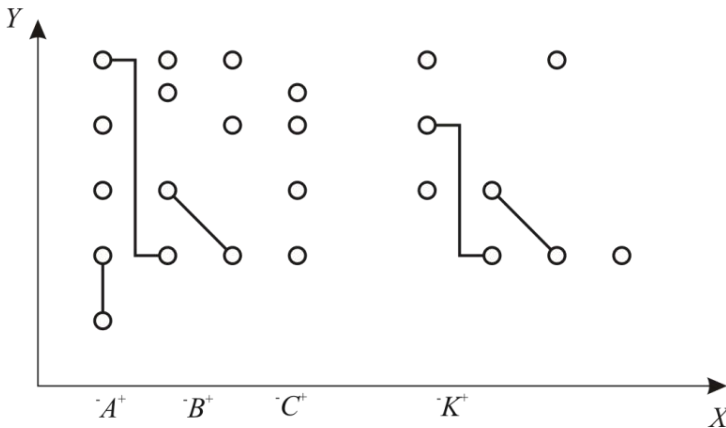


Рисунок 2.18 – Діаграма розсіювання результатів спостережень за окремими факторами

Таким чином, проти кожного фактора буде знаходитись N точок, які відповідають N результатам експериментів. Ці точки розділено на дві групи: одна відповідає дослідом, де відповідний фактор був на нижньому рівні, друга група відноситься до дослідів, де той же фактор був на верхньому рівні. При аналізі діаграми розсіювання для даного фактора ми як би відволікаємося від дії інших факторів, тобто розглядаємо кожен фактор поза залежністю від інших (хоча, звичайно, матриця планування в цьому випадку не ортогональна). У результаті ми маємо дві групи дослідів, де аналізований фактор зафіксований на певному рівні, а всі інші фактори змінюються випадковим образом. Якщо фактор впливає на вихідний параметр (y), то при переході його з одного рівня на інший відбудеться зміщення центру розподілу у на величину

$$\beta_i = (M_y)_1 - (M_y)_2, \quad (2.123)$$

де $(M_y)_1$ – центр розподілу y при перебуванні фактора X на першому рівні;

$(M_y)_2$ – центр розподілу y при перебуванні фактора X на другому рівні.

Величину β_i , називану *внеском даного фактора*, найпростіше оцінити за допомогою різниці медіан для нижнього і верхнього рівнів. При цьому якщо кількість точок на рівні $2m$, то медіана лежить між m -ю і $(m+1)$ -ю точками, якщо ж на рівні $(2m + 1)$ точок, то медіаною є $(m+1)$ точка. Істотні технологічні фактори тепер можливо виділити, порівнюючи візуально внески факторів.

Фактори, визнані істотними, тобто які мають найбільші внески, можуть бути оцінені кількісно. Для цього звичайно складається таблиця з кількістю входів, що відповідають кількості виділених факторів. Припустимо, що на даному етапі найбільші внески мали три фактори A , C , G , тоді таблиця буде мати такий вигляд (табл. 2.10).

Таблиця 2.10

Допоміжна таблиця для кількісної оцінки факторів

	C+		C-	
	G+	G-	G+	G-
A+
	$\frac{y_j}{\bar{y}_5}$	$\frac{\dots}{\bar{y}_2}$	$\frac{\dots}{\bar{y}_3}$	$\frac{\dots}{\bar{y}_4}$
A-
	$\frac{\dots}{\bar{y}_5}$	$\frac{\dots}{\bar{y}_6}$	$\frac{\dots}{\bar{y}_7}$	$\frac{\dots}{\bar{y}_8}$

Тут у кожному клітинку заносяться результати експериментів відповідно до рівнів, на яких знаходились виділені фактори. При цьому може виявитися, що деякі клітинки виявляються незаповненими, у цьому випадку треба скоротити кількість входів таблиці, тобто зменшити кількість виділюваних на даному етапі факторів.

Обчислення коефіцієнтів при відповідних факторах здійснюються за наступними формулами

$$\left. \begin{aligned} b_C &= \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_5 + \bar{y}_6}{4} - \frac{\bar{y}_3 + \bar{y}_4 + \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{4}, \\ b_A &= \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4}{4} - \frac{\bar{y}_5 + \bar{y}_6 + \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{4}, \\ b_G &= \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_3 + \bar{y}_5 + \bar{y}_7}{4} - \frac{\bar{y}_2 + \bar{y}_4 + \bar{y}_6 + \bar{y}_8}{4}. \end{aligned} \right\} \quad (2.124)$$

Ці формули відрізняються від відповідних формул для обчислення коефіцієнтів при ПФЕ чи ДФЕ тим, що тут додатково робиться усереднення в кожній клітині. Це необхідно робити, тому що у випадково збалансованому експерименті різним комбінаціям рівнів може відповідати різна кількість дослідів.

Якщо кількісна оцінка підтвердила значимість виділених візуально факторів, то їх виключають з розгляду при наступних етапах обробки даних.

Значимість виділених ефектів можливо перевірити за допомогою t -критерію

$$S\{b_i\} = S\{y\} \sqrt{\frac{l}{\sum_{j=1}^l n_j}}; \quad (2.125)$$

$$S^2\{y\} = \frac{\sum_{j=1}^b S^2_j (n_j - 1)}{\sum_{j=1}^b (n_j - 1)}; \quad (2.126)$$

$$S^2_j = \frac{1}{n_j - 1} \sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y})^2, \quad (2.127)$$

де n_j – кількість спостережень у j -й;

$S^2\{y\}$ – залишкова дисперсія;

l – кількість клітин.

Слід ще раз підкреслити, що коефіцієнти, які характеризують вплив факторів, обчислюються з великою помилкою, яка може бути набагато більшою, ніж помилка експерименту. Оцінка факторів здійснюється тут на «шумовому фоні», створеному всіма іншими факторами, і помилка обчислення коефіцієнтів особливо велика на першому етапі обробки експериментальних даних, коли «шумове поле» створюється і деякими невиявленими поки істотними факторами. Тому перевірка значимості коефіцієнтів може виявитися неефективною і її часто не проводять. Звичайно обмежуються порівнянням абсолютних значень коефіцієнтів, і якщо при цьому виявляється, що значення одного чи двох коефіцієнтів у кілька разів менше, ніж інших, то відповідні фактори на цьому етапі не виділяються і знову включаються в розгляд.

Після виключення першої групи значимих факторів необхідно відповісти на питання, чи суттєвими є інші фактори і їх

взаємодії, для чого проводять корегування результатів дослідів. Сутність цього корегування полягає в тому, що виключаються ефекти, обумовлені факторами, виділеними на першому етапі. Так, якщо якийсь фактор був визнаний значимим, то віднімають b_i з результатів тих досвідів, де відповідний фактор був на верхньому рівні.

За скоректованими результатами знову будують діаграми розсіювання, як для окремих факторів, так і для їх взаємодій, потенційно здатних впливати на вихідний параметр. Однак будувати діаграми розсіювання для всіх ефектів взаємодії, узятих під підозру, занадто трудомістко, оскільки їх кількість звичайно дуже велика. Тому спочатку будують діаграми розсіювання для лінійних ефектів, а потім, проаналізувавши їх, будують діаграми лише для тих взаємодій, внески яких досить великі. Наприклад, взаємодія HI буде мати великий внесок, якщо з'являться виділені точки f як на рівні $+HI$, так і на рівні $-HI$ (рис. 2.19). У першому випадку обидва фактори H і I будуть мати однакові знаки, а в другому – різні. Таким чином, потрібно будувати діаграми розсіювання лише для взаємодії таких факторів, які мають точки, що виділяються як на однакових рівнях, так і на різних. Іншими словами, одні частини діаграми розсіювання факторів повинні повторювати одна одну, а інші – бути дзеркальними відображеннями (рис. 2.19). З рис. 2.19, крім того, видно, що взаємодія може мати значний внесок, у той час як кожен фактор окремо характеризувався невеликим внеском.

Процес виявлення істотних технологічних факторів припиняється, і всі ефекти, що залишилися, відносяться до «шумового поля», коли на черговій діаграмі розсіювання усі внески виявляються приблизно одного порядку і незначними по величині.

Якщо експериментатор на кожному етапі дослідження може користуватися ЕОМ, то в цьому випадку замість описаного вище методу обробки даних з побудовою діаграм розсіювання можливо, використовуючи матрицю незалежних змінних, виділяти й оцінювати відразу значно більшу кількість ефектів.

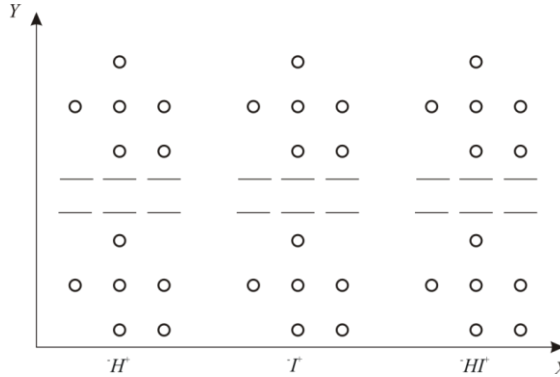


Рисунок 2.19 – Діаграма розсіювання для ефектів взаємодії

Фактори і їх взаємодії, визнані значимими, виключаються, і вся процедура повторюється знову. При цьому на кожному етапі аналізу отриманих результатів менша кількість ефектів відноситься до «шумового поля», і, отже, зменшується залишкова дисперсія, що характеризує помилку в оцінці виділених ефектів. Зі збільшенням кількості оцінюваних одночасно ефектів з'являється деяка неоднозначність при виділенні домінуючих факторів, тому що з'являються різні варіанти вибору ефектів. Критерієм для вибору кращого варіанта може служити *величина залишкової дисперсії*: чим вона менше, тим, отже, краще варіант. Варто підкреслити, що якщо при проведенні експериментів, що відсівають, виникає сумнів у значимості якого-небудь фактора, то краще його включити в наступні експерименти, оскільки пропуск істотного фактора спотворить результати дослідження. У випадку, якщо фактор дійсно не значимий, він буде відкинутий на наступних етапах дослідження.

На етапі експериментів, що відсівають, не ставиться задача отримання адекватної математичної моделі, тому доцільніше брати великі інтервали варіювання, щоб зміни вихідної величини, викликані переходом фактора з одного рівня на інший, були помітними на фоні «шуму».

2.7 Сучасні тенденції автоматизації виробничих процесів радіоелектронного приладобудування

Сучасні тенденції у автоматизації виробництв галузі радіоелектронного приладобудування базуються на поширеному впровадженні у вказані процеси систем автоматизованого проектування, автоматизованого керування виробництвом, застосуванням хмарних технологій та ідеології інтернету речей.

Традиційно існуючий розподіл *систем автоматизованого проектування* (CAD/CAM/CAE-систем) на системи верхнього, середнього і нижнього рівнів є досить умовним, тому що на даний момент спостерігається тенденція наближення систем середнього рівня (за різними параметрами) до систем верхнього рівня, а системи нижнього рівня все частіше перестають бути просто двовимірними креслярсько-орієнтованими і стають тривимірними.

Системи нижнього рівня призначені для автоматизації створення текстової та креслярської документації, яка використовується у виробництві, а також для вирішення окремих завдань підготовки керуючих програм для обладнання з ЧПУ. За своєю сутністю системи нижнього рівня є комп'ютерним аналогом кульмана, і ефект від їх застосування зводиться до підвищення якості та точності підготовки конструкторсько-технологічної документації. До систем нижнього рівня можливо віднести такі системи, як КОМПАС-Графік, ZWCAD, Bricscad, Bricscad, ProgeCAD, GstarCad, Infracad, VtoCAD, Inventor, AutoCAD та AutoCAD Inventor Suite. З причини їх суттєвої обмеженості, асортимент систем нижнього рівня в останні роки сильно скоротився, але деякі системи як і раніше зберегли свою актуальність і потрібність як необхідне доповнення до систем середнього та верхнього рівня. CAD-системи нижнього рівня (наприклад, AutoCAD LT, Медуза, TrueCAD, КОМПАС, БАЗИС і ін.) застосовуються тільки при автоматизації креслярських робіт.

AutoCad, розробник: Autodesk, – найпопулярніше у світі середовище автоматизованого проектування, обране багатьма

розробниками в якості базової графічної платформи. Узагальнена структура даної САПР приведена на рис. 2.20.

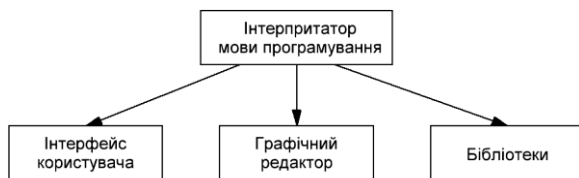


Рисунок 2.20 – Структура AutoCad

Ранні версії AutoCAD оперували елементарними об'єктами, такими як кола, лінії, дуги та ін., з яких склалися більш складні об'єкти. Починаючи з версії 2010, в AutoCAD реалізована підтримка параметричного креслення. Це гарантує, що при внесенні будь-яких змін в проект, певні параметри і раніше встановлені між об'єктами зв'язку зберігаються. Приклад розробки у AutoCad наведено на рис. 2.21.

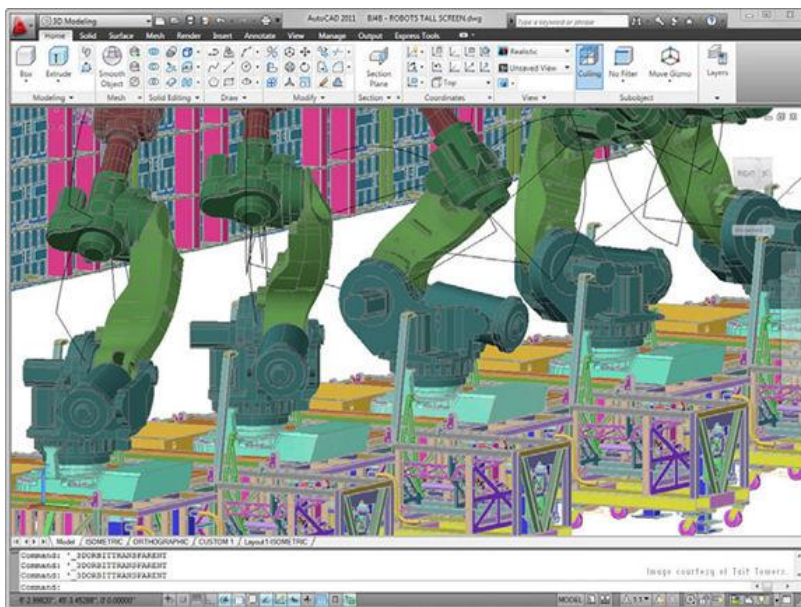


Рисунок 2.21 – Розробка у AutoCad

ZWCAD, розробник: ZWCAD Software Inc. ZWCAD, – вибір для фахівців, що працюють в CAD системах, для яких важливо відповідність стандартам, простота і звичність інтерфейсу AutoCAD, стандартний набір необхідних інструментів в рамках розумного бюджету. Програма ZWCAD має внутрішній формат DWG і DXF, що забезпечує повну сумісність в читанні, редагуванні і запису файлів, створених в AutoCAD. Програма ZWCAD містить всі необхідні команди для 2D і 3D проектування, а також ряд унікальних команд, що роблять процес проектування швидким і зручним. ZWCAD, розроблена на платформі IntelliCAD, є альтернативою AutoCAD.

Bricscad є одним з лідерів серед альтернативних DWG САПР платформ, та реалізує в собі повний набір функцій для професійних користувачів. Bricscad використовує формат DWG і забезпечує повну сумісність з AutoCAD. Bricscad має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс і не вимагає додаткового навчання. До ключових можливостей цієї САПР відносять наступне:

- сумісність з форматом DWG 2007;
- підтримка DWG від 2.5 до 2009 версії;
- повна підтримка ACIS твердотільного моделювання в 3D;
- асоціативні розміри;
- редагування посилань;
- потужний провідник;
- об'єднаний диспетчер параметрів;
- Visual Basic для додатків (VBA);
- швидке ядро LISP з підтримкою більше 450 VLAX функцій;
- повна ADS / підтримка SDS;
- новий COM API;
- підтримка BRX/ARX.

САПР *ProgeCAD*, ProgeCAD 2009 Professional, записує і читає формат DWG від версії AutoCAD 2.5 до версії 2009. Програма надає пристрою Express Tools, вбудовану систему тривимірного моделювання фізичних об'єктів ACIS (твердотільного моделювання), що дозволяє імпортувати і редагувати растрові

зображення, фотореалістичний рендеринг (візуалізація), друк форматів PDF, DWF, JPG і o2c, імпортування PDF в DWG, можливість обробки растрових зображень, імпортування растрових зображень у векторні, бібліотеки блоків, об'єктне відстеження (Otrack), полярне відстеження (Polar Tracking). Існує безкоштовна версія програми – ProgeCAD Smart, в якій повноцінно працювати можливо лише в 2D-режимі: в 3D цей редактор має деякі обмеження. У той же час повна версія ProgeCAD PRO повністю підтримує 3D-проекти і сама по собі є повним бюджетним аналогом AutoCAD. Крім усього іншого, програма дозволяє використовувати кошти програмування VB, VBA, C++ і Lip.

Програма *GstarCAD* (рис. 2.22) підтримує формат DWG версій AutoCAD від 2.5 до 2009, шрифти TTF і SHX, DWGCODERPAGE, шаблони DWT, аудит і відновлення креслення, резервне копіювання, експорт DWG в PDF, експорт в DWF 2D і 3D, редагування зовнішніх посилань на місці, менеджер профілів користувача.

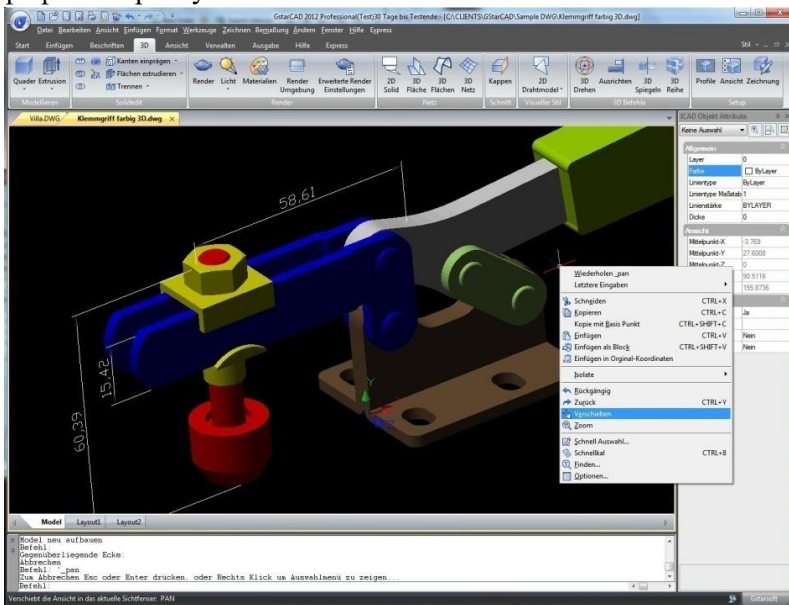


Рисунок 2.22 – Розробка у GstarCAD

InfrasoftCAD – російська САПР-програма, що повністю відповідає промислового стандарту в області САПР. Вона підтримує внутрішній формат файлів DWG і DXF – повна сумісність в читанні, редагуванні запису файлів, створених в AutoCAD версій 2.5-2010, звичне меню, команди і кнопки, які не потребують перенавчання, також підтримується імпорт файлів меню, шрифтів, шарів, штриховок, типів ліній, розмірних стилів, атрибутів блоків, сценаріїв. Все це, а також використання шаблонів (DWT) в якості базових – дозволяє налаштувати комфортне і звичне робоче середовище. *InfrasoftCAD* провідник – центр дизайну аналогічний в AutoCAD, що дозволяє зручно керувати об'єктами в відкритих кресленнях. Одночасне редагування декількох документів чи об'єктів, вбудований калькулятор (з конвертором) – спрощує інженерні розрахунки і використання результатів відразу в роботі над кресленням. У даній САПР реалізовані зручні команди, такі як «Панель властивостей» для швидкого перегляду і зміни властивостей одного, або декількох виділених об'єктів у відкритому кресленні, та команда «Швидкий вибір», що дозволяє вибір різних об'єктів за їх властивостями; динамічний моніторинг координат; необмежену кількість дій «скасувати» і «повернути».

VtoCAD – це повноцінна система проектування, і вона може бути широко застосована майже у всіх галузях промисловості. З огляду на компактність, легкість установки і низькі системні вимоги, надається можливість встановлювати *VtoCAD* навіть на лептоп і користуватися поза офісом.

Система *КОМПАС-3D* дозволяє реалізувати класичний процес тривимірного параметричного проектування – від ідеї до асоціативної об'ємної моделі, від моделі до конструкторської документації. Основні компоненти *КОМПАС-3D* – власна система тривимірного твердотілого моделювання, універсальна система автоматизованого проектування *КОМПАС-Графік* і модуль проектування специфікацій. Всі вони легкі в освоєнні, мають декількамовний інтерфейс і довідкову систему. Приклад розробки у системі *КОМПАС-3D* представлено на рис. 2.23.

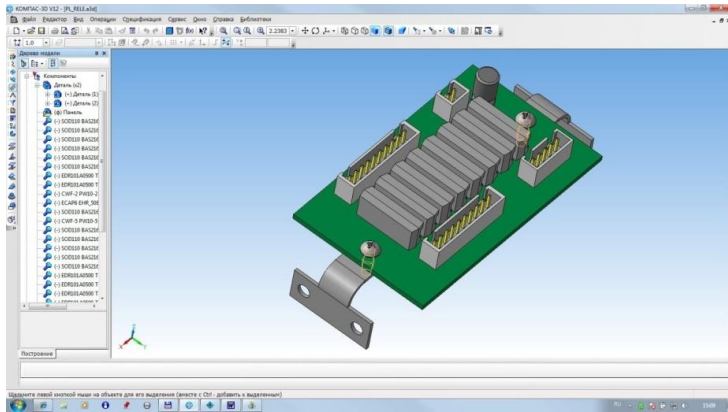


Рисунок 2.23 – Приклад розробки у КОМПАС-3D

AutoCAD Inventor Suite – це комплекс програмного забезпечення для тривимірного проектування і складання конструкторської документації.

Inventor – це сімейство продуктів для промислового 3D-проекування, що включає в себе засоби моделювання, створення інструментального оснащення та обміну проектними даними. Використання технології цифрових прототипів (3D-моделей) дозволяє створювати вироби більш високої якості за менший час. Приклад розробки у даній САПР наведено на рис. 2.24.



Рисунок 2.24 – Робоче поле AutoCAD Inventor Suite

Системи середнього рівня представляють на сьогоднішній день найбільш широкий спектр рішень, який розвинувся як більш функціональна альтернатива набору систем нижнього рівня. Особливістю систем середнього рівня є те, що в основі їх функціонування полягає застосування методів тривимірного моделювання (твердотільного і/або поверхневого). Відмінною рисою систем середнього рівня є їх вузька орієнтація на певний клас завдань: конструювання виробів і підготовка конструкторської документації, моделювання механообробки певного типу і розробка нових технологічних процесів, виконання певного типу аналізу. Системи середнього рівня обмежені як в можливостях геометричного моделювання, так і в функціональному відношенні, але більш за все вони обмежені в питаннях забезпечення взаємодії з іншими системами. Основне призначення систем середнього рівня можливо описати як універсальний інструмент для швидкого створення нескладних моделей, підготовки і випуску креслень. Системи середнього рівня не мають спеціалізованих додатків для вирішення специфічних завдань підготовки виробництва, таких, наприклад, як проектування і виготовлення оснащення, аналізу та оптимізації конструкції. Для вирішення завдань рівня підприємства необхідно комбінувати різні системи, а також доповнювати системи середнього рівня більш спеціалізованими системами нижнього рівня. І хоча розробники і постачальники систем середнього рівня заявляють про їх тісну інтеграцію між собою та можливість таким чином автоматизувати з їх допомогою всі інженерні роботи сучасних підприємств радіоелектронного приладобудування, вибудувати на їх основі єдиний комплекс не вдається. Причиною тому є відсутність асоціативного зв'язку між різнорідними системами. Це означає, що однозначно з системи в систему передаються тільки геометричні дані. Дані ж топологічні (тобто методика розробки проекту) і структурні (ієрархія проекту, структурні зв'язки між його компонентами) між системами не передаються за різномірністю їх математичних моделей (ядер). Те ж саме стосується і внутрішньої інформації про виріб: кожна система зберігає в собі

власну копію математичної моделі, в якій міститься інформація про розміри, допуски точності і т.д., недоступна для інших систем. У цьому випадку, крім передачі геометрії з системи в систему через стандартний інтерфейс, необхідно передавати ще й детальну креслярську документацію, пов'язану з моделлю тільки формально. У разі, якщо при передачі креслення, в ньому була виявлена і виправлена помилка, то це може не знайти свого відображення в моделі, тому що по суті це абсолютно різні, не пов'язані один з одним одиниці інформації.

Потрібно відзначити, що ряд систем середнього рівня формально пропонують автоматизацію всіх видів конструкторсько-технологічної підготовки виробництва. Але в даному випадку мова йде скоріше про автоматизацію окремих видів робіт на кожній ділянці циклу «проектування-виробництво» – по суті, звичайний кульман замінюється електронним без привнесення якісно нових методів роботи. Підвищення ефективності роботи при такому підході досить незначно при повній відсутності перспектив для підвищення.

У даний час у галузі радіоелектронного приладобудування широко використовуються два типи твердотільного геометричних ядра (Parasolid від фірми Unigraphics Solutions і ACIS від Spatial Technology). Найбільш відомими CAD/CAM-системами середнього рівня на основі ядра ACIS є: ADEM (Omega Technology), Cimatron (Cimatron Ltd.), Mastercam (CNC Software, Inc.), AutoCAD, Mechanical Desktop і Autodesk Inventor (Autodesk Inc.), PowerMILL (DELCAM), Caddy ++ Mechanical Design (Ziegler Informatics GmbH), сімейство продуктів Bravo (Unigraphics Solutions), IRONCAD (VDS) та ін.

До числа CAD/CAM-систем середнього рівня на основі ядра Parasolid належать, зокрема, MicroStation Modeler (Bentley Systems Inc.), CADKEY 99 (CADKEY Corp.), Pro/Desktop (Parametric Technology Corp.), SolidWorks (SolidWorks Corp.), Anvil Express (MCS Inc.), Solid Edge і Unigraphics Modeling (Unigraphics Solutions); IronCAD (VDS) та ін.

ADEM – це програмне забезпечення для промисловості і

освіти Ця інтегрована CAD/CAM/CAPP система призначена для автоматизації конструкторсько-технологічної підготовки виробництва. До складу її програмного комплексу входять інструменти для автоматизації:

- проектування, конструювання та моделювання виробів;
- оформлення креслярсько-конструкторської документації відповідно до вимог єдиної системи конструкторської документації (ЕСКД);
- проектування технологічних процесів і оформлення технологічної документації відповідно до вимог єдиної системи технологічної документації (ЕСТД);
- програмування обладнання з ЧПУ;
- управління архівами і проектами.

Приклад розробки у модулі ADEM Assembly Manager приведено на рис. 2.25.

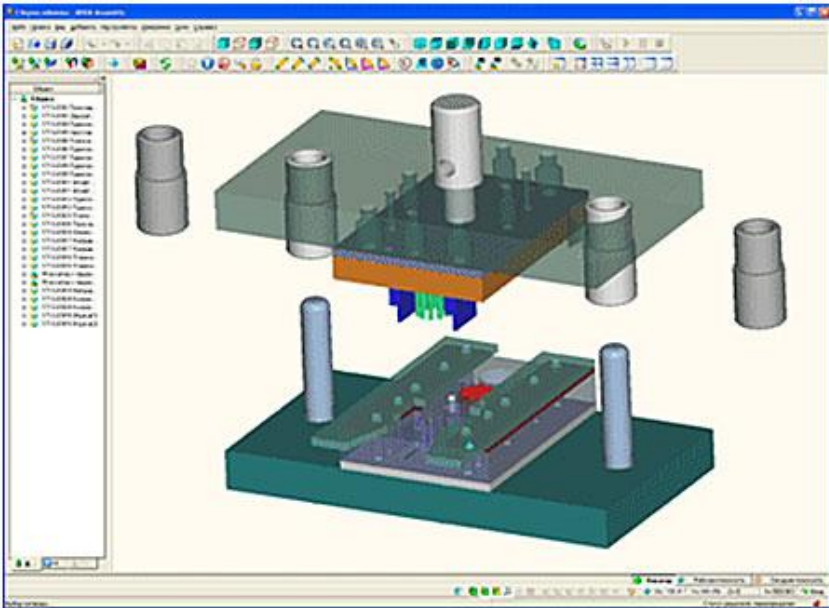


Рисунок 2.25 – ADEM Assembly Manager

SolidWorks – потужний засіб проектування, що базується на передових технологіях гібридного параметричного моделювання, інтегрованих засобах електронного документообігу SWR-PDM/Workflow і широкому спектрі спеціалізованих модулів (рис.2.26).

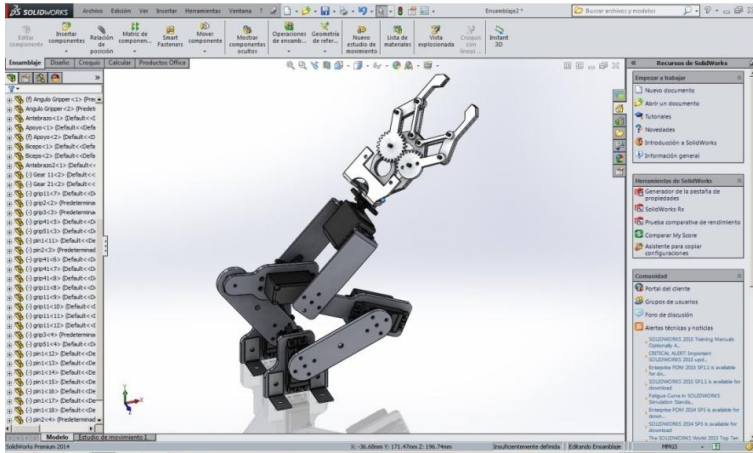


Рисунок 2.26 – Робоче поле SolidWorks

Розробником вказаної системи є SolidWorks Corp. (США), незалежний підрозділ холдингу Dassault Systemes (Франція) – світового лідера в області високотехнологічного програмного забезпечення.

Концептуальні ідеї, покладені розробниками в основу SolidWorks, і такі якості, як висока продуктивність і надійність, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, багатомовний інтерфейс та підтримка ЕСКД, зумовлюють успіх впровадження SolidWorks на підприємствах вітчизняної промисловості. Функціональна структура даної САПР приведена на рис. 2.27.

Системи верхнього рівня пропонують найбільш повний набір функціональних можливостей і інструментальних засобів для автоматизації всього циклу проектування і підготовки виробництва продукції. Прикладами CAD/CAM-систем верхнього

рівня є Pro/Engineer, Unigraphics, CATIA, EUCLID, I-Декакен (всі вони мають розрахункову частину CAE). Всі системи верхнього рівня включають кошти автоматизованого конструювання, технологічної підготовки виробництва і засоби автоматизації інженерних розрахунків. Кожна з систем базується на власному геометричному ядрі, і здатна вирішувати широкий спектр завдань проектування і підготовки виробництва незалежно від складності проєктованих виробів.



Рисунок 2.27 – Функціональна структура SolidWorks

Системи верхнього рівня є найбільш універсальними, вони допускають роботу різних груп користувачів над одним проєктом спільно і управління даними на рівні робочих груп. Такі системи містять різні прикладні модулі, які пов’язані між собою. Сказати однозначно, що та чи інша система краще, не є можливим. Існує велика кількість непрямих критеріїв, таких як комерційний успіх системи або конкретний досвід використання на родинних підприємствах, по яких можливо зробити вибір для корпорації.

На сьогоднішній день основними критеріями вибору тієї чи іншої системи є:

- повнота функціональних можливостей (включаючи адаптацію до вітчизняних стандартів);
- наявність унікальних функцій, життєво необхідних підп-

риємству або мають дуже важливе значення (наприклад, оптимізаційне моделювання або інтеграція з САПР електроніки);

- середня вартість одного робочого місця;
- простота інтерфейсу і легкість освоєння (включаючи наявність необхідних підручників і довідників на декількох мовах).

CATIA V5, що є одним з провідних представників систем верхнього рівня, – CAD/CAM/CAE – це система для опису виробу і його моделювання на різних етапах життєвого циклу. Вона була розроблена в 1998 році на основі нового ядра CNEXT, що містить засоби як для опису геометрії виробу, так і для опису процесів його створення, з можливістю зберігати і накопичувати використовувані при цьому прийоми і методи у вигляді корпоративних знань. Ідеї PLM, закладені в самій основі системи, дозволяють виключно швидко розвивати і нарощувати її функціональність в бажаному напрямку. В цьому складається основна відмінність даної системи від програмних продуктів інших компаній-розробників.

Приклад розробки друкованого модуля у даній САПР наведено на рис.2.28.

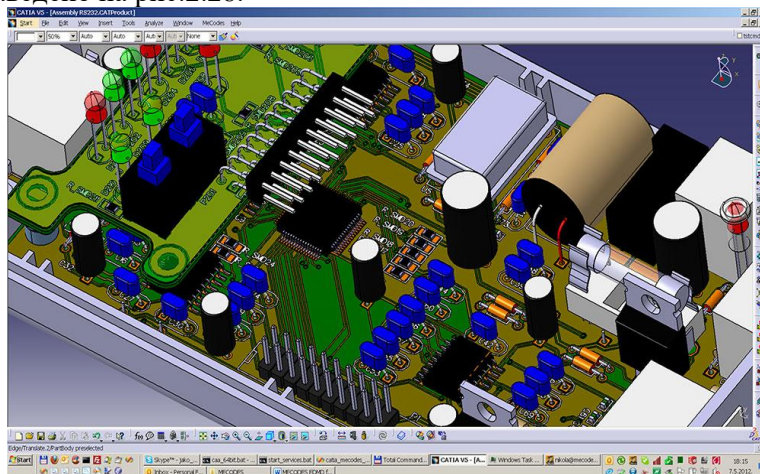


Рисунок 2.28 – Робоче поле CATIA V5

Pro\Engineer – це повнофункціональна САПР верхнього рівня, призначена для розробки виробів будь-якої складності. Завдяки потужним можливостям автоматизації всіх дисциплін радіоелектронного приладобудування, *Pro\Engineer* є загально-визнаним 3D-рішенням для моделювання і розробки конкурентоспроможних комерційних виробів. Інтегровані CAD/CAM/CAE рішення *Pro\Engineer* дозволяють проектувати швидше, ніж будь-коли, максимально сприяючи появі нових ідей і підвищенню якості, що в кінцевому підсумку призводить до автоматизації процесів створення сучасних виробів високої якості.

CAD/CAE/CAM Unigraphics NX – це система високого рівня, призначена для вирішення всього комплексу завдань, що ставляться перед інженерами на всіх етапах створення складних технічних виробів радіоелектронного приладобудування (попереднє проектування, етап інженерного аналізу і оптимізації конструкції, виготовлення). Це система тривимірного твердотільного гібридного моделювання, що надає інженеру все необхідне для роботи з твердим тілом, поверхнею і каркасною моделлю. У *NX* об'єднані ключові функції для швидкої, ефективної і гнучкої розробки виробів. Приклад моделювання у *NX* наведено на рис. 2.29.

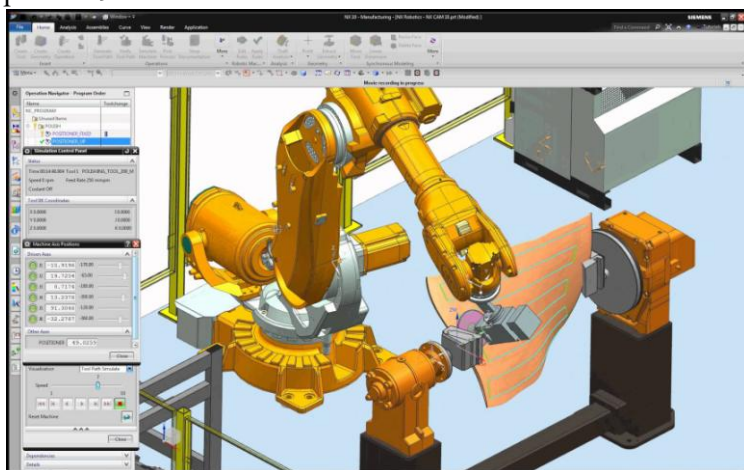


Рисунок 2.29 – Моделювання у *NX*

Всі функції роботи з твердим тілом і поверхнею відображені в повністю асоціативному, параметричному дереві побудови. Навігатор наочно представляє елементи моделі і порядок її побудови, дозволяє вибрати конструктивні елементи, оперативно змінювати їх і зв'язки між ними. Історію побудови моделі можливо переглянути покроково, допускається копіювати і вставляти в модель конструктивні елементи. Кількість елементів, з яких будується деталь, не обмежена. NX надає можливість конструктору працювати безпосередньо з геометричними елементами 3D-моделі, що дозволяє вносити необхідні зміни як в параметризовані, так і не параметризовані моделі, а також перетворювати поверхні і тверді тіла в типові елементи і вносити їх в конструкторську базу даних для повторного використання.

Сучасні CAD/CAM/CAE – системи проектування, до яких відноситься і NX, переводять автоматизацію процесів проектування, конструювання, розробки технологічних процесів та виготовлення радіоелектронних приладів на новий якісний рівень.

Реалізація *систем автоматизованого керування виробництвом* в наш час представлена великою кількістю як великих корпорацій, так і маленьких вузькопрофільних компаній. Одним з найбільш розповсюджених та відомих представників у даній галузі в Україні є корпорація «Інформаційні технології», флагманським продуктом якої є система ІТ Enterprise – повнофункціональна АСУВ, що охоплює всі галузі роботи підприємства, а також забезпечує ефективне керування групою підприємств. Дана система відповідає сучасним міжнародним стандартам та концепціям, а також реалізована за принципами відкритої архітектури, що дозволяє повну конфігурацію даної системи під потреби конкретного підприємства, а також забезпечую гнучкість системи. Функціональна структура ІТ Enterprise представлена на рис. 2.30.

ERP-система ІТ-Enterprise охоплює всі сторони виробничої, фінансової та господарчої діяльності виробництва та складається з численної кількості модулів, кожний з яких автоматизує певні задачі.

Умовно усі модулі поділяються на наступні контури керування:

- керування виробництвом та технічною підготовкою виробництва;
- керування проектами;
- керування основними виробничими фондами;
- керування бізнес-процесами та документообігом;
- логістика;
- бюджетування та контролінг;
- керування персоналом;
- аналіз та оптимізація діяльності;
- бухгалтерський та податковий облік;
- адміністрування системи;
- інструментальні засоби розвитку системи.

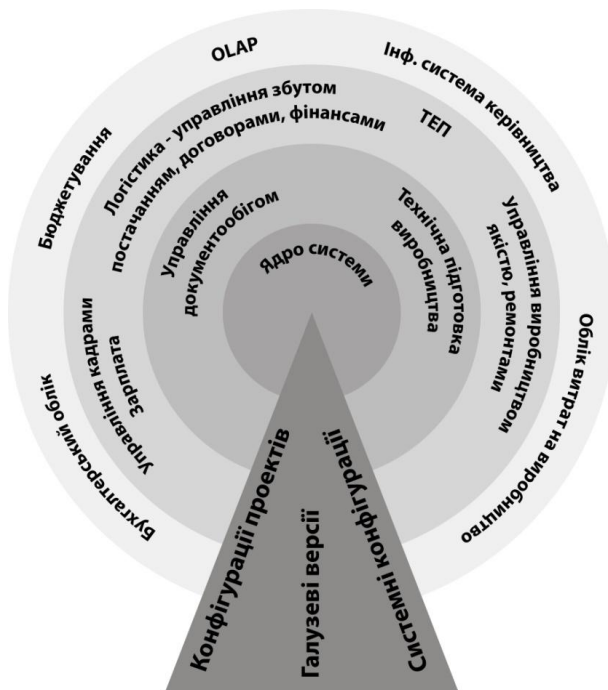


Рисунок 2.30 – Функціональна структура IT Enterprise

Кожний контур керування складається з декількох модулів. Допускається як ізольоване один від одного функціонування модулів, так і їх комбінації, необхідні певному виробництву.

Усі модулі IT-Enterprise базуються на єдиному системному та функціональному ядрі, до якого входять модулі керування доступом та безпекою, адміністрування системи та бази даних, інструментальні засоби розвитку системи.

З допомогою потужного апарату налаштування формуються системні конфігурації та налаштування, на базі яких складаються типові галузеві версії системи IT-Enterprise. Для кожного проекту впровадження системи виконується кастомізація – налаштування та конфігурування для роботи на певному підприємстві.

Таким чином, єдина система IT-Enterprise працює на підприємствах різної галузевої належності та у різному законодавчому полі. Відмінності полягають тільки у налаштуванні параметрів, налаштуванні алгоритмів та методик, комплектах форм документів, галузевих конфігураторів та переліку модулів у поставці. Що говорить о високому рівні уніфікованості системи.

Модулі, створені «під замовлення», після їх параметризації включаються до складу загальної системи.

Хмарні обчислення, що є основою функціонування *хмарних технологій*, – це принцип обробки даних, в якому комп'ютерні ресурси і потужності надаються користувачеві як інтернет-сервіс. Користувач має доступ до власних даних, але не може управляти і не повинен піклуватися про інфраструктуру, операційну систему і власне програмне забезпечення, з яким він працює. До обов'язкових характеристик хмарних обчислень відносять наступне:

- самообслуговування на вимогу – споживач самостійно визначає і змінює обчислювальні потреби, такі як серверний час, швидкості доступу і обробки даних, обсяг збережених даних без взаємодії з представником постачальника послуг;
- універсальний доступ по мережі – послуги доступні

споживачам через мережу передачі даних незалежно від використовуваного термінального пристрою;

- об'єднання ресурсів – постачальник послуг об'єднує ресурси для обслуговування великого числа споживачів в єдиний пул для динамічного перерозподілу потужностей між споживачами в умовах постійної зміни попиту на потужності; при цьому споживачі контролюють тільки основні параметри послуги (наприклад, обсяг даних, швидкість доступу), але фактичний розподіл ресурсів, що надаються споживачеві, здійснює постачальник (в деяких випадках споживачі все-таки можуть управляти деякими фізичними параметрами перерозподілу, наприклад, вказувати бажаний центр обробки даних з міркувань географічної близькості);
- еластичність – послуги можуть бути надані, розширені, звужені в будь-який момент часу, без додаткових витрат на взаємодію з постачальником, як правило, в автоматичному режимі;
- облік споживання – постачальник послуг автоматично обчислює спожиті ресурси на певному рівні абстракції (наприклад, обсяг збережених даних, пропускна здатність, кількість користувачів, кількість транзакцій), і на основі цих даних оцінює обсяг наданих споживачам послуг.

Термін «Хмара» використовується як метафора, заснована на зображенні інтернету на діаграмі комп'ютерної мережі, або як образ складної інфраструктури, за якою ховаються всі технічні деталі. Існує декілька типів хмар:

- приватна хмара – інфраструктура, призначена для використання однією організацією, що включає кілька споживачів (наприклад, підрозділів однієї організації), можливо також клієнтами і підрядниками даної організації. Приватна хмара може перебувати у власності, управлінні і експлуатації як самої організації, так і третьої сторони (або будь-якої їх комбінації), і воно може фізично існувати як всередині, так і поза юрисдикцією власника;

- публічна хмара – інфраструктура, призначена для вільного використання широкою публікою. Публічна хмара може перебувати у власності, управлінні і експлуатації комерційних, наукових та урядових організацій (або будь-якої їх комбінації). Публічна хмара фізично існує в юрисдикції власника – постачальника послуг;
- громадська хмара – вид інфраструктури, призначений для використання конкретним спільнотою споживачів з організацій, що мають спільні завдання (наприклад, місії, вимог безпеки, політики, і відповідності різним вимогам). Громадська хмара може перебувати в кооперативній (спільної) власності, управлінні і експлуатації однієї або більше з організацій спільноти або третьої сторони (або будь-якої їх комбінації), і воно може фізично існувати як всередині, так і поза юрисдикцією власника;
- гібридна хмара – це комбінація з двох або більше різних хмарних інфраструктур (приватних, публічних або суспільних), що залишаються унікальними об'єктами, але пов'язаних між собою стандартизованими або приватними технологіями передачі даних і додатків (наприклад, короткочасне використання ресурсів публічних хмар для балансування навантаження між хмарами).

Для забезпечення узгодженої роботи вузлів обчислювальної мережі на стороні хмарного провайдера використовується спеціалізоване сполучне програмне забезпечення, що забезпечує моніторинг стану обладнання та програм, балансування навантаження, забезпечення ресурсів для вирішення завдання.

Хмарні сервіси є комбінацією існуючих технологічних рішень, які взаємно інтегровані для забезпечення максимального автоматизму і мінімізації участі людини в роботі комплексу. Можливо виділити основні блоки, які в першу чергу відрізняють «хмарний» сервіс від класичного:

- портал самообслуговування – інструмент, за допомогою якого користувач може замовити для себе заздалегідь визначений сервіс з потенційним уточненням деталей

конфігурації (наприклад, у випадку з IaaS, віртуальну машину, уточнивши обсяг необхідної оперативної пам'яті, число процесорних ядер, розмір дискового простору і т.п.) , змінити параметри раніше замовленого сервісу або відмовитися від нього;

- каталог сервісів – список доступних користувачеві сервісів і пов'язані з кожним із сервісів шаблони їх створення, тобто правила, за якими кошти автоматизації будуть даний сервіс конфігурувати на реальному обладнанні і програмному забезпеченні;
- оркестратор – механізм, що виконує послідовність операцій, визначених в шаблоні для кожного сервісу;
- система тарифікації і виставлення рахунків (білінгу) – механізм, що визначає обсяг спожитих користувачем ресурсів і співвіднесення з користувачем відповідних фінансових витрат.

Одним з основних (але не обов'язкових) рішень для згладжування нерівномірності навантаження на послуги є розміщення шару серверної віртуалізації між шаром програмних послуг і апаратним забезпеченням. В умовах віртуалізації балансування навантаження може здійснюватися за допомогою програмного розподілу віртуальних серверів за реальними, перенесення віртуальних серверів відбувається за допомогою динамічної міграції.

У галузі радіоелектронного приладобудування впровадження хмарних технологій у виробництво базується на застосуванні хмарних платформ, одним з найбільш розповсюджених з яких є Microsoft (Windows) Azure, що надає можливість розробки і виконання програм, і зберігання даних на серверах, розташованих в розподілених дата-центрах.

Microsoft Azure реалізує дві хмарні моделі – платформи як сервісу (PaaS) та інфраструктури як сервісу (IaaS). Працездатність платформи Windows Azure забезпечує мережу глобальних дата-центрів Microsoft.

До основних особливостей даної моделі відносять:

- оплату тільки спожитих ресурсів;
- загальну, багатопотокову структуру обчислень;
- абстракцію від інфраструктури.

В основі роботи Microsoft Azure полягає запуск віртуальної машини для кожного екземпляра додатка. Розробник визначає необхідний обсяг для зберігання даних і необхідні обчислювальні потужності (кількість віртуальних машин), після чого платформа надає відповідні ресурси. Коли початкові потреби в ресурсах змінюються, відповідно до нового запиту замовника платформа виділяє під додаток додаткові або скорочує невикористовувані ресурси дата-центру.

Microsoft Azure як PaaS забезпечує не тільки всі базові функції операційної системи, але і додаткові: виділення ресурсів на вимогу для необмеженого масштабування, автоматичну синхронну реплікацію даних для підвищення відмовостійкості, обробку відмов інфраструктури для забезпечення постійної доступності та багато іншого.

Microsoft Azure також реалізує інший тип сервісу – інфраструктуру як сервіс. Модель надання інфраструктури (апаратних ресурсів) реалізує можливість оренди таких ресурсів, як сервери, пристрої зберігання даних та мережеве обладнання. Управління всією інфраструктурою здійснюється постачальником, споживач управляє тільки операційною системою і встановленими додатками.

Microsoft Azure складається з:

- compute – компонент, який реалізує обчислення на платформі Windows Azure;
- storage – компонент сховища, що надає масштабуєме сховище. Сховища не має можливості використовувати реляційну модель і є альтернативною «хмарною» версією SQL Server.
- fabric – Windows Azure Fabric за своїм призначенням є «контролером» і ядром платформи, виконуючи функції моніторингу в реальному часі, забезпечення відмовостійкості, виділення потужностей, розгортання серверів, вірту-

альних машин і додатків, балансування навантаження і управління обладнанням.

Практично всі сервіси Microsoft Azure мають API, побудоване на REST, що дозволяє розробникам використовувати «хмарні» сервіси з будь-якою операційною системою, пристроями і платформами.

Структура Microsoft Azure при розробці та тестуванні радіоелектронних приладів приведена на рис. 2.31.

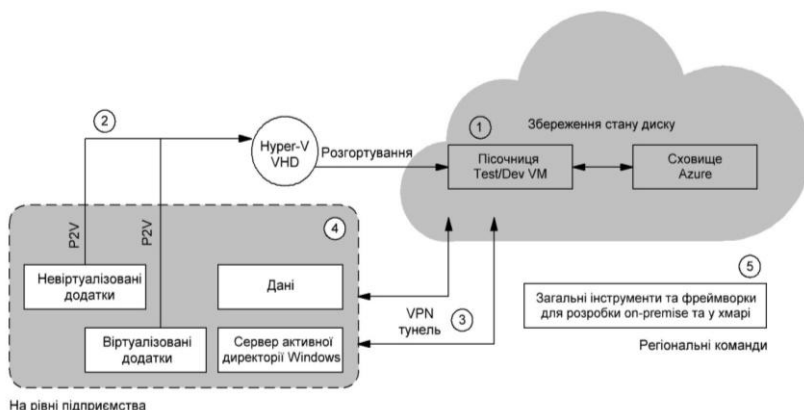


Рисунок 2.31 – Розробка та тестування у хмарі Microsoft Azure:
1 – віртуальні машини для Test/Dev у хмарі; 2 – використання існуючих практик та інструментів для їх переміщення у хмару; 3 – зв’язок з додатками та даними компанії; 4 – єдиний механізм ідентифікації; 5 – доступ для регіонально розподілених команд

Інтернет речей (Internet of Things – IoT) – це концепція обчислювальної мережі фізичних об’єктів («речей»), оснащених вбудованими технологіями для взаємодії один з одним або з зовнішнім середовищем, яка розглядає організацію таких мереж як явище, здатне перебудувати економічні та суспільні процеси, що виключає з частини дій і операцій необхідність участі людини. Дана концепція сформульована в 1999 році як осмислення перспектив широкого застосування засобів радіочастотної ідентифікації для взаємодії фізичних об’єктів між собою і з зовнішнім

оточенням. Наповнення концепції інтернету речей різноманітним технологічним змістом і впровадження практичних рішень для її реалізації починаючи з 2010 років вважається висхідним трендом в інформаційних технологіях, перш за все, завдяки повсюдного поширення бездротових мереж, появи хмарних обчислень, розвитку технологій межмашинної взаємодії, початку активного переходу на IPv6 і освоєння програмно-конфігуруючих мереж.

Ідеологія інтернету речей (англ. Internet of Things, IoT) спрямована на підвищення ефективності економіки за рахунок автоматизації процесів в різних сферах діяльності і виключення з них людини. Даний підхід знаходить останнім часом знаходить широке розповсюдження у найбільших представників світового виробництва радіоелектронних приладів, таких як Cisco, IBM, Intel, та ін. Впровадження вказаних концепцій у виробництво радіоелектронних приладів дозволяє вивести вказані виробництва на абсолютно новий рівень автоматизації, підвищити якість виробів та значно спростити процеси керування виробництвом та більшість етапів розробки та виготовлення приладів.

На початок 2016 року в використанні технологій інтернету речей компанії орієнтуються в першу чергу на масові сегменти IoT, де спонуканням кінцевих користувачів до використання рішень і сервісів IoT є наступні ринкові стимули.

«Розумний будинок», з урахуванням рішення для створення інтелектуальних сервісів безпеки, та рішення для створення інтелектуальних сервісів оптимізації використання ресурсів домогосподарствами.

«Розумний транспорт», з урахуванням сервісів класу fleet management для індивідуальних перевізників (аналог Uber для вантажного транспорту), сервісів UBI-страхування, та сервісів технічного обслуговування по фактичному стану.

Торгівля і фінансові послуги, а саме:

- рішення для автоматичної передачі та аналізу даних з POS-терміналів, включаючи віртуальні;
- управління запасами домогосподарств.

Промисловий сегмент, що включає в собі переклад АСУТП на принципи IoT.

Загальні структура реалізації концепції інтернету речей, що базується на застосуванні хмарних технологій на прикладі хмарної платформи Microsoft Azure, приведена на рис. 2.32.

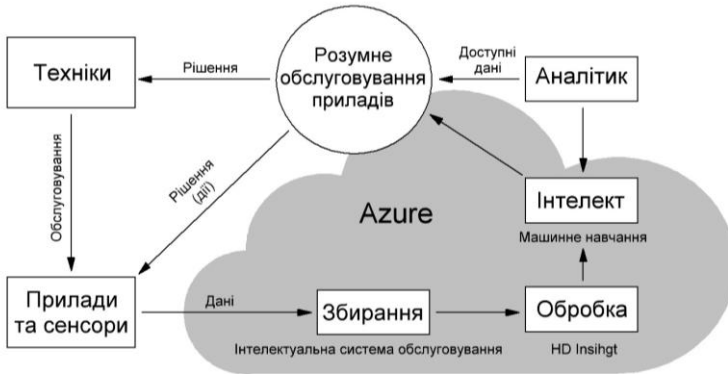


Рисунок 2.32 – Структура реалізації концепції інтернет речей

У наведеному принципі реалізації інтернет речей знаходять застосування різноманітні технології, до яких відносять:

- засоби ідентифікації, що можуть бути представлені всіма засобами, що застосовуються для автоматичної ідентифікації, а саме оптично-розпізнавані ідентифікатори (штрих-коди, Data Matrix, QR-коди), засоби визначення місцезнаходження в режимі реального часу та ін.;
- засоби вимірювання, що забезпечують перетворення відомостей про зовнішнє середовище в машинозчитувані дані, і тим самим здатні наповнити обчислювальну середу значущою інформацією, що можуть бути представлені як елементарними датчиками (наприклад, температури, тиску, освітленості), приладами обліку споживання (інтелектуальні лічильники), так і складними інтегрованими вимірювальними системами;
- засоби передачі інформації, які охоплюють всі можливі

засоби бездротових і дротових мереж;

- засоби обробки інформації.

Також невід’ємною частиною реалізації розглянутої концепції є застосування безлічі сервісів, до яких можливо віднести наступні:

- Event Hub (концентратор подій) – збір великих обсягів даних від різних сенсорів;
- Stream Analytics (поточкова аналітика), що дозволяє визначати запити на «живі» потоки даних, що надходять з Event Hubs, за рахунок чого стає можливою реалізація їх попередньої обробки і організація реакції на події;
- Azure ML – технологія машинного навчання, що дозволяє навчити певну модель на наявних даних, а потім забезпечити доступ до неї у вигляді WEB-сервісу для формування прогнозів або висновків;
- Azure HD Insight – кластерна технологія обробки великих обсягів даних, отримання різних зрізів даних і агрегованих значень з допомогою алгоритмів типу MapReduce;
- хмарна платформа Microsoft Azure – технології зберігання великих обсягів даних різних форматів (реляційні СУБД SQL Azure, квазіструктуризовані таблиці Azure Storage, СУБД NoSQL).

Реалізовані системи управління ресурсами на базі IoT передбачають автоматизацію збору експлуатаційних даних на кожному зі структурних елементів виробництва для структурованого обліку ресурсів і підвищення надійності устаткування. Метою таких систем є поліпшення завантаженості виробничих потужностей і розробки стандартизованого рішення для кожного підрозділу, без переривання процесу виробництва. Контроль за виробничими і обслуговуючими процесами, що стає можливим при реалізації даних систем в галузі радіоелектронного приладобудування, дозволяє істотно знизити витрати на управління запасами.

Інтернет речей та його впровадження у промислові процеси надає безліч можливостей, до яких включають:

- промисловий контроль і збір даних з використанням різних програмних рішень і хмарних технологій;
- взаємозв'язність – завдяки використанню промислових IP-мереж, віртуалізації, хмарних технологій, мобільних пристроїв і потокового відео;
- контекстуалізацію – осмислення отриманих даних для формування робочих процесів і розподілу цих процесів між машинами, інформаційними системами і персоналом.

Всі ці можливості були технічно реалізовані ще до появи концепції інтернету речей, але завдяки взаємозв'язку, автоматизації та аналізу даних інформаційні технології підсилюють технічний потенціал, а інформаційні сервіси дозволяють поліпшити аналіз і використання експлуатаційних даних, виявити їх цінність для більшої кількості людей.

Концепція інтернету речей має і свої складності, а саме:

- безпека. У міру того, як все більше пристроїв і систем виявляються підключеними до інтернету речей, інформаційна безпека стає зоною відповідальності не тільки відділу інформаційних технологій, а й кожного співробітника. Для зниження ризику витік інформації все зобов'язані дотримуватися внутрішнім принципам і процедурам;
- масштабованість і отримання інформації в реальному часі. Обидва ці поняття тісно пов'язані між собою, оскільки нинішнє використання відкритих мереж інтернету втрачає свою ефективність при тих величезних обсягах даних, що властиві інтернету речей, і при великій кількості показників, які необхідно відстежувати в реальному часі;
- обмежені можливості пристроїв. Не будь-який пристрій на виробництві можливо зробити «розумним» або підключити до мережі.

Всі це недоліки обумовлюють потреби розвитку обладнання і вирішення супутніх проблеми при випуску проектів, пов'язаних з Інтернетом речей у галузі радіоелектронного приладобудування.

Контрольні питання до розділу 2

1. Поясніть сутність автоматизації виробничих процесів.
2. На які групи поділяються засоби виробництва за своїми функціональними можливостями і рівнем автоматизації?
3. Скільки рівнів автоматизації розрізняють, та в чому полягає сутність кожного з них?
4. На які види, з точки зору повноти охоплення і стадії вирішуваних завдань, поділяється автоматизація?
5. За якими напрямками розвиваються наукові основи автоматизації виробництв радіоелектронного приладобудування?
6. Що таке автоматизована система управління виробництвом та які функції вона виконує?
7. Які види забезпечень входять до складу автоматизованої системи управління виробництвом?
8. Які основні класи структур систем управління розрізняють, та в чому полягає їх сутність?
9. На які види розрізняють виробничі системи за принципом керування, що є характерним для кожного з них?
10. Що таке автоматизована система управління технологічним процесом, що входить до її складу?
11. Що таке технологічний об'єкт управління, наведіть реальні приклади?
12. Скільки існує рівнів автоматизованої системи управління технологічним процесом та що відносять до кожного з них?
13. Які підсистеми управління включає до себе автоматизована система управління підприємством у галузі радіоелектронного приладобудування?
14. Що таке ERP системи та в чому полягає їх призначення?
15. Скільки рівнів управління інтегрованим виробництвом розрізняють, та що характерно для кожного з них?
16. Які властивості надала комп'ютерна інтеграція рівнів автоматизованого виробництва системам автоматизації?

17. *Що таке системи малої автоматизації, що відносять до основних факторів, сприяючих їх розвитку?*
18. *Назвіть основні етапи автоматизації життєвого циклу сучасних радіоелектронних приладів.*
19. *В чому полягає мета реалізації CALS-стратегії?*
20. *Що відносять до кількісних показників якості радіоелектронних приладів в умовах автоматизованих виробництв, як проводяться їх розрахунки?*
21. *Що таке статистичні методи планування експерименту, в чому полягає сутність їх застосування в галузі радіоелектронного приладобудування?*
22. *Що називають повним фаховим експериментом?*
23. *На чому базуються сучасні тенденції у автоматизації виробництв галузі радіоелектронного приладобудування?*
24. *Що таке хмарні обчислення, в чому полягають їх переваги?*
25. *Що відносять до концепції та ідеології Інтернету речей?*

3 ОБЛАДНАННЯ ТА ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

3.1 Автоматизоване виробництво радіоелектронних приладів, як технологічна система

Технологічна система (ТС) є частиною виробничої системи і, як будь-яка інша система, має свою структуру і функціонує в певних умовах, та може містити в собі і засоби, і обладнання автоматизації виробництва.

Технологічна система – це сукупність функціонально пов'язаних засобів технологічного оснащення, предметів виробництва і виконавців для виконання в регламентованих умовах виробництва заданих технологічних процесів або операцій.

Склад і структура ТС, умови виробництва, режим роботи регламентуються конструкторською, технологічною та іншою технічною документацією. Зміна цієї документації призводить до відповідної зміни ТС.

Усі ТС, можливо, підрозділити на чотири ієрархічних рівня:

- ТС операцій;
- ТС процесів;
- ТС виробничих підрозділів;
- ТС підприємств.

ТС операції забезпечує виконання однієї заданої технологічної операції.

ТС процесу включає в себе в якості підсистем сукупність технологічних систем операцій, які відносяться до одного методу (обробки, формоутворення, складання або контролю) або до одного найменування виготовленої продукції. При наявності АСУТП її технічні засоби входять до складу ТС цього процесу.

ТС виробничого підрозділу складається з технологічних систем процесів і (або) операцій, що функціонують в рамках

даного підрозділу.

ТС підприємства складається із технологічних систем його виробничих підрозділів.

Розрізняють такі види технологічних систем:

- *послідовна* – ТС, всі підсистеми якої послідовно виконують різні частини заданого технологічного процесу;
- *паралельна* – ТС, підсистеми якої паралельно виконують заданий технологічний процес або задану технологічну операцію;
- *комбінована* – ТС, структура якої може бути представлена у вигляді об'єднання послідовних і паралельних систем більш низького рівня. (схема структури вказаних систем приведено на рис. 3.1);
- *ТС з жорстким зв'язком підсистем* – технологічна система, в якій відмова хоча б однієї підсистеми викликає негайне припинення функціонування технологічної системи в цілому;
- *ТС з нежорстким зв'язком підсистем* – технологічна система, в якій відмова однієї з підсистем не викликає негайного припинення функціонування технологічної системи в цілому.

За рівнем автоматизації ТС класифікують наступним чином:

- *механізована* – ТС, засоби технологічного оснащення якої складаються з механізовано-ручних та механізованих технічних пристроїв;
- *автоматизована* – ТС, засоби технологічного оснащення якої складаються з автоматизовано-ручних і автоматизованих пристроїв;
- *автоматична* – ТС, засоби технологічного оснащення якої складаються з автоматичних пристроїв;

За рівнем спеціалізації:

- *спеціальна* – ТС для виготовлення або ремонту виробу одного найменування і типорозміру;
- *спеціалізована* – ТС для виготовлення або ремонту групи

виробів із загальними конструктивними і технологічними ознаками;

- *універсальна* – ТС для виготовлення або ремонту виробів з різними конструктивними і технологічними ознаками.

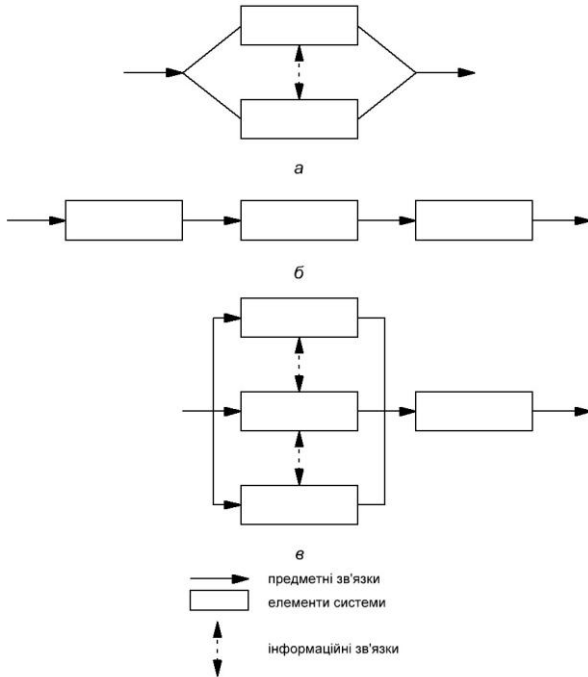


Рисунок 3.1 – Схема структури технологічних систем: а – паралельна; б – послідовна система; в – комбінована

Аналогічні поняття рівнів і видів використовують також для технологічних комплексів.

Окремим випадком (видовим поняттям) послідовної ТС є *технологічна лінія*, в якій технологічне обладнання розташовують у послідовності виконання операцій заданого технологічного процесу таким чином, щоб число робочих місць дорівнювало

числу операцій. При цьому в послідовній ТС на одне і те ж робоче місце предмет виробництва може надходити кілька разів для виконання різних операцій.

Підсистеми паралельної ТС можуть містити загальні засоби технологічного оснащення. У випадку, якщо паралельні підсистеми верстатів не містять спільних елементів (наприклад, шестеро однотипних верстатів виконують паралельно і незалежно один від одного одну і ту ж операцію технологічного процесу), то ТС називають багатоканальною.

Класифікація ТС за рівнем спеціалізації відноситься до технологічних систем операції, процесу та виробничого підрозділу. При цьому універсальна, спеціалізована, спеціальна ТС виробничого підрозділу (процесу) можуть містити в собі підсистеми різного рівня спеціалізації. Рівень спеціалізації ТС визначають співвідношенням обмежень, зробленого кожною підсистемою відповідно до номенклатурі продукції, що виготовляється. Невдалий вибір цього співвідношення призводить до зниження технологічних можливостей системи в цілому.

ТС, що виконує груповий технологічний процес, є *універсальною*.

Рівень і вид ТС є визначальними ознаками для вибору критеріїв відмов і граничних станів, показників надійності та методів їх оцінки.

Підсистема, як і сама ТС, повинна являти собою сукупність функціонально взаємозалежних засобів технологічного оснащення і людини-оператора та володіти основними властивостями даної системи. Тому, наприклад, систему, що забезпечує виконання декількох технологічних процесів, зручно умовно ділити на підсистеми, які виконують окремі технологічні процеси. У свою чергу, останні можливо умовно ділити на підсистеми, які виконують окремі операції. Глибина структурного розподілу залежить від мети дослідження.

У кожній ТС є обов'язковий елемент – *сукупність засобів технологічного оснащення* даної технологічної системи. При цьому сукупність засобів технологічного оснащення допускаєть-

ся розглядати як об'єднання технічних підсистем і елементів.

Функціональна відмова ТС призводить до повного, або часткового припинення її функціонування. Прикладом часткового припинення функціонування може служити поломка одного з інструментів при обробці деталей на автоматичній лінії. При цьому може тривати випуск продукції, але без обробки відповідних поверхонь деталі. До функціональних відмов слід відносити і факти перевищення термінів запланованих перерв у роботі, тобто перевищення регламентованого часу зміни інструменту, установки заготовки (партії заготовок), заданих перерв на відпочинок обслуговуючого персоналу і т.д.

Параметрична відмова ТС виражається у виході параметрів функціонування окремих її елементів за допустимі межі. Наприклад: вихід значень показників якості деталей за поле допуску на обробку; зниження ритму випуску нижче заданого рівня; нерегламентована зміна режимів обробки; перевищення матеріальних і трудових витрат; неприпустиме забруднення навколишнього середовища, причиною якого є процес функціонування даної системи і т.д.

Надійність ТС є комплексною властивістю, що у залежності від призначення та умов застосування системи може включати безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збереженість, або певні поєднання цих властивостей. Визначення надійності ТС проводиться шляхом розрахунків показників надійності.

При *розрахунку показників надійності одноканальних ТС* із жорстким зв'язком приймаються наступні допущення:

- відмови елементів незалежні;
- потоки відмов стаціонарні;
- час між відмовами й час відновлення розподілені згідно з експоненціальним законом.

Вихідні дані для розрахунку: t_0 – заданий час виконання завдання; V_0 – обсяг завдання з випуску продукції, шт.; Q_n – номінальна продуктивність ТС, шт./ч; λ_i – інтенсивність відмов

i -го елемента ТС; T_{b_i} – середній час відновлення працездатності i -го елемента ТС, ч; V_0 – обсяг запасів продукції до початку виконання завдання, шт.; n – число елементів (одиниць обладнання) ТС; r – число ремонтних бригад.

Послідовність розрахунків показників надійності однокавальних ТС наступна.

Значення допоміжних характеристик:

- *інтенсивність відмов системи*

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i ; \quad (3.1)$$

- *середній час відновлення систем*

$$T_{\sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\lambda} \cdot T_{b_i} ; \quad (3.2)$$

- *час виконання завдання під час безвідмовної роботи усіх елементів*

$$t_n = \frac{V_0}{Q_n} ; \quad (3.3)$$

- *припустимий сумарний час простою ТС*

$$t_p = t_0 - t_n ; \quad (3.4)$$

- *середнє число відмов до напрацювання*

$$a = \lambda \cdot t_n ; \quad (3.5)$$

- *відносне значення резерву часу*

$$b = \frac{t_p}{T_b} . \quad (3.6)$$

Ймовірність виконання завдання

$$P_3(t_0, V_0) = 1 - e^{-a-b} \sum_{k=1}^m \frac{a^k}{k!} \sum_{j=0}^{k-1} \frac{b^j}{j!}, \quad (3.7)$$

де m вибирають, виходячи із заданої точності обчислень ε :

$$\frac{a^m}{m!} \ll \varepsilon. \quad (3.8)$$

Коефіцієнт готовності ТС при $r = 1$

$$k_2 = \frac{1}{1 + \lambda \cdot T_0}. \quad (3.9)$$

Середній час виконання завдання з врахуванням часу, що витрачається на усунення відмов,

$$T_3(V_0) = \frac{T_0}{Q_n k_2}. \quad (3.10)$$

Середня продуктивність при виготовленні продукції відповідно заданого обсягу V_0 та на інтервалі часу $(0, t_0)$

$$Q_{cp}(V_0) = \frac{V_0}{Q_n k_2}. \quad (3.11)$$

При розрахунку показників надійності багатоканальних ТС приймають наступні допущення:

- відмови каналів незалежні;
- при відмові одного з каналів інші канали продовжують працювати; потоки відмов каналів стаціонарні;
- напрацювання між відмовами та час відновлення каналу мають експоненціальні розподіли;
- число ремонтних бригад дорівнює числу каналів.

Вихідні дані: m – число паралельних каналів; Q_{nc} – номінальна продуктивність системи; Q_i – продуктивність системи при i працездатних каналах; t_0 – час виконання завдання при безвідмовній роботі усіх каналів системи.

Ймовірність виконання завдання з виготовлення продукції обсягом V_0

$$P_3(t_0, V_0) = \Phi \left(\frac{mQ_i t_0 - V_0(1 + \lambda T_g)}{mQ_n T_b \sqrt{\frac{m}{1 + \lambda T_g}}} \right). \quad (3.12)$$

Середній час виконання завдання

$$T_c(V_0) = \frac{V_0(1 + \lambda T_b)}{mQ_n}. \quad (3.13)$$

Вихідні дані для розрахунку показників надійності ТС із потоковою організацією виробництва аналітичним методом: λ_i – інтенсивність відмов дільниць ТС; Q_n – номінальні продуктивності дільниць ТС; λ_{ji} – інтенсивність відмов міжопераційних накопичувачів; S_{0i} – рівні початкового заповнення накопичувачів; T_{bi} – середній час відновлення працездатності дільниць ТС; S_i – ємність i -го накопичувача; T_{ni} – середній час відновлення.

При розрахунку завдання двохдільничної ТС із проміжним накопичувачем для випадку, коли номінальна продуктивність ТС (Q_i) визначається номінальною продуктивністю другої дільниці.

$$P_3 = (t_0, S_{01}) = e^{-(\lambda_2 + \lambda_n)t_0} \left(1 - q e^{\frac{(1-q)S_{01}}{T_{g1}Q_{n2}}} \right), \quad (3.14)$$

де

$$q = \frac{\lambda_1 T_{g1} Q_{n2}}{Q_{n1} - Q_{n2}}; \quad (3.15)$$

$$Q_{n_2} < Q_{n_1}. \quad (3.16)$$

Коефіцієнт готовності двохдільничної ТС при однаковій продуктивності дільниць, експоненціальних розподілах напрацювання та часу відновлення дільниць

$$k_2(S_{0_1}) = k_2 \kappa_{чн} (1 - (1 - k_{c_1}) \delta(S_{0_1})), \quad (3.17)$$

де k_{c_i} – коефіцієнт готовності i -ї дільниці ($i = 1, 2$)

$$k_{c_i} = \frac{1}{1 + \lambda_i T_{b_i}}. \quad (3.18)$$

Коефіцієнт готовності накопичувача $\kappa_{чн}$

$$\kappa_{чн} = \frac{1}{1 + \lambda_i T_{\theta_i}}. \quad (3.19)$$

Коефіцієнт накладених витрат

$$\delta(S_{0_1}) = \frac{\lambda_2 T_{\theta_2} - \lambda_1 T_{\theta_1}}{\lambda_1 T_{\theta_1} + \lambda_2 T_{\theta_2} \exp \left[\left(\frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} + \frac{T_{\theta_1} T_{\theta_2}}{T_{\theta_1} + T_{\theta_2}} \right) \frac{(\lambda_2 T_{\theta_2} - \lambda_1 T_{\theta_1}) S_{0_1}}{T_{\theta_1} T_{\theta_2} Q_n} \right] - 1}, \quad (3.20)$$

Метод параметричної рандомізації слід використовувати для оцінки надійності ТС технологічного процесу, складеного з відносно великої кількості операцій, що виконуються послідовно, причому кожна ТС операцій може, в загальному випадку, містити декілька елементів (одиниць однотипного технологічного обладнання), працюючих одночасно (паралельно) на один накопичувач.

Метод параметричної рандомізації застосовують при наступних допущеннях:

- на інтервалі часу, що розглядається, кожен елемент ТС може відмовляти один раз, причому момент виникнення відмови розподілений усередині інтервалу рівномірно.

Допущення справедливе для елементів ТС, що мають:

- 1) час відновлення співрозмірний з проміжком часу, що розглядається, t_0 ;
 - 2) встановлене безвідмовне напрацювання $t_y \geq t_0$;
 - 3) зневажено малу ймовірність двох і більше відмов на інтервалі часу $(0, t_0)$;
- час відновлення T_B кожного елемента ТС має дискретну функцію розподілу:

$$P(T_{e_i} = t_{e_i}) = P_{e_i} \neq 0 \text{ для } i = 1, 2, \dots, n_e, \quad (3.21)$$

де i – номер способу відновлення;

n_e – кількість способів відновлення.

Технологічний процес може бути подано як процес із дискретним часом. При цьому зміни стану елементів ТС (перехід із працездатного стану в непрацездатний і навпаки) може відбуватися тільки в певні моменти часу, що утворюють рівномірну послідовність із шагом Δt , котрий обирають за умов точності та трудомісткості обчислень. Мінімальна величина Δt обмежена часом обслуговування однієї заявки (обробки одного виробу) ТС операцією в номінальному режимі та мінімальним часом відновлення працездатності елементів ТС $t_{e_{\min}}$:

$$t_{e_{\min}} \geq t_{\min} \geq \frac{1}{Q_n}, \quad (3.22)$$

де Q_n – номінальна продуктивність ТС технологічного процесу (кількість виробів, що оброблюються ТС за одиницю часу при відсутності відмов).

Вихідні данні: M – кількість ТС операцій в технологічному процесі, що розглядається; N_m – кількість елементів у m -ї ТС операції ($m = 1, 2, \dots, M$); t_0, V_0 – задані час та обсяг випуску продукції; S_{\max_m} – максимально допустимий обсяг заповнення накопичувача на вході m -ї ТС ($m = 1, 2, \dots, M$); q_m – ймовірність

відмови елемента m -ї ТС операції ($m = 1, 2, \dots, M$); n_{ϵ_m} – кількість способів відновлення елемента m -ї ТС операції ($m = 1, 2, \dots, M$); $t_{\epsilon_{m,i}}$ – час відновлення елемента m -ї операції i -м способом ($m = 1, 2, \dots, M$; $i = 1, 2, \dots, n_{\epsilon_m}$); $P_{\epsilon_{m,i}}$ – ймовірність застосування i -го способу відновлення елемента m -ї ТС операції ($m = 1, 2, \dots, M$; $i = 1, 2, \dots, n_{\epsilon_m}$), при цьому $\sum_{i=1}^{n_{\epsilon_m}} P_{\epsilon_{m,i}} = 1$; Q_m – номінальна продуктивність елемента m -ї ТС операції ($m = 1, 2, \dots, M$); ϵ – необхідна точність оцінки.

Порядок надходження виробів на обробку: вироби, що оброблюються, поступають на вхід ТС технологічного процесу, що розглядається, рівномірно з інтенсивністю, відповідною номінальній продуктивності ТС, що в загальному випадку лімітується «вузьким місцем» – ТС операції з мінімальною продуктивністю

$$Q_n \leq \min_{m=1,2,\dots,M} (N_m \cdot Q_m). \quad (3.23)$$

Метод параметричної рандомізації полягає в складанні кінцевої множини реалізацій технологічного процесу, розрахунку показників виконання завдання у кожній реалізації та їх осереднення (рандомізації) по множині реалізацій з урахуванням їх ймовірностей.

Множина A реалізацій технологічного процесу, що розглядаються, поділяють, в залежності від сполучень елементів, що відмовляють у реалізації, на N_A підмножин A_y . Кожна підмножина A_y характеризується вектором

$$x_y \sim (x_{1,1}, \dots, x_{1,N_1}, \dots, x_{m,n}, \dots, x_{M,1}, \dots, x_{M,N_M}, \dots), \quad (3.24)$$

де $x_{m,n}$ – індикатор відмови n -го елемента m -ї ТС операції:

$$x_{m,n} = \begin{cases} 1 - \text{якщо елемент відмовляє,} \\ 0 - \text{якщо не відмовляє.} \end{cases}, \quad (3.25)$$

з імовірністю

$$P_v = P\{\alpha \in A_v\} = \prod_{m=1}^M \prod_{n=1}^{N_m} P_{m,n}^*, \quad (3.26)$$

де α — довільна реалізація технологічного процесу;

$$P_{m,n}^* = \begin{cases} q_m, \text{ якщо } x_{m,n} = 1, \\ 1 - q_m, \text{ якщо } x_{m,n} = 0. \end{cases}. \quad (3.27)$$

Кількість підмножин A_v дорівнює:

$$N_A = 2^{\sum_{m=1}^M N_m}. \quad (3.28)$$

Для скорочення обсягу обчислень виключаються з розгляду підмножини A_v , для яких величина P_v зневажено мала порівняно із заданою точністю оцінки ε . Для цього нумерують підмножини в порядку зменшення величин P_v , а потім виключають із розглядання останні N_n підмножини, для яких

$$\sum_{v=N_A-N_{n+1}}^{N_A} P_v \leq \varepsilon \leq \sum_{v=N_A-N_n}^{N_A} P_v. \quad (3.29)$$

Кожну підмножину A_v (з числа тих, що залишились) поділяють на підмножини $A_{v,\mu}$, що відрізняються тільки способами відновлення елементів, що відмовляють.

Число таких підмножин у підмножині A_v

$$N_{A_v} = \prod_{m=1}^M \prod_{n=1}^{N_m} (n_{\theta_m})^{x_{m,n}}. \quad (3.30)$$

Оскільки всі реалізації у кожній підмножині $A_{v,\mu}$ відрізняються одна від одної тільки моментами відмов елементів, то вони мають однакову ймовірність відтворення

$$P_{v,\mu} = P_v \prod_{m=1}^M \prod_{n=1}^{N_m} \prod_{i=1}^{n_{e_m}} (P_{e_{m,i}})^{x_{m,n}}. \quad (3.31)$$

Основний показник надійності ТС технологічного процесу, що розглядається, – *ймовірність виконання завдання* визначають із виразу:

$$P_3(t_0) = \sum_{v=1}^{N_A - N_n} \sum_{\mu=1}^{N_{Av}} P_{v,\mu} \cdot \frac{R_{v,\mu}^*}{R_{v,\mu}}, \quad (3.32)$$

де $R_{v,\mu}$ – загальна кількість реалізацій в підмножині $A_{v,\mu}$:

$$R_{v,\mu} = (n_t)^k; \quad (3.33)$$

k – кількість елементів ТС, що відмовляють:

$$k = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} x_{m,n}; \quad (3.34)$$

n_t – кількість точок роздрібнення інтервалу $(0, t_0)$, що визначається з урахуванням допущень із виразу:

$$n_t = \left[\frac{t_0}{\Delta t} \right]; \quad (3.35)$$

$R_{v,\mu}^*$ – кількість успішних реалізацій в підмножині (в котрих завдання виконується):

$$R_{v,\mu}^* = \sum_{r=1}^{R_{v,\mu}} \varphi \left(Y_{v,\mu,r}^{\rightarrow} \right), \quad (3.36)$$

$Y_{v,\mu,r}^{\rightarrow}$ – вектор параметрів, що однозначно задають r -у реалізацію з підмножини $A_{v,\mu}$, що визначаються по викладеному нижче;

$\varphi\left(Y_{v,\mu,r}^{\rightarrow}\right)$ – індикаторна функція виконання завдання в r -ї реалізації, що визначається за викладеним нижче.

Вектор $Y_{v,\mu,r}^{\rightarrow}$ відповідає r -му сполученню значень параметрів стану ТС з підмножини $A_{v,\mu}$:

$$Y_{v,\mu,r}^{\rightarrow} \sim \left(\begin{array}{c} x_{1,1} \dots x_{1,N_1} \dots x_{m,n} \dots x_{M,1} \dots x_{M,N_M} \\ t_{1,1}^* \dots t_{1,N_1}^* \dots t_{m,n}^* \dots t_{M,1}^* \dots t_{M,N_M}^* \\ t_{e_{1,1}}^* \dots t_{e_{1,N_1}}^* \dots t_{e_{m,n}}^* \dots t_{e_{M,1}}^* \dots t_{e_{M,N_M}}^* \end{array} \right), \quad (3.37)$$

де $t_{m,n}^*$ – реалізація моменту відмови n -го елемента m -ї ТС, що відповідає j -му моменту часу:

$$t_j = \Delta t(j-1), \text{ для } j = 1, 2, \dots, n_j; \quad (3.38)$$

$t_{e_{m,n}}^*$ – реалізація часу відновлення працездатності елемента, що відмовив, що відповідає i -му способу відновлення:

$$t_{e_{m,n}}^* = x_{m,n} \cdot t_{e_{m,n}}. \quad (3.39)$$

Індикаторна функція виконання завдання в r -й реалізації з підмножини $A_{v,\mu}$ має вигляд:

$$\varphi\left(Y_{v,\mu,r}^{\rightarrow}\right) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } V_{v,\mu,r}(t_0) \geq V_0, \\ 0, & \text{якщо } V_{v,\mu,r}(t_0) < V_0, \end{cases} \quad (3.40)$$

де $V_{v,\mu,r}(t_0)$ – обсяг продукції, виготовленої в ході r -ї реалізації технологічного процесу з підмножини $A_{v,\mu}$:

$$V_{v,\mu,r}(t_0) = V(t_0) = \Delta t \cdot \sum_{j=1}^{n_t} Q_{M,j}^1; \quad (3.41)$$

$Q_{M,j}^1$ – продуктивність ТС M -ї (фінішної) операції на j -му проміжку часу.

Величини $Q_{M,j}^1$ визначаються шляхом послідовного розрахунку значень $Q_{M,j}^1$ для $m=1, 2, \dots, M$ в кожній j -й проміжок часу за рекурентними співвідношеннями:

$$Q_{M,j}^1 = \begin{cases} 0, \text{ якщо } S_{m+1,j} \geq S_{\max_{m+1}}, \\ \frac{S_{m,j}}{\Delta t}, \text{ якщо } Q_{M,j}^0 \cdot \Delta t > S_{m,j} \text{ та } S_{m+1,j} < S_{\max_{m+1}}, \\ Q_{M,j}^0, \text{ якщо } Q_{M,j}^0 \cdot \Delta t \ll S_{m,j} \text{ та } S_{m+1,j} < S_{\max_{m+1}}, \end{cases} \quad (3.42)$$

де $S_{m,j}$ – значення довжини черги (заповнення накопичувача) на вході m -ї ТС на j -му проміжку часу:

$$S_{m,j} = S_{m,j-1} + (Q_{m-1,j-1}^1 - Q_{m,j-1}^1) \cdot \Delta t; \quad (3.43)$$

$Q_{M,j}^0$ – можлива продуктивність m -ї ТС на j -му проміжку часу:

$$Q_{M,j}^0 = Q_m \sum_{n=1}^{N_m} Z_{m,n,j}; \quad (3.44)$$

$$Z_{m,n,j} = 1 \begin{cases} 0, \text{ якщо } t_j < t_{m,n} \text{ та } t_j \geq t_{m,n} + t_{e_{m,n}}, \\ 0, \text{ якщо } t_{m,n}^* \leq t_j < t_{m,n}^* + t_{e_{m,n}}, \end{cases} \quad (3.45)$$

з початковими умовами $Q_{0,j-1}^1 = Q_1$ для $j=1, 2, \dots, n_t$.

У початковий момент часу (при $j=0$) довжину черги на вході кожної m -ї ТС операції у загальному випадку вибирають за умов забезпечення номінального режиму роботи:

$$S_{m,0} = Q_n \cdot \Delta t, \quad (3.46)$$

для $m = 1, 2, \dots, M$, або задають у вигляді вихідних даних:

$$S_{m,0} = S_m^0, \quad (3.47)$$

де S_m^0 – вихідне заповнення m -го накопичувача, для $m = 1, 2, \dots, M$.

У разі необхідності метод параметричної рандомізації можливо використовувати для визначення інших показників надійності. Так, наприклад, середній обсяг продукції \bar{V} , що виготовляється ТС за час t_0 та його середнє квадратичне відхилення σ_v визначають за співвідношеннями:

$$\bar{V} = \sum_{v=1}^{N_A - N_n} \sum_{\mu=1}^{N_{Av}} P_{v,\mu} \frac{\sum_{r=1}^{R_{v,\mu}} V_{v,\mu,r}(t_0)}{R_{v,\mu}}; \quad (3.48)$$

$$\sigma_v = \sqrt{\sum_{v=1}^{N_A - N_n} \sum_{\mu=1}^{N_{Av}} P_{v,\mu} \frac{\sum_{r=1}^{R_{v,\mu}} (V_{v,\mu,r}(t_0) - \bar{V})^2}{R_{v,\mu}}}. \quad (3.49)$$

3.2 Склад та структура автоматизованих виробництв радіоелектронного приладобудування

Вищою формою поточного виробництва, як найбільш ефективною формою організації виробничого процесу, є *автоматизоване виробництво*. Воно поєднує основні ознаки потокового виробництва з його автоматизацією. В автоматизованому виробництві робота обладнання, агрегатів, апаратів, установок відбувається автоматично за заданою програмою, а робочий здійснює контроль за їх роботою, усуває відхилення від заданого процесу, виробляє наладку автоматизованого обладнання.

З точки зору застосування обладнання розрізняють часткову і комплексну автоматизацію.

При частковій автоматизації робочий повністю звільняється від робіт, пов'язаних з виконанням технологічних процесів. У транспортних, контрольних операціях при обслуговуванні обладнання, в процесі установки – повністю або частково скорочується ручна праця.

В умовах комплексно-автоматизованого виробництва технологічний процес виготовлення продукції, управління цим процесом, транспортування виробів, контрольні операції, видалення відходів виробництва виконуються без участі людини, але обслуговування обладнання – ручне.

Основним елементом автоматизованого виробництва є автоматичні потокові лінії (АПЛ).

Автоматична потокова лінія – комплекс автоматичного обладнання, розташованого в технологічній послідовності виконання операцій, пов'язаний з автоматичною транспортною системою і системою автоматичного управління, і забезпечує автоматичне перетворення вихідних матеріалів (заготовок) в готовий виріб. В АПЛ робочий виконує функції налагодження, контролю за роботою обладнання і завантаження лінії заготовками.

До основних ознак АПЛ відносять:

- автоматичне виконання технологічних операцій (без участі людини);
- автоматичне переміщення виробу між окремими агрегатами лінії.

Приклад автоматичної потокової лінії виробництва друкованих плат наведено на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Автоматична потокова лінія виробництва друкованих плат, складена компанією SOVTEST ATE

Автоматичні комплекси із замкнутим циклом виробництва виробів – ряд пов’язаних між собою автоматичними транспортними та вантажно-розвантажувальними пристроями автоматичних ліній.

Автоматизовані ділянки (цехи) включають в себе автоматичні потокові лінії, автономні автоматичні комплекси, автоматичні транспортні системи, автоматичні складські системи; автоматичні системи контролю якості, автоматичні системи управління і т.д. Орієнтовна структура автоматизованого виробничого підрозділу наведена на рис. 3.3.

В умовах постійно мінливого нестабільного ринку (тим більше багатонаменклатурного виробництва) важливим завданням є підвищення гнучкості (багатофункціональності) автоматизованого виробництва з тим, щоб максимально задовольнити вимоги, потреби та запити споживачів, швидше і з мінімальними витратами освоювати випуск нової продукції.

Гнучкість – це властивість виробничої системи швидко перебудовуватися на випуск нової продукції, тобто переходити в межах встановлених технологічних можливостей з одного працездатного функціонального стану в інше для виконання чергового виробничого завдання або нової функції.

В умовах сучасного виробництва радіоелектронних приладів існують декілька *методів підвищення гнучкості* автоматизованих виробничих систем. До них відносять:

- використання автоматизованих систем технічної підготовки виробництва (САПР);
- застосування швидкопереналагоджувальних автоматичних поточкових ліній;
- застосування універсальних промислових маніпуляторів з програмним управлінням (промислових роботів);
- стандартизація застосовуваного інструмента і засобів технологічного оснащення;
- застосування в автоматичних лініях автоматично переналагоджуваної обладнання (на базі мікропроцесорної техніки);

- використання переналагоджуваних транспортно-складських і накопичувальних систем і т.д.

Застосування автоматичних потокових ліній досягає найбільшої ефективності в умовах масового виробництва.

Склад автоматичної потокової лінії:

- автоматичне обладнання (верстати, агрегати, установки і т.д.) для виконання технологічних операцій;
- механізми для орієнтування, установки і закріплення виробів на обладнанні;
- пристрій для транспортування виробів за операціями;
- контрольні машини і прилади (для контролю якості і автоматичної підналагодження устаткування);
- засоби завантаження і розвантаження ліній (заготовок і готових деталей);
- апаратура та прилади системи управління АПЛ;
- пристрої зміни інструменту і оснастки;
- пристрої видалення відходів;
- пристрої забезпечення необхідними видами енергії (електрична енергія, пар, інертні гази, стиснуте повітря, вода, каналізаційні системи);
- пристрої забезпечення мастильно-охолоджуючими рідинами і їх видалення і т.д.

До складу автоматичних ліній останнього покоління також включаються наступні електронні пристрої.

«Розумні супервізори» з моніторами на кожній одиниці обладнання і на центральному пульті управління. Їх призначення – завчасно попереджати персонал про хід процесів, що відбуваються в окремих агрегатах і в системі в цілому, і давати інструкції про необхідні дії персоналу (текст на моніторі), наприклад:

- негативна тенденція технічного параметра агрегату;
- інформація про напрацювання і кількості заготовок;
- про брак та його причини і т.д.

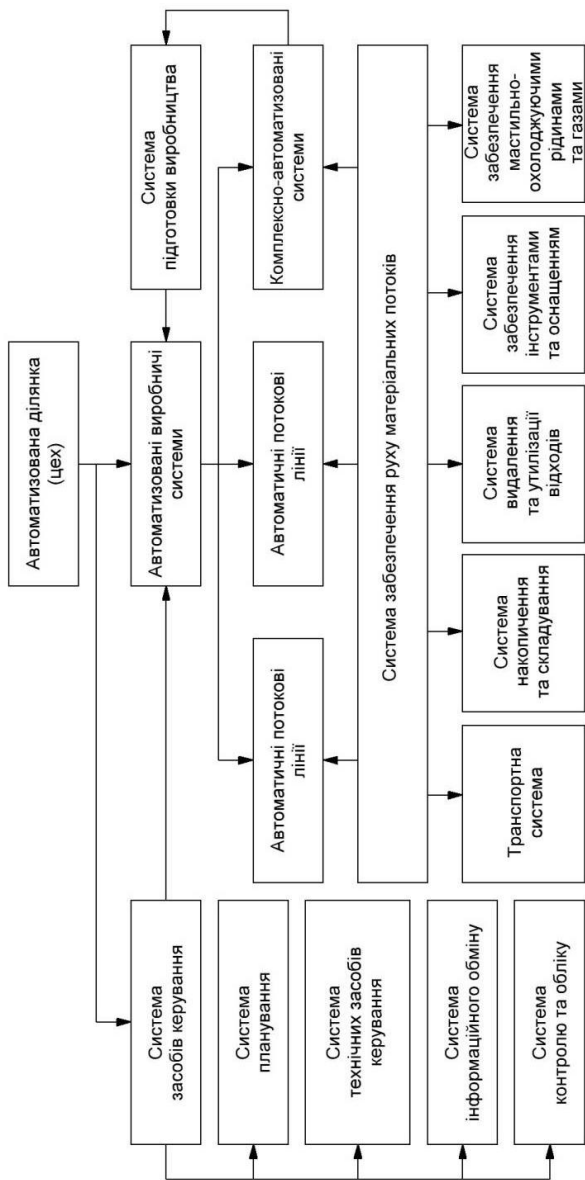


Рисунок 3.3 – Структурний склад автоматизованого виробничого підрозділу

Статистичні аналізатори з графопобудовувачами, призначені для статистичної обробки різноманітних параметрів роботи АПЛ:

- час роботи простоїв (причини простоїв);
- кількість продукції, що випускається (всього, рівень браку);
- статистична обробка кожного параметра виробу на кожній автоматично контрольованій операції;
- статистична обробка виходу з ладу (поломка, збій) систем кожної одиниці обладнання та лінії в цілому і т.д.

Діалогові системи селективного складання (тобто підбір параметрів щодо грубо (неточно) оброблених деталей, що входять в складальну одиницю, поєднання яких забезпечує високоякісні параметри складальної одиниці).

На підприємствах радіоелектронного приладобудування застосовуються автоматичні лінії, що відрізняються між собою як за технологічними принципами дії, так і за формами організації.

Класифікація та характерні риси автоматичних поточних ліній наведені в табл. 3.1.

При проектуванні автоматичних потокових ліній виконується ряд розрахунків. В основному вони не відрізняються від розрахунків неавтоматизованих ліній, але є деякі особливості.

Також однією з ознак класифікації АПЛ можуть виступати особливості транспортних систем.

При проектуванні автоматичних поточних ліній виконується ряд розрахунків. В основному вони не відрізняються від розрахунків неавтоматизованих ліній, але є деякі особливості.

Такт АПЛ визначається за формулою

$$r = \frac{60 \cdot F_H \cdot \eta \cdot d_{CM}}{Q_{ВИП}}, \quad (3.50)$$

де r – такт АПЛ (хв);

F_H – номінальний річний фонд часу роботи лінії в одну

зміну (годину);

η – коефіцієнт технічного використання АПЛ, що враховує втрати часу при різних неполадках в роботі обладнання ліній і витрати часу на підналадку;

d_{CM} – число змін роботи;

Q_{VIII} – планове завдання (шт).

Таблиця 3.1

Класифікація автоматичних поточних ліній

№	Ознака	Найменування і коротка характеристика
1	Гнучкість	1.1. Жорсткі переналагоджувальні АЛ, призначені для обробки одного виробу. 1.2. Переналагоджувальні АЛ на певну групу виробів одного найменування. 1.3. Гнучкі АЛ, що складаються з обробних центрів гнучких транспортно-складських систем з промисловими роботами та призначених для обробки будь-яких деталей певної номенклатури і габаритів.
2	Число виробів, що оброблюються одночасно	2.1. АЛ поштучної обробки. 2.2. АЛ групової обробки.
3	Спосіб транспортування виробів по АЛ	3.1. АЛ з безперервним транспортуванням оброблених виробів. 3.2. АЛ з періодичним транспортуванням.
4	Кінематичний зв'язок агрегатів (устаткування) АЛ	4.1. АЛ з жорстким зв'язком агрегатів 4.2. АЛ з гнучким зв'язком агрегатів (гнучкість забезпечується наявністю перед кожним агрегатом пристроїв для накопичення і видачі запасу виробів).

При величині норми часу окремої операції лінії більше такту лінії за такт приймають норму часу лімітуючої операції.

У бункерних (гнучких) АЛ утворюються заділи:

- компенсуючі;
- пульсуючі.

Компенсуючі заділи АПЛ (Z_k) утворюються при різній продуктивності змінних ділянок АПЛ:

$$Z_k = T_k \cdot \left(\frac{1}{r_M} - \frac{1}{r_B} \right), \quad (3.51)$$

де T_k – період часу для створення компенсуючого заділу, тобто проміжок часу безперервної роботи змінних ділянок АПЛ з різними тактами роботи (хв.);

r_M і r_B – менший і більший такти роботи суміжних ділянок (операцій) АПЛ (хв.).

Пульсуючі заділи створюються для підтримки ритмічності випуску продукції. Їх призначення – попередити аритмію ходу виробничого процесу на окремих операціях АПЛ.

Таким чином, до складу автоматизованих сучасних виробництв радіоелектронного приладобудування відносять засоби та обладнання автоматизації.

Засоби автоматизації – це сукупність програмних, технічних та програмно технічних засобів, призначених для створення керуючих систем.

Типові засоби автоматизації можуть бути технічними, апаратними, програмно-технічними і загальносистемними.

До *технічних* засобів автоматизації відносять:

- датчики;
- виконавчі механізми;
- регулюючі органи;
- лінії зв'язку;
- вторинні прилади;
- пристрої аналогового і цифрового регулювання;
- програмно-задавальні блоки;
- пристрої логіко-командного управління;
- модулі збору і первинної обробки даних і контролю стану технологічного об'єкта управління;
- модулі гальванічної розв'язки і нормалізації сигналів;
- перетворювачі сигналів;
- модулі представлення даних, індикації, реєстрації та виро-

блення сигналів управління;

- буферні запам'ятовуючі пристрої;
- програмовані таймери;
- спеціалізовані обчислювальні пристрої, пристрої допроцесорної підготовки.

До *програмно-технічних* засобів автоматизації відносять:

- аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) та цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП);
- керуючі засоби;
- блоки багатоконтурного аналогового і аналого-цифрового регулювання;
- пристрої багатозв'язного програмного логічного управління;
- програмовані мікроконтролери;
- локально-обчислювальні мережі.

До *загальносистемних* засобів автоматизації відносять:

- пристрої сполучення та адаптери зв'язку;
- блоки спільної пам'яті;
- магістралі (шини);
- пристрої загальносистемної діагностики;
- процесори прямого доступу для накопичення інформації;
- пульти оператора.

Технічні засоби автоматизації і керування є апаратними, програмними і конструктивними засобами, і комплексами засобів, орієнтованими на вирішення як типових, так і конкретних завдань з автоматизації ТП.

Компоновка технічних засобів автоматизації та керування в агрегатні комплекси технічних засобів виконується згідно з міжнародною стандартизацією.

Від застосованих технічних засобів значною мірою залежить підвищення техніко-економічних показників систем керування технічними процесами і виробництвом в цілому. До цих показників відносять:

- якість керування;
- надійність;

- витрати на проектування;
- безпеку експлуатації;
- можливість адаптації систем керування до властивостей об'єктів технічних процесів у разі зміни останніх;
- умови роботи оператора.

Технічні засоби автоматизації і керування виконують наступні функції:

- збір і перетворення інформації про стан процесу;
- передачу інформації каналами зв'язку;
- перетворення, зберігання і обробку інформації;
- формування команд керування відповідно до вибраних цілей (критерій функціонування систем);
- використання і представлення командної інформації для впливу на процес;
- зв'язок з оператором за допомогою виконавчих механізмів.

Усі промислові засоби автоматизації ТП за ознакою відношення до системи об'єднують згідно з стандартом в наступні функціональні групи:

- засоби на вході системи (датчики);
- засоби на виході системи (вихідні перетворювачі, засоби відображення інформації і команд керування процесом, включаючи мовні);
- внутрішньосистемні технічні засоби автоматизації (ті, що забезпечують взаємозв'язок між пристроями з різними сигналами і різними машинними мовами);
- засоби передачі, зберігання і обробки інформації;
- виконавчі пристрої.

Від правильної постановки вимог до технічних засобів і від міри їх задоволення багато в чому залежить успіх автоматизації керування та виробництва взагалі.

Постановка вимог до технічних засобів автоматизації вимагає знання, окрім процесу, що автоматизується, обладнання, теорії керування, теорії автоматичного керування, у тому числі організації, інформації, програмування, технологічної автомати-

ки. Необхідність знань в такому широкому діапазоні областей науки і техніки є основною перешкодою для фахівця, що розробляє вимоги до технічних методів автоматизації.

Складність виконання вимог до технічних засобів викликана як відсутністю обладнання з відповідними характеристиками, так і необхідністю компоновки комплексів з окремих засобів. Але усі вимоги загалом спрямовані на забезпечення сумісності об'єкту автоматизації – верстату, цеху або підприємства в цілому, технічних засобів і людей.

Для зручності розгляду *технічні вимоги* розділяють на п'ять груп:

- інформаційні;
- організаційні;
- математичні;
- технічні;
- економічні.

Групи *інформаційних і математичних* вимог спрямовано на забезпечення сумісності між технічними засобами, а також технічними засобами і персоналом.

Групи *організаційних і економічних* вимог повинні забезпечувати сумісність комплексу технічних засобів з об'єктом.

Група *технічних* вимог направлена на задоволення усіх трьох видів сумісності.

До *інформаційних вимог* відносяться вимоги щодо інформаційної сумісності технічних засобів між собою і з обслуговуючим персоналом. Інформаційна сумісність технічних засобів забезпечується повним або частковим (у вибраному діапазоні) збіганням форм представлення інформації, видів машинних носіїв, мов, кодів.

Зручність спілкування людини з обладнанням досягається інформаційною сумісністю засобів введення/виведення даних в обладнання, продуманністю інтерфейсу взаємодії з оператором для формування коректних висновків щодо стану устаткування, у тому числі в процесі діагностики та ремонту.

У рамках організаційних вимог структура керування ТП,

технологія керування і технічні засоби повинні відповідати один одному. Для цього необхідно:

- забезпечити відповідність структури комплексу технічних засобів (КТЗ) структурі керування об'єктом і технології керування ними;
- забезпечити автоматизоване виконання основних технологічних функцій керування: виділення інформації, передачі, фіксації, обробки, виведення даних на виконавчі механізми, виведення даних і передачі їх персоналу;
- забезпечити можливість зміни і розвитку КТЗ;
- передбачити можливість створення організаційних систем контролю роботи КТЗ, що доповнюють системи забезпечення надійності, наявних в технічних системах;
- забезпечити можливість створення організаційних систем контролю персоналу і забезпечення юридичної відповідальності посадовців за свої дії.

Вимога відповідності структури КТЗ структурі і технології керування процесом призводить до розділення КТЗ на частину, яка працює в ритмі процесу, що підлягає автоматизації, і на частину, яка вирішує завдання координації в міру необхідності в довшіх циклах керування.

Відносно *математичних вимог* досить швидке рішення основних завдань автоматизації (пропускна спроможність) досягається як конструкцією апаратури, так і якістю її математичного забезпечення. Спілкування персоналу з машиною забезпечується також не лише формами представлення інформації, кодами і мовами, але і діалогом з машиною, досконалістю її відповідей, порад, рекомендацій, здатністю «розуміння» машиною людини.

Спільна робота машин не завжди можлива через різні невідповідності в їх інформаційному забезпеченні. Згладжування цих невідповідностей може бути виконане за допомогою *математичного забезпечення* – програм перекодування, перекладу, перекладання макетів і т. п. Це обумовлює наступні *вимоги до математичного забезпечення*:

- досить швидке рішення основних завдань автоматизації;

- спрощення спілкування операторів і обслуговуючою персоналу з КТЗ за рахунок великої пристосованості КТЗ до спілкування;
- можливість інформаційної «стиківки» між собою різних технічних засобів.

Технічні вимоги іноді розділяють на конструктивні і експлуатаційні, зовнішні і внутрішні, основні і допоміжні.

До *основних технічних вимог* слід віднести:

- продуктивність, необхідну для своєчасного вирішення усіх завдань автоматизації цього виду (значне перевищення продуктивності над потрібною приводить до зайвої витрати засобів);
- пристосованість до умов навколишнього середовища на підприємствах, що автоматизуються, що особливо важливо для периферійних технічних засобів (датчиків, облаштувань виводу даних);
- надійність, у тому числі перешкодостійкість, ремонтпридатність і т. п.;
- використання уніфікованих блоків, пристроїв, що випускаються промисловістю серійно;
- простота експлуатації і обслуговування.

До *допоміжних технічних вимог* відносяться:

- технічну сумісність засобів, основу на спільній елементній базі і загальній конструктивній базі;
- вимоги ергономіки, технічної естетики.

Використання новітньої елементної бази в устаткуванні автоматизації не є обов'язковою вимогою, оскільки зазвичай це здорожує апаратуру, ставить перешкоди на шляху використання добре відпрацьованих технічних засобів, що виправдали себе, на перших кроках може понизити надійність КТЗ.

Економічність є основним принципом автоматизації керування, що ставить за мету найбільш економічну організацію керування за допомогою вибраного КТЗ, тому висуває ряд вимог безпосередньо до КТЗ:

- мінімальні капітальні вкладення на створення КТЗ;

- мінімальні експлуатаційні витрати, проекти експлуатації;
- мінімальні виробничі площі для розміщення КТЗ;
- мінімальні витрати на допоміжне устаткування, що забезпечує роботу технічних засобів.

Ці вимоги зазвичай суперечливі, тому слід шукати рішення з мінімізації приведених витрат.

При *проектуванні КТЗ* слід дотримуватись також наступних вимог, що носять економічний характер:

- необхідність механізації або автоматизації передусім масових ручних операцій і підбір відповідної апаратури;
- чим більша кількість людей, що працюють з яким-небудь технічним засобом, тим вищим має бути рівень автоматизації, що забезпечується цим пристроєм, рівень надійності пристрою, і тим простішою має бути технологія роботи з ним.

Для автоматизації сучасних виробництв використовується різноманітне *обладнання*, верстати та технологічне оснащення.

До них відносять:

- станки-автомати і системи з числовим програмним керуванням (ЧПК);
- автоматизовані транспортні та складські системи;
- промислові роботи (ПР) та робототехнічні системи;
- системи автоматизованого контролю.

До обладнання автоматизації також існує ряд вимог, що при виконанні гарантує більший успіх автоматизації, роботи виробництва взагалі та якості продукції. Вимоги до обладнання автоматизації є характерними та відповідними до кожного з наведених типів обладнання.

3.3 Принципи побудови сучасних систем автоматизації

Сучасна АСУТП являє собою багаторівневу людино-машинну систему управління. Створення АСУ складними технологічними процесами здійснюється з використанням автоматичних інформаційних систем збирання даних і обчислювальних комплексів, які постійно, вдосконалюються за рахунок еволюції технічних засобів і програмного забезпечення [18].

Для більшості сучасних АСУ ТП характерним є трирівнева модель побудови, кожний рівень якої пов'язаний з етапами розвитку АСУ ТП, зумовлені появою якісно нових наукових ідей і технічних засобів. У ході історії змінюється характер об'єктів і методів управління, засобів автоматизації й інших компонентів, що становлять зміст сучасної системи управління.

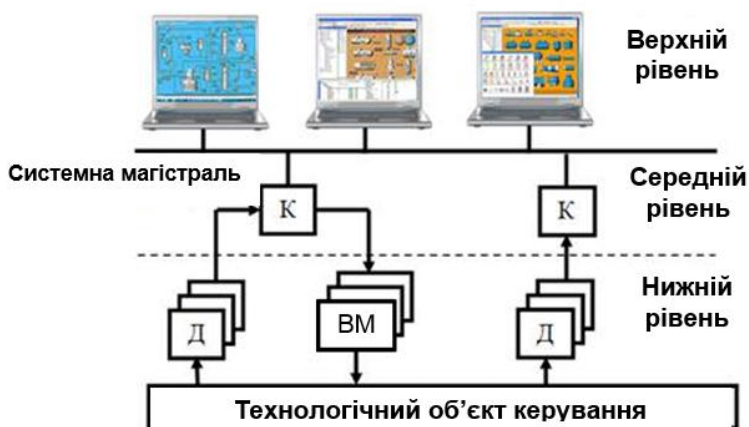


Рисунок 3.4 – Трирівнева структура АСУ ТП

Верхній рівень АСУ ТП являє собою сервери і операторські станції, які в термінології автоматизації називаються автоматизованим робочим місцем. Користувач даного робочого місця називається оператором. Оператор при необхідності може змінювати параметри процесу. Саме на цей рівень виводиться стан досліджуваного технологічного процесу. Виділений сервер

підтримує комунікацію з підключеними до нього контролерами, зберігає в мережі конфігураційну базу даних і архів технологічних параметрів.

Сучасні операторські станції виконуються у вигляді персональних комп'ютерів і служать для ефективного управління процесом, і відображення технологічної інформації у вигляді графічних мнемосхем. На мнемосхемах відображається вичерпна інформація: параметри вводу/виводу, значення процесних змінних, аларми і події, діагностичні дані системи, звіти і т.д. На станції оператор може, наприклад, подивитися показання будь-якого датчика, вручну керувати виконавчими механізмами тощо.

Середній рівень виконується на базі програмованих логічних контролерів, які виконують функції управління і обміну даними між підсистемою вводу/виводу і мережею управління. Підсистема вводу/виводу контролера (К) забезпечує обробку інформації від польових пристроїв і видачу керуючих впливів на виконавчі пристрої.

На нижньому рівні розташовуються різні датчики, які зчитують необхідні параметри для керування або контролю процесу. Дані з цих датчиків надходять прямо на інтерфейс станції, де оператор, спираючись на отримані дані, приймає те чи інше рішення.

Така модель сформувалася відповідно до етапів розвитку автоматизації. Так *перший етап* пов'язаний з впровадженням систем автоматичного регулювання (САР) і перекладенням на неї функцій рішення завдань стабілізації, програмного управління, спостереження. САР реалізуються як окремі локальні регулятори, пов'язані з об'єктом через датчики (Д) та виконавчі механізми (ВМ).

Зв'язок з оператором відбувається через вбудовані в регуляторі засоби індикації та управління.

Другий етап пов'язаний з автоматизацією технологічних процесів, коли об'єктом управління стає розосереджена в просторі система. За допомогою систем автоматичного управління (САУ) реалізуються усе складніші закони управління, вирішу-

ються завдання оптимального й адаптивного управління, проводиться ідентифікація об'єкта й стану системи тощо. Людина все більше віддаляється від об'єкта управління, між об'єктом і диспетчером вибудовується цілий ряд вимірювальних систем, виконавчих механізмів, засобів телемеханіки, мнемосхем та інших засобів відображення інформації (ЗВІ).

Третій етап характеризується впровадженням у процес управління технологічними процесами обчислювальної техніки. Спочатку – застосування мікропроцесорів, використання на окремих фазах управління обчислювальних систем, потім – активний розвиток людино-машинних систем управління, інженерної психології, методів і моделей дослідження операцій і, нарешті, – диспетчерське управління на основі автоматичних інформаційних систем збирання даних і сучасних обчислювальних комплексів.

Локальні САР є замкнутими системами управління, що побудовані за принципом зворотнього зв'язку (рис. 3.5).

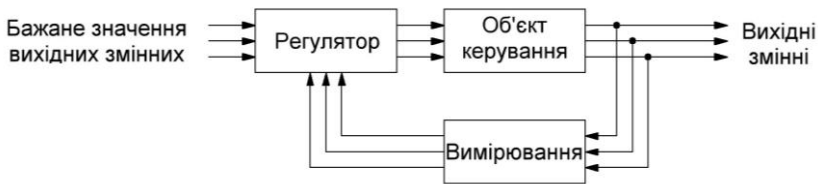


Рисунок 3.5 – Замкнута САР

Автоматичні системи виконують різні функції. Структура системи, процес формування управління, точки одержання та шляхи передачі інформації обираються виходячи з методів і принципів, що використовуються.

Більшість сучасних АСР базуються на двох основних принципах регулювання: за відхиленням та за збуренням. В АСР за відхиленням (рис. 3.6) на автоматичний регулятор (АР) надходить сигнал регульованої змінної від об'єкта регулювання (X) і задане її значення (X^*).

Автоматичний регулятор – керувальний пристрій для

вироблення управляючого сигналу на об'єкт управління з метою підтримання технологічних змінних на заданому рівні.

На вхід регулятора поступає розузгодження (відхилення) регульованої змінної від заданого значення $\Delta X = X - X^*$. У свою чергу АР виробляє керуючу дію (U), яка поступає на вхід об'єкта регулювання (ОР) з метою ліквідації відхилення ΔX .

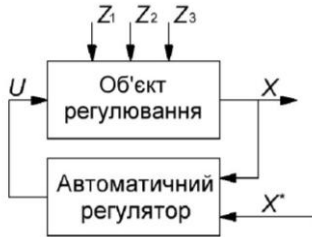


Рисунок 3.6 – АСР за відхиленням

Для регулювання не потрібно вимірювати жодного збурення, бо відхилення є наслідком дії їх усіх на об'єкт регулювання. Але в таких системах процес регулювання починається лише після виникнення розузгодження, що для інерційних об'єктів може призвести до неприпустимих відхилень.

На ОР в умовах виробництва діє значна кількість збурень, деякі з них неможливо контролювати. Під дією цих збурень вихідна змінна X відхиляється від заданого значення, а система не реагує на ці відхилення. В АСР за збуренням (рис. 3.7) на АР передається лише інформація про збурення, що виникло на вході в ОР. В такому випадку сигнал U з'являється практично в той самий момент, що й виміряне значення Z_3 , тому управління може встигнути компенсувати дію збурення, тобто відхилення ΔX внаслідок дії такого збурення може дорівнювати нулю. Суттєвим недоліком такої АСР є те, що вона реагує лише на те збурення, сигнал якого подається на АР.

АСР за збуренням застосовується лише в тих випадках, коли відсутні автоматичні датчики регульованих змінних X або якщо ці датчики мають дуже велику інерційність, а з численних збурень на ОР можливо виділити основне, дія якого буде

ком-пенсуватися АР. Сигнал за збуренням обробляється спеціальним пристроєм – компенсатором (K), а система в цілому є розімкненою.



Рисунок 3.7 – АСР за збуренням

У разі, якщо застосування розглянутих принципів регулювання не забезпечує отримання бажаних результатів, застосовується більш складна багатоконтурна АСР, наприклад, комбінована система, яка поєднує принципи побудови АСР за збуренням і відхиленням.

Комбіновані АСР використовуються для автоматизації об'єктів, у яких можливо виділити збурення, які найбільш впливають на регульовану змінну. Існують *два типи комбінованих АСР*:

- системи з компенсатором, підключеним до об'єкта (рис. 3.8);

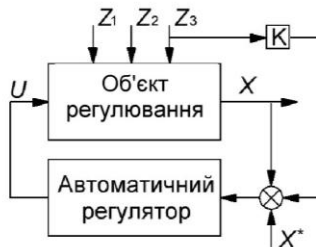


Рисунок 3.8 – Комбінована АСР з компенсатором, підключеним до об'єкта

- системи з компенсатором, підключеним на вхід регулятора (рис. 3.9).

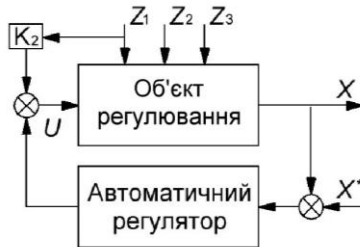


Рисунок 3.9 – Комбінована АСР з компенсатором, підключеним на вхід регулятора

Обидві системи мають два канали впливу на регульовану змінну і використовують два контури регулювання. Один, розімкнений і менш інерційний, забезпечує реакцію системи на найбільш впливове збурення, а другий, замкнений, забезпечує ліквідацію відхилення регульованої змінної від заданого значення, викликаного дією всіх інших збурень.

Особливої уваги заслуговують *каскадні АСР*, в яких виділяють основну і допоміжну регульовану змінну, для кожної з яких створюється свій «основний» і «допоміжний» контур регулювання. Використання каскадних схем ефективно у тому випадку, коли запізнення у контурі регулювання основної величини суттєво більше, ніж у контурі регулювання допоміжної величини.

Стійкість – найважливіша умова працездатності автоматичної системи регулювання. Якщо система не має стійкості, то вона не може мати практичного використання.

На рис. 3.10 проілюстровано поняття стійкості. На рис. 3.10, б, пояснює функціонування стійкої АСР.

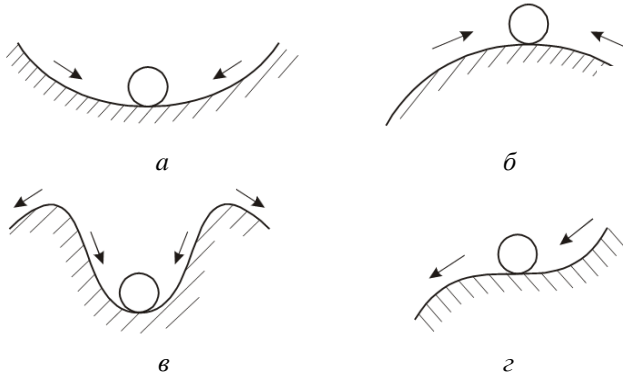


Рисунок 3.10 – Ілюстрація стійкості АСР: а – стійка АСР; б – нестійка АСР; в – стійка в малому та нестійка у великому; г – напівстійка АСР

Тобто, якщо штовхнути кульку з відповідними зусиллям, то кулька повернеться у вихідний стан. Але якщо зусилля буде значним, то кулька може вийти за відповідні межі (межі стійкості) і не повернеться у вихідний стан. Як видно на рис. 3.10, а, у нестійкій системі, якщо на кульку діятиме сила – кулька вже не повернеться у вихідний стан. Існують спеціальні аналітичні і експериментальні методи визначення стійкості АСР.

Внаслідок зміни дії збурення на об'єкт або зміни завдання на регулятор, в АСР виникає *перехідний процес* – перехід від попереднього до наступного станів рівноваги.

Якщо система регулювання після прикладення дії повертається в заданий стан рівноваги (коли $\Delta X=0$, то така АСР називається *стійкою*, а перехідний процес переходу від одного стану рівноваги до іншого має збіжний характер (рис. 3.11, а).

Якщо система регулювання після порушення рівноваги, викликаного дією, з часом віддаляється від стану рівноваги (коли $\Delta X>0$), то така система називається *нестійкою*, а перехідний процес в ній – розбіжним (рис. 3.11, б). Якщо система регулювання після порушення рівноваги, викликаного дією, здійснює періодичні коливання, що не затухають, то така АСР знахо-

диться на межі стійкості, а її перехідний процес – автоколивальний (рис. 3.11, в).

Стійкість автоматичної системи регулювання є основною, але недостатньою умовою, яка визначає її працездатність. Система автоматичного регулювання повинна відповідати певним показникам якості процесу регулювання. Вимоги до показників якості процесів регулювання задаються, виходячи насамперед з технологічних вимог до конкретного процесу та, як правило, припускають деякі коливання технологічних параметрів у визначених межах.

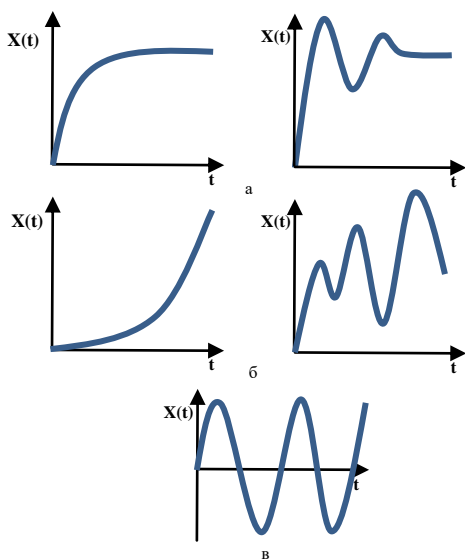


Рисунок 3.11 – Перехідні процеси в системі: а – стійкій; б – нестійкій; в – на межі стійкості (незатухаючі коливання)

Якість та собівартість готової продукції суттєво залежить від точності дотримання технологічних параметрів. Але в свою чергу, завищення вимог до якісних показників АСР потребує більших витрат що іноді не є обґрунтованим та доцільним.

Для оцінювання якості регулювання існує ряд показників.

Насамперед використовують прямі та непрямі показники. До *прямих* показників якості належать ті, які можливо одержати безпосередньо за графіком перехідного процесу (рис. 3.12). Максимальне відхилення X_{\max} (перша амплітуда) називають динамічною похибкою, а відхилення по закінченні перехідного процесу $\Delta X_{ст}$ – статичною.

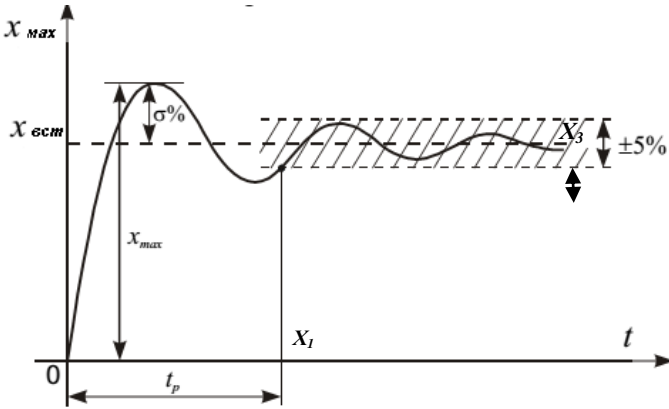


Рисунок 3.12 – Показники якості перехідних процесів

Важливим показником є *час регулювання* t_p . Його визначають до моменту, коли можливо чітко встановити, що $\Delta X = const$ (або $\Delta X_{ст} = 0$ в астатичній системі), чи коли $X(t)$ не перевищує значення $0,05 X_{вст}$). На основі вимірів амплітуд коливань відносно нового усталеного значення X розраховуються показники, які характеризують стійкість АСР і є показниками якості перехідного процесу. Одним із вагомих показників є *перерегулювання*

$$\sigma = \frac{X_1 - X_{вст}}{X_{вст}} 100\%, \quad (3.52)$$

та *ступінь затування*

$$\Psi = \frac{X_1 - X_3}{X_1}. \quad (3.53)$$

Наприклад, у найбільш стійкій АСР виникає аперіодичний (без коливань) процес, тобто $\Psi=1$. Якщо в системі виникли автоколивання ($X_3=X_1$), то $\Psi=0$. Такий перехідний процес характерний лише для систем з позиційними регуляторами і неприпустимий для інших. Якщо кожна наступна амплітуда коливань перевищує попередню ($\Psi>1$), система є нестійкою, що неприпустимо. Таким чином, стійкою є АСР, яка приходить до нового стану рівноваги. Перехідні процеси в стійкій системі бажано мати $0,75 < \Psi < 1,0$, з перерегулюванням, що не перевищує 20%.

Значення показників якості, яким повинна відповідати система, розв'язується в кожному конкретному випадку і визначається технологічними вимогами до системи – особливостями технологічного режиму та регламенту.

Якщо треба одержати узагальнену оцінку процесу регулювання, то використовують *непрямі показники* – критерії якості, наприклад, *лінійний інтегральний*:

$$I_1 = \int_0^{t_p} \Delta X dt. \quad (3.54)$$

Цей критерій має чіткий фізичний зміст: необхідно забезпечити мінімум площі під кривою перехідного процесу ($I_1 \rightarrow \min$), що відповідало б зменшенню відхилення X_1 та скороченню t_p . Для оцінювання якості аперіодичних перехідних процесів зручно використовувати *інтегральний критерій*, а для коливальних – *квадратичний інтегральний*:

$$I_2 = \int_0^{t_p} \Delta X^2 dt. \quad (3.55)$$

Об'єкт регулювання є основною складовою частиною автоматичної системи і визначає її характер. Деякі властивості об'єкта сприяють якісному процесу регулювання, інші заважають, тому визначення характеристик і властивостей об'єкта регулювання є дуже важливим завданням.

Незважаючи на широкую різноманітність об'єктів регулювання, всі вони мають ряд загальних властивостей: самовирівнювання, ємність, інерційність і запізнення.

Самовирівнювання – здатність об'єкта самостійно переходити до нового стану рівноваги після впливу на нього збурення. Розглянемо цю властивість на прикладі резервуару (рис. 3.13), входними діями на резервуар є зміна притоку $G_{пр}$ та стоку $G_{ст}$ рідини в ємність, а вихідною величиною, яка характеризує стан об'єкта, є зміна рівня H в ньому.

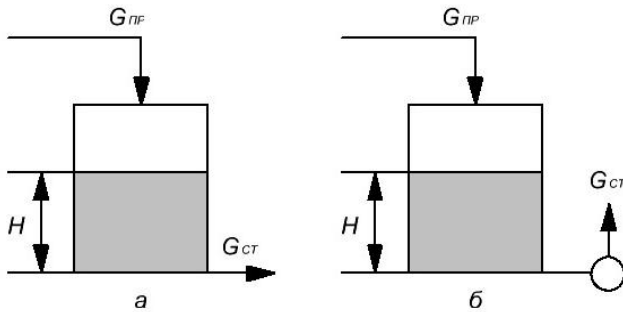


Рисунок 3.13 – Гідравлічні об'єкти

Якщо, наприклад, збільшився приток в об'єкт (рис. 3.13, а), то це призводить до збільшення рівня рідини H . Внаслідок цього зростає гідростатичний тиск, що призводить до збільшення стоку $G_{ст}$. Різниця між притоком і стоком зменшується, тобто зменшується швидкість зростання рівня. При достатній зміні рівня приток і сток зрівнюються й настає новий стан рівноваги.

Збільшення притоку в об'єкт (рис.3.13, б) також спричинює зростання рівня та гідростатичного тиску. Але збільшення останнього не призводить до збільшення стоку і досягнення нового стану рівноваги, оскільки на стоці встановлено насос, який має певну продуктивність. Тому різниця між притоком і стоком залишається незмінною, рівень зростає з постійною швидкістю. Отже наявність самовирівнювання існує, коли зміна вихідної величини певним чином впливає на зміну входньої дії, що

дає змогу об'єкту самостійно переходити до нового стану рівноваги.

Об'єкти, які мають властивість самовирівнювання, називаються *статичними*, а без самовирівнювання – *астатичними*. Система є астатичною за задавальним впливом у тому випадку, якщо вона містить у передавальній функції системи інтегруючу ланку.

Ще однією властивістю об'єкта регулювання є *запізнення*, показником якого є час запізнення. Під ним розуміють різницю часу між моментами нанесення збурення або зміною вхідної величини та початком зміни вихідної змінної. Розрізняють запізнення перехідне і транспортне. *Перехідне* (ємнісне) *запізнення*, яке також називається інерційністю. Величина цього запізнення виникає під час подолання потоком речовини або енергії опору. *Транспортне* (чисте) *запізнення* – час, необхідний для того, щоб потік речовини або енергії, який має певну швидкість, пройшов відстань від місця внесення збурення до місця, де вимірюється значення регульованого параметра.

Прикладами ланки «чистого» запізнення є акустична лінія зв'язку (час проходження звуку), також це може бути система автоматичного дозування якої-небудь речовини, переміщуваної за допомогою стрічкового транспортера (час руху стрічки на визначеній ділянці) та ін.

Загальне запізнення складається з суми окремих запізнень. Запізнення завжди негативно впливає на якість регулювання, тому необхідно намагатися його зменшити.

Часові характеристики будь-якої ланки з запізненням будуть такі самі, як і у відповідної ланки, але тільки зрушені по осі часу на величину запізнення.

Розглядають статичні і динамічні характеристики об'єкта управління.

Статичною характеристикою об'єкта називають залежність його вихідної величини від вхідної в усталеному режимі. Статичні характеристики об'єкта показують його властивості тільки в рівноважному стані і визначаються експериментальним

або аналітичним шляхом. Більшість реальних об'єктів нелінійні. Розрахунок таких систем дуже складний, тому використовуються методи лінеаризації. Для характеристики об'єкта в інших станах необхідно знати його динамічні властивості.

Динамічною характеристикою об'єкта називається зміна вихідної (регульованої) величини в часі у перехідному режимі. Найбільш розповсюдженим експериментальним методом визначення динамічних характеристик є побудова кривої розгону, яка визначає зміну регульованої величини при нанесенні на вхід об'єкта миттєвого стрибкоподібного збурення. За допомогою кривої розгону визначають такі динамічні характеристики:

- запізнення (τ);
- постійну часу (T);
- коефіцієнт передачі ($K_{об}$).

Знов розглянемо об'єкт (рис. 3.13) на рис. 3.14 зображена крива розгону, що є результатом ступінчастого впливу на вхідну величину системи – $G_{пр}$.

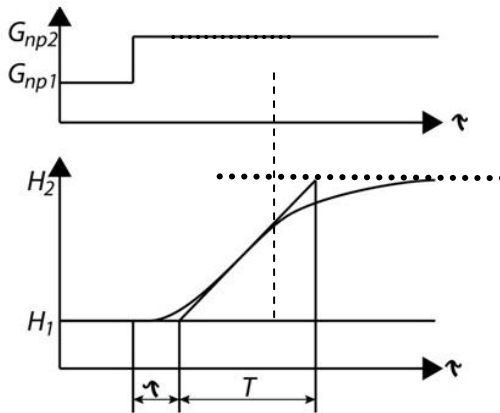


Рисунок 3.14 – Крива розгону

На рис. 3.15 показано, що клапан притоку знаходиться на певній відстані від об'єкта, що створює транспортне запізнення, оскільки повинен пройти деякий час після того, як клапан відкривається і рідина потрапить у ємність.

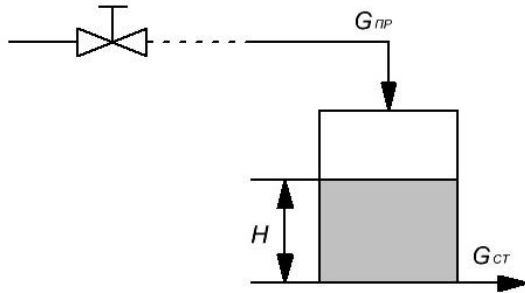


Рисунок 3.15 – Об'єкт відповідний кривій розгону

В усталеному режимі стік $G_{\text{см1}}$ дорівнював притоку $G_{\text{нр1}}$ і рівень в ємності був постійним зі значенням H_1 . В деякий момент часу при відкриванні клапана стрибкоподібно збільшився приток і став дорівнювати $G_{\text{нр2}}$. Оскільки $G_{\text{нр2}} > G_{\text{см1}}$, то рівень в ємності починає збільшуватись. Однак внаслідок збільшення гідростатичного тиску поступово починає збільшуватися стік до моменту, поки нове значення $G_{\text{см2}}$ не стане дорівнювати притоку $G_{\text{нр2}}$. Виникне новий зрівноважений стан, при якому в об'єкті встановиться новий рівень H_2 .

По кривій розгону можливо визначити динамічні характеристики об'єкта. Для визначення часу запізнення τ і постійної часу T до кривої розгону проводиться дотична. Графічне визначення τ і T показано на рис. 3.14.

Коефіцієнт передачі $K_{\text{об}}$ визначається як відношення зміни вихідної величини H між двома станами рівноваги до величини стрибкоподібного збурення, яке викликало цю зміну:

$$K_{\text{об}} = \frac{H_2 - H_1}{G_{\text{нр2}} - G_{\text{нр1}}} = \frac{\Delta H}{\Delta G}. \quad (3.56)$$

Динамічні характеристики та параметри об'єктів регулювання використовують для вибору регуляторів та їх настановлення.

В об'єктах регулювання без самовирівнювання, будь-який зовнішній вплив не може бути локалізований без допомоги

автоматичного регулятора, та стан рівноваги не буде досягнуто.

На вхід автоматичного регулятора поступає розузгодження ΔX , яке являє собою різницю між поточним значенням регульованої змінної X і його заданим значенням X^* , тобто $\Delta X = X - X^*$. Регулятор повинен виробити управляючу дію U_p , яка повинна ліквідувати розузгодження. Залежність $U_p = f(\Delta X)$ називається *законом регулювання*.

За способом дії автоматичні регулятори розподіляються на регулятори прямої та непрямої дії.

У *регуляторах прямої дії* для переміщення регулюючого органу використовується безпосередньо енергія регульованої величини. Вони застосовуються у випадках, коли регульована змінна має достатню енергію для переміщення регулюючого органу. На рис. 3.16 наведені схеми регуляторів прямої дії тиску та рівня.

У регуляторі рівня (рис. 3.16, *а*) при зміні рівня змінюється положення поплавка 1, який через важіль 2 впливає на ступінь відкриття регулюючого органу (клапана) 3. Тобто коли рівень збільшується, клапан прикривається і зменшує надходження рідини у збірник. Задане значення рівня залежить від довжини штока 4.

У регуляторі тиску (рис. 3.16, *б*) при зміні тиску змінюється положення мембрани 1, яка через шток впливає на положення регулюючого органу (клапана) 4. При збільшенні тиску клапан прикривається. Завдання регулятора змінюється гайкою 3, переміщення якої змінює ступінь стиснення пружини 2.

У *регуляторах непрямої дії* енергія до їх елементів, насамперед до підсилювача потужності, подається від зовнішнього джерела живлення, завдяки чому можливо розвивати досить великі динамічні зусилля при переміщенні регулюючих органів та забезпечувати можливість територіального розподілення автоматичного регулятора й виконавчого механізму з регулюючим органом. Крім того, регулятори непрямої дії мають більш високу швидкодію й точність.

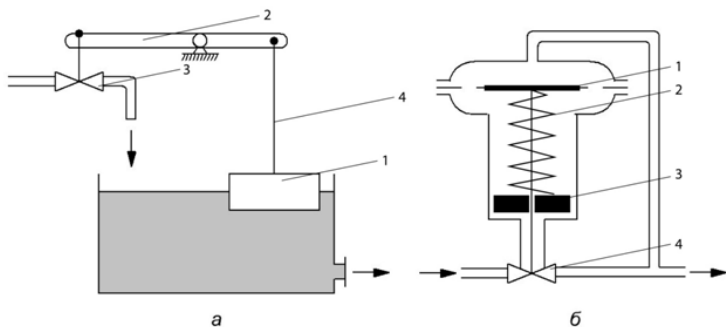


Рисунок 3.16 – Регулятори прямої дії: а – рівня; б – тиску

При реалізації законів керування технічними засобами автоматичні регулятори можуть бути *неперервними* (аналоговими) та *дискретними*. В неперервних регуляторах вхідні та вихідні сигнали є неперервними функціями часу, в дискретних, до яких належать релейні (позиційні), імпульсні та цифрові, вихідний сигнал має стрибкоподібну форму або є послідовністю імпульсів.

Робота автоматичного регулятора визначається видом залежності між відхиленнями регульованого параметра і регулюючим впливом регулюючого органу, що відбувається в результаті його переміщення. Ця залежність називається динамічною характеристикою регулятора або законом регулювання регулятора. По виду цієї залежності регулятори поділяються на позиційні, статичні або пропорційні, астатичні та ізодромні.

Регулюючий орган в позиційному регуляторі може мати два або кілька фіксованих положень, кожне з яких відповідає визначеним значенням регульованого параметра.

За кількістю позицій регулятори можуть бути двохпозиційні, трипозиційні і багатопозиційні.

У *двопозиційних регуляторах* при відхиленні регульованого параметра від заданого значення (на величину більшу, ніж нечутливість регулятора) регулюючий орган займає одне з крайніх положень, що відповідає максимальному або мініимальному можливому притоку величини, що регулюється, тобто регулюю-

чий орган може займати одне з двох крайніх положень, наприклад, «Відкрито» або «Закрито». Зокрема, при регулюванні температури в теплообміннику (рис. 3.17) позиційний регулятор переключас регулюючий орган при досягненні температури заданого максимального або мінімального значення (вмикає або вимикає теплоелектронагрівач).

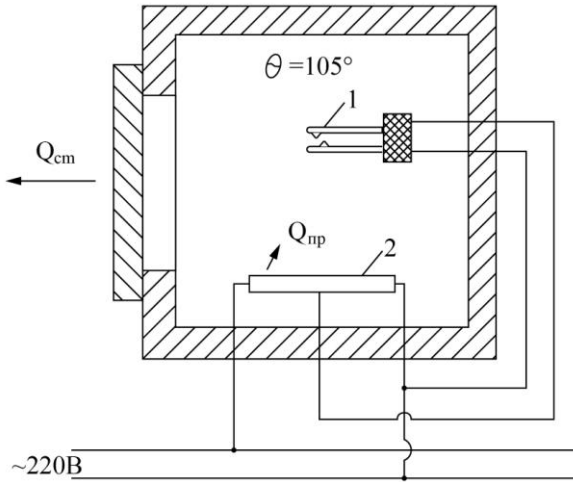


Рисунок 3.17 – Регулювання температури позиційним регулятором

Цей регулятор складається з датчика 1 і нагрівального електричного елемента 2. Датчик складається з двох біметалевих пластин з контактами, які під дією температури можуть, наближаючись одна до одної, замикати або, навпаки, розмикати електричний ланцюг.

Зазвичай в сушильній шафі підтримується температура 105 ° С. Тоді при досягненні зазначеної температури контакти повинні замкнутися і частина нагрівального елемента шунтується. Необхідна величина $Q_{пр}$ після шунтування нагрівача може бути підібрана з таким розрахунком, щоб повністю компенсувати втрати тепла сушильною шафою $Q_{ст}$.

Також можливо регулювати і таким чином, щоб при досягненні заданої температури повністю вимикати нагрівач. У

першому варіанті можливо досягти того, що $Q_{пр} = Q_{ст}$, тоді регулятор не буде переключатися.

На рис. 3.18 зображена характеристика процесу двохпозиційного регулювання. На ньому показані зміни регульованого параметра після одноразової стрибкоподібної зміни навантаження на об'єкт $Q_{пр}$ або $Q_{ст}$, та реакція регулюючого органу в часі.

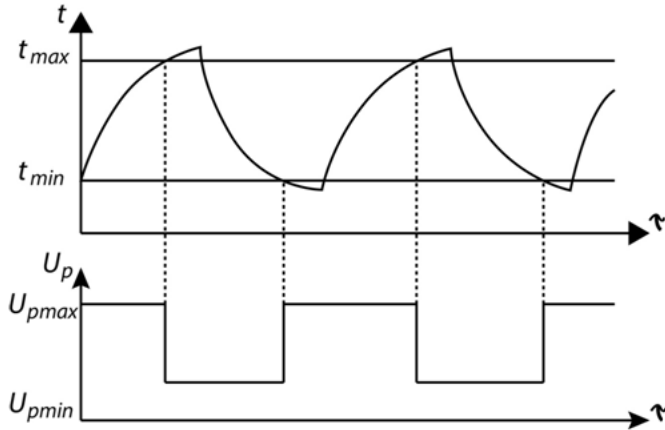


Рисунок 3.18 – Графік позиційного регулювання температури

Як вбачається цей процес має незгасальний (автоколи-вальний) характер. Діапазон між мінімальними і максимальними значенням регульованої величини називається зоною нечутливості позиційного регулятора, тому що коли значення регульованої величини знаходиться всередині цієї зони, регулятор не реагує на її зміну. Переключення регулюючого органу відбувається лише тоді, коли регульована величина досягне однієї з меж зони нечутливості. Амплітуда автоколивань залежить насамперед від величини зони нечутливості. Але її зменшення викликає збільшення частоти перемикань регулюючого органу, що призводить до зменшення терміну роботи АСР. Частота переключень залежить також від сталої часу T об'єкта регулювання. В об'єктах з малими значеннями T регульована величина змінюється швидко, тому при регулюванні будуть відбуватися часті переключення, і

система швидко виробить свій ресурс. Таким чином, двопозиційні регулятори використовують для тих процесів, які відбуваються в достатньо інерційних об'єктах, що мають велике значення ємності, а технологічні вимоги допускають досить значні коливання регульованої змінної.

У регуляторів неперервної дії при неперервній зміні сигналу на вході регулятора регулюючий орган також переміщується неперервно. Залежність, яка показує, як змінюється регулювальна дія регулятора (вихідний сигнал U_p) від величини розузгодження (вхідний сигнал ΔX) $U_p=f(\Delta X)$, називається законом регулювання.

У регуляторах неперервної дії можуть використовуватися такі закони регулювання: пропорційні (П-регулятори); інтегральні (І-регулятори); пропорційно-інтегральні (ПІ-регулятори); пропорційно-диференціальні (ПД-регулятори); пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД-регулятори).

Розглянемо властивості деяких з них.

У пропорційних (П) регуляторах управляюча дія пропорційна сигналу розузгодження:

$$U_p = K_p \cdot \Delta X . \quad (3.57)$$

Для аналізу особливостей П-регулятора продиференціюємо рівняння (3.57):

$$\frac{dU_p}{dt} = \frac{K_p d(\Delta X)}{dt} . \quad (3.58)$$

З (3.58) виходить, що процес регулювання почнеться, коли керуючий сигнал U_p почне змінюватись, тобто $\frac{dU_p}{dt} \neq 0$. Це стане тоді, коли починає змінюватися з якоюсь швидкістю сигнал розузгодження ΔX , тобто $\frac{d\Delta X}{dt} \neq 0$. Тобто регулювання почнеться практично одночасно з появою відхилення регульованої змінної від заданого значення.

Як тільки розузгодження перестане змінюватись, тобто коли $\frac{d\Delta X}{dt} = 0$, процес регулювання досить швидко завершується

$\frac{dU_p}{dt} = 0$. Але при цьому величина ΔX може не дорівнювати 0.

Це означає, що регульована змінна не досягла заданого значення, а залишилася на величині, яке відрізняється від нього. Це призводить виникнення статичної похибки – різниці між заданим значенням регульованої змінної та її значенням, яке залишається в кінці процесу регулювання.

Величина статичної похибки залежить від коефіцієнта передачі регулятора K_p . Це значення є параметром настроювання П-регулятора, яке вибирається в залежності від властивостей об'єкта регулювання і показників якості процесу регулювання, що встановлюється для даної АСР. Чим більший коефіцієнт передачі, тим менша статична похибка. Але збільшення коефіцієнта передачі обмежене вимогами стійкості системи регулювання. При великих значеннях K_p незначне розузгодження ΔX може призвести до значних змін U_p і процес регулювання буде наближатися до меж стійкості, а характер перехідного процесу наблизатиметься до автоколивального, тобто до позиційного закону регулювання

Таким чином, П-регулятори мають добрі динамічні характеристики, тобто процес регулювання характеризується малим часом регулювання і погані статичні характеристики, тому що в кінці регулювання виникає статична похибка. Тому П-регулятори використовуються у випадках, коли час регулювання має бути невеликим, а технологічний процес припускає наявність статичної похибки.

Регулятори прямої дії працюють за пропорційним законом регулювання. Наприклад, якщо значення тиску в трубопроводі збільшиться, то мембрана прогинатиметься сильніше, і регулюючий орган буде прикриватися, зменшуючи витрату речовини. Але й пружина, яка виступає у ролі зворотного зв'язку, буде більше стискуватись і протидіяти прогину мембрани. Як тільки

сила протидії стане дорівнювати силі тиску, рух рухомих частин регулятора призупиниться і настане новий стан рівноваги, при якому новому значенню тиску відповідатиме нове пропорційне положення регулюючого органу.

У *пропорційно-інтегральних* (ПІ) регуляторах управляюча дія пропорційна як розузгодженню, так і інтегралу від нього:

$$U_p = K_p \left(\Delta X + \frac{1}{T_i} \int_0^{t_p} \Delta X dt \right). \quad (3.59)$$

Для аналізу особливостей ПІ-регулятора скористаємось методикою, яку використовували для П-регулятора.

Якщо продиференціювати рівняння для ПІ-закону, отримаємо:

$$\frac{dU_p}{dt} = K_p \left(\frac{d\Delta X}{dt} + \frac{1}{T_i} \cdot \Delta X \right). \quad (3.60)$$

З аналізу рівняння (3.60) видно, що процес регулювання ($\frac{dU_p}{dt} \neq 0$) як і в системі з П-регулятором, коли почнеться розузгодження ($\frac{d\Delta X}{dt} \neq 0$). Проте закінчиться процес регулювання

($\frac{dU_p}{dt} = 0$) лише тоді, коли регульована величина стане дорівнювати заданій, тобто коли $\Delta X=0$. За рахунок цього ПІ-регулятор ліквідує статичну похибку, але має час регулювання приблизно вдвічі більший, ніж у П-регулятора.

Крім коефіцієнта пропорційності K_p , регулятор має також налаштування часу інтегрування T_i , яка визначає «вагу» інтегральної складової. Збільшення часу інтегрування приводить до збільшення інерційності роботи інтегральної складової, тобто до збільшення часу регулювання.

У випадках, коли необхідно поліпшити динамічні характеристики П- та ПІ-регуляторів, а саме збільшити швидкість реагування регулятора на виникнення розузгодження, викорис-

товуються *пропорційно-диференціальні* ПД- та *пропорційно-інтегрально-диференціальні* ПІД-регулятори, в які додатково введено диференціальну складову. Наприклад, для ПІД-регулятора:

$$U_p = K_p \left(\Delta X + \frac{1}{T_i} \int_0^{t_p} \Delta X dt + T_D \frac{d(\Delta X)}{dt} \right). \quad (3.61)$$

Аналіз цього рівняння після його диференціювання показує, що в цьому регуляторі процес регулювання починається вже при появі сигналу по прискоренню зміни розузгодження $\frac{d^2(\Delta X)}{dt^2}$

тобто значно швидше, ніж у ПІ-регуляторів. Форсування початку регулювання призводить до того, що системи з цими регуляторами мають маленьку динамічну похибку. Але, незважаючи на ці переваги, ПІД-регулятори використовують рідко, тому що вони складніші як за конструкцією, так і в налаштуванні. Диференціальна складова налаштовується часом диференціювання T_D або коефіцієнтом диференціювання $K_D = K_p \cdot T_D$.

У виразах для законів регулювання показане налаштування регуляторів, змінюючи які, можливо в досить широкому діапазоні змінювати дію регулятора, пристосовуючи його до конкретних умов роботи. При технічній реалізації законів регулювання параметри налаштування регулятора виставляються на конкретних технічних засобах або програмним шляхом. Те налаштування, що забезпечують найкращі результати роботи АСР, називаються *оптимальними*.

Сучасні програмні засоби для моделювання систем (MatLab, VisSim та інш.) дозволяють в автоматичному режимі виконувати налаштування оптимальних параметрів ПІД-регулятора для забезпечення необхідних показників якості процесу.

Імпульсні регулятори використовуються в поєднанні з інтегруючими виконавчими механізмами, в якості яких використовуються електричні виконавчі механізми з постійною швидкістю обертання вихідного елемента. Регулятори на виході

формують послідовність імпульсів напруги постійного струму, які керують виконавчим механізмом за принципом «підключено-відключено». Тривалість імпульсів, а відповідно – і час спрацювання виконавчого механізму, пропорційні розузгодженню. Імпульсні регулятори у поєднанні з виконавчими механізмами постійної швидкості дозволяють, з деяким наближенням, сформувати традиційні закони регулювання (П, ПІ, ПІД).

3.4 Системи автоматичного контролю

Системи автоматичного контролю (САК) є найважливішою ланкою автоматичного виробництва в сенсі забезпечення можливості реалізації безлюдного ТП.

Під *технічним контролем* розуміється перевірка відповідності об'єкта встановленим технічним вимогам. Технічний контроль охоплює всі засоби виробництва і здійснюється за допомогою САК. Ця система вирішує наступні завдання:

- отримання і надання інформації про властивості, технічний стан і просторове розташування контрольованих об'єктів, а також про стан технологічного середовища і виробничих умов;
- порівняння фактичних значень параметрів із заданими;
- передача інформації про розбіжності з параметрами моделей виробничого процесу для прийняття рішень на різних рівнях керування виробництвом;
- одержання та надання інформації про виконання заданих функцій.

Метою контролю може бути, з одного боку, підтримка необхідного рівня якості продукції за допомогою контролю параметрів матеріалу, заготовок, інструменту, пристосувань, режиму виготовлення, вимірювання та випробування виробу, а з іншого – підтримку в працездатному стані всього автоматичного обладнання, обчислювальної техніки та програмного забезпечення шляхом контролю та діагностування.

По виду розв'язуваної задачі контроль може бути приймальним, профілактичним і прогнозуючим, а по взаємодії з

об'єктом – активним і пасивним, параметричним і функціональним.

Активний контроль, на відміну від *пасивного*, дозволяє виключити появу браку за рахунок своєчасного введення коригувальних впливів за результатами вимірювань. *Параметричний контроль* здійснюється за допомогою вимірювання значень параметрів об'єкта контролю.

Функціональний контроль визначає здатність правильності виконання функцій, покладених на контрольований об'єкт, і здійснюється шляхом порівняння з заданими значеннями вихідних станів об'єкта контролю, наприклад, електронної схеми. При цьому може виконуватися аналіз і обробка результатів порівняння, а також діагностування та пошук дефектів.

За конструктивним рішенням контроль поділяється на внутрішній і зовнішній. *Внутрішній контроль* на відміну від *зовнішнього* дозволяє проводити самоконтроль за рахунок вбудованих засобів, наприклад датчиків стану. Стосовно до електронної апаратури в цьому сенсі часто використовується термін самотестування, коли при контролі об'єкт функціонує не на робочих, а на тестових впливах. Відповідно до реалізації в часі контроль може бути безперервним, коли він виробляється в процесі функціонування об'єкта, і періодичним, коли використовуються тестові впливи.

Залежно від умов виробництва здійснюється контроль, необхідний для забезпечення техніки безпеки. Його основне призначення – профілактика або корегування роботи систем для забезпечення номінальних умов їх експлуатації. Наприклад, пожежобезпечність забезпечується своєчасним виявленням диму або вогню спеціальними датчиками. На технологічному обладнанні самоконтроль дозволяє зупинити систему в разі розрегулювання серводвигуна або затискного патрона за наявності перевантажень або появи стороннього предмета в зоні обробки.

Місце САК в автоматичному виробництві показано на рис 3.19.



Рисунок 3.19 – Місце САК в автоматичному виробництві

Типова структура САК включає в себе три рівні.

Верхній рівень забезпечує загальний контроль сукупності автоматичних комірок для координації їх взаємодії, переналагоджування та ремонту, видачу інформації на пульт керування ГАВ, рішення завдань з отримання та обробки інформації з автоматичних комірок, а також з самоконтролю.

Середній рівень гарантує контроль автоматичної комірки і надання на верхній рівень узагальненої інформації про властивості, технічний стан і просторове розташування контрольованих об'єктів і складових частин комірки. При цьому вирішуються завдання з отримання та обробки інформації про контрольовані параметри об'єкта, технологічного середовища і автоматичної комірки, а також з самоконтролю.

Нижній рівень забезпечує контроль об'єктів обробки, технічного стану та просторового розташування складових частин елементарної автоматичної системи, якої може бути верстат з ЧПК, ПР чи інше автоматичне обладнання. На цьому рівні САК вирішує завдання з отримання й перетворення інформації про контрольовані параметри і функціях об'єкта обробки та складових

вих частин елементарної автоматичної системи, контролю за виконанням технологічних переходів, передачу інформації на середній рівень, а також у систему технічного обслуговування для прогнозування поступових відмов інструменту та обладнання.

Типова структура САК зображена на рис. 3.20.

Контроль забезпечуючих систем може бути розподілений по різним рівням залежно від конкретних умов виробництва.

Існує п'ять режимів функціонування САК: запуск, робочий, налагоджувальний, планової зупинки і аварійний.

Режим запуску починається з опитування всіх елементів і систем ГАВ. При цьому проводиться діагностика їх технічного стану, дається команда на вихід всіх систем в початкове положення і контролюється її виконання, перевіряються наявність і коди інструментів і заготовок. У процесі перевірки система стежить за усуненням виявлених несправностей. У режимі запуску задіяні всі рівні контролю. На нижньому рівні системи визначаються значення параметрів і функції контрольованих компонентів елементарної автоматичної системи і потім оцінюється їх відповідність заданим нормам. Інформація про технічний стан і просторове розташування компонентів елементарної автоматичної системи передається в керуючу ЕОМ. Ця інформація є основою для прийняття рішень про технічний стан засобів обробки та об'єкта обробки. Технічний стан самої керуючої ЕОМ контролюється ЕОМ вищого рівня.

Інформація про технічний стан об'єктів обробки передається на ЕОМ для накопичення та статистичної обробки. Потім ЕОМ середнього рівня передає інформацію про технічний стан автоматичної комірки та узагальнену інформацію про об'єкти обробки на ЕОМ верхнього рівня. ЕОМ середнього рівня піддається періодичному самоконтролю за сигналами з центральною ЕОМ і передає їй інформацію про свій технічний стан. ЕОМ верхнього рівня піддається періодичному самоконтролю і приймає рішення про режим функціонування САК за інформацією від автоматичних комірок.



Рисунок 3.20 – Типова структура САК

У номінальному режимі САК забезпечує контроль за якістю виготовлення продукції, потоками виробів, інструментів, енергії, інформації, функціонуванням допоміжних систем (очищення від стружки, промивка, охолодження, кондиціонування повітря, тощо), технічним станом усіх елементів і систем ГАВ.

У *налагоджувальному режимі* керуюча інформація надходить на ЕОМ верхнього рівня, яка приймає рішення про реконфігурації системи контролю на середньому і нижньому рівнях. ЕОМ нижнього рівня встановлює сукупність контрольованих параметрів і функцій об'єктів обробки, а також норми контролю.

Режим планової зупинки – специфічний режим функціонування ГАВ, призначений для забезпечення подальшого запуску не з початкового моменту роботи системи, а з моменту її зупину. Звичайно, в даному режимі передбачаються завершення операції обробки на верстатах, зняття і відправка деталей на накопичувачі або склад, розвантаження та приведення роботів-автооператорів і штабелерів в необхідний для зупину положення, запис стану на носій, відключення всіх видів енергоносіїв і

всіх пультів. Завдання САК при цьому полягає в контролі від-працювання сигналів керування. Крім цього, оскільки реалізація режиму займає деякий проміжок часу, протягом якого елементи та системи ГАВ послідовно припиняють функціонування, можливо провести діагностику систем і видати диспетчеру інформацію для наладчиків і ремонтників.

Аварійний режим ініціюється будь-яким рівнем САК. На нижньому рівні він викликається перевищенням допустимого браку, відхиленням від норми параметрів або елементарної автоматичної системи, або самих засобів контролю. Сигнал про аварійний стан з кожного з рівнів передається на більш високий рівень і відображається на пульті керування ГАВ.

3.5 Технічні засоби контролю

Технічні засоби контролю включають в себе вимірювальні перетворювачі, АЦП, сенсорні підсистеми технічного зору, автоматичні тестери (АТЕ) і координатні вимірювальні машини (КВМ).

Вимірювальні перетворювачі є первинними носіями інформації і складають найважливіший клас пристроїв контролю. Вимірювальний перетворювач – це засіб вимірювань, призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, зручній для передачі, подальшого перетворення, обробки або зберігання, але не піддається безпосередньому сприйняттю спостерігачем. До вимірювальних перетворювачів відносяться *датчики*. Датчик складається з первинного і вторинного перетворювачів. Первинний перетворювач перетворює вимірювану величину в електричний вихідний сигнал. Вторинний перетворювач перетворює вихідний сигнал первинного перетворювача в сигнал стандартного діапазону виходу датчика.

Умовна класифікація датчиків наведена на рис. 3.21.

За здатністю сприйняття інформації на різних відстанях від її джерела датчики діляться на безконтактні та контактні.

Безконтактні датчики дозволяють визначати в основному геометричні характеристики об'єктів за допомогою технічного

зору і локації.

Контактні датчики вимірюють діючі сили і моменти, а також фіксують координати точок їх докладання допомогою силомоментних і тактильних методів вимірювання.

Технічний зір використовується в промисловості на операціях розпізнавання та сортування деталей, взяття деталей з навалу, вимірювання координат рухомих деталей, визначення орієнтації деталей на складальних і інших ділянках виробництва, а також на операціях контролю якості деталей.



Рисунок 3.21 – Умовна класифікація датчиків

Локаційні датчики використовуються для вимірювання у разі недоцільності або неможливості застосування технічного зору. Наприклад, ефективна установка локаційних датчиків у захопленні ПР для стеження зварювальної головки за траєкторією шва. Використання локаційних датчиків як датчиків безпеки дозволяє запобігати зіткнення рухомих частин технологічного обладнання з предметами і людьми, що випадково опинилися в робочій зоні.

Силомоментні датчики застосовуються при виконанні механічного збирання, абразивної зачистки та шліфування виробів, де в процесі виконання технологічної операції необхідно вимірювати сили і моменту.

Тактильні датчики доцільно використовувати при пошуку об'єктів, ідентифікації та визначенні їх просторового розташування, для виявлення прослизання деталі і при регулюванні зусилля захоплення деталі, наприклад, в захватному пристрої ПР.

Для прикладу розглянемо роботу датчика визначення

напрямку і величини проковзування деталі, схема якого наведена на рис. 3.22.

Схема включає вільно обертову зубчасту кулю, яка відхиляє тонкий стержень, встановлений на осі провідного диска. Під диском рівномірно розташовані електричні контакти. Обертання кулі, викликане проковзуванням по ній об'єкта, призводить до вібрації стержня і диска з частотою, пропорційною швидкості обертання кулі. Від напрямку обертання залежить, який контакт буде задіяний віброуючим диском. Усереднений напрямок прослизання визначається по імпульсам у відповідних вихідних електричних контурах.

Якщо контактне зусилля не викликає зсувів і деформацій контрольованого об'єкту, то застосовуються щупові методи контролю розмірів і форми виробів. Вимірювальні щупи можуть бути виконані у вигляді як поодиноких щупів для контролю по одній координаті, так і трикоординатних вимірювальних головок або головок зі змінними щупами для контролю складнопрофільних виробів.

Точкові електронні щупи дозволяють проводити вимірювання, не зупиняючи рух вимірювальної головки, причому багатопозиційні точкові щупи з гніздами для змінюваних наконечників можуть контролювати всі грані деталі без зміни напрямку щупа.

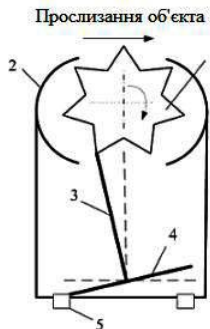


Рисунок 3.22 – Схема датчика визначення напрямку і величини проковзування: 1 – зубчаста куля, 2 – корпус, 3 – стержень, 4 – диск, 5 – електричні контакти.

Електронні шупи для безперервного сканування здійснюють точне безперервне вимірювання геометричних ліній і поверхонь в тривимірному просторі. Вони дозволяють підвищити динамічні характеристики вимірювальної машини.

Різноманіття типів локаційних датчиків представлено на рис. 3.23.

Аналого-цифрові перетворювачі – це вид технічних засобів контролю, що забезпечує перетворення аналогових сигналів, що надходять з датчиків, в еквівалентні значення цифрового коду для подальшої обробки.

До основних елементів аналогової частини АЦП відносяться операційні підсилювачі, компаратори напруги, схеми вибірки та зберігання, а також аналогові ключі та комутатори, які використовуються для комутації аналогових сигналів між джерелом і навантаженням.

Цифрова частина, реалізована на логічних комбінаційних схемах, зсувних регістрах, лічильниках та інших елементах, виконує функції кодування, запам'ятовування, порівняння, зсуву та додавання цифрової інформації.

Аналого-цифрові перетворення діляться на послідовні, паралельні і послідовно-паралельні. Способи перетворення в АЦП визначають досяжні значення їх основних параметрів, зокрема таких, як час перетворення і число розрядів.

Сенсорні системи технічного зору являють собою термінальні підсистеми попередньої обробки відеоінформації, які можуть взаємодіяти через стандартні лінії зв'язку з ЕОМ верхнього рівня. Вони є універсальним засобом для вирішення широкого кола завдань контролю якості, ідентифікації та забезпечення керування, зокрема, складальними операціями.

В якості рецепторних блоків використовуються декілька відеокамер, кожна з яких управляється платою аналогового інтерфейсу шляхом порівняння з пороговим рівнем для перетворення зображення в цифрове відображення. Після стиснення за критерієм значимості інформація аналізується центральним процесорним блоком.

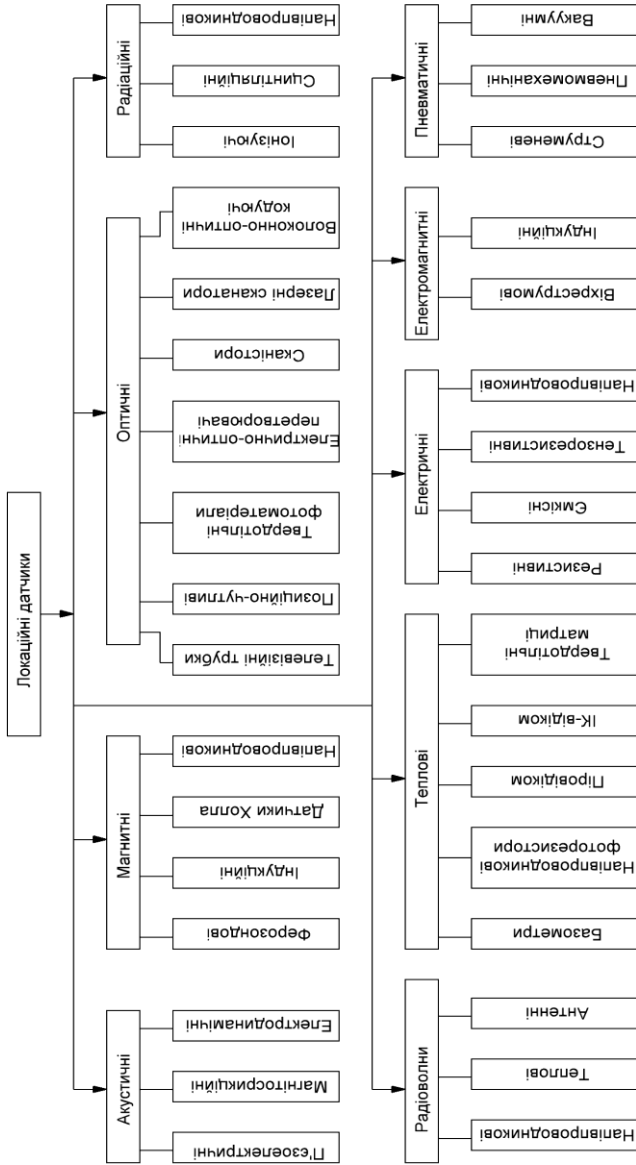


Рисунок 3.23 – Типи локаційних датчиків

Характерним прикладом структурної реалізації системи технічного зору є схема, наведена на рис. 3.24.



Рисунок 3.24 – Схема системи технічного зору

Підсистеми технічного зору здатні ідентифікувати деталі на рухомому конвеєрі, розпізнавати орієнтацію деталей і виділяти деталі, що перекриваються. У процесі розпізнавання процесор розраховує параметри об'єкта і порівнює їх з даними, сформованими на етапі навчання

Автоматичні тестери – це автоматичні контрольно-вимірювальні комплекси, в яких основний метод контролю полягає в подачі за допомогою ЕОМ, що тестують впливи з контролем шляхом порівняння з наперед заданим значенням відповідних реакцій контролюваного об'єкту. У РЕПБ автоматичні тестери використовуються для контролю інтегральних схем та друкованих вузлів. Типова секція формування тестових впливів для АТЕ має у своєму складі програмовані джерела живлення, генератори та схеми комутованої подачі сигналів на об'єкт, що тестується.

До складу вимірювальної частини АТЕ зазвичай входять цифрові мультиплікатори, лічильники, таймери і комутовані

схеми прийому вихідних сигналів з об'єкта, що тестується. Як правило, всі перераховані пристрої в блочному виконанні комплектуються ЕОМ.

Конкретний склад блоків, їх технічні характеристики, можливості комутації та перепрограмування залежать від типу контрольованих об'єктів, а також від виду контролю. У складі АТЕ можуть бути використані зовнішні інтерфейси для включення АТЕ в локальну обчислювальну мережу.

Координатні вимірювальні машини – це автоматичний засіб високоточних вимірювань, що володіє універсальною технікою програмування. Вони можуть не тільки вимірювати типові поверхні, але і визначати систему координат положення різних спеціальних поверхонь щодо базових. Універсальні КВМ дозволяють контролювати параметри корпусних деталей, валів, важелів, втулок та інших виробів, поверхні яких утворюють площини, циліндри, конуси, сфери, а також лінії перетину різних поверхонь. При цьому результати вимірювань подаються у вигляді віддрукованих протоколів атестації або оперативних повідомлень на засобах відображення буквено-цифрової та графічної інформації. Одночасно ці дані можуть накопичуватися в ЕОМ для наступної статистичної обробки. Узагальнена схема КВМ представлена на рис. 3.25.

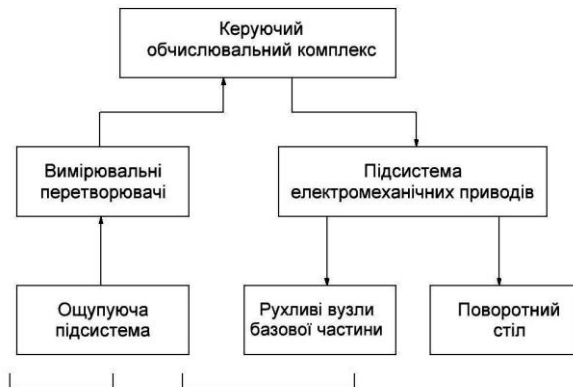


Рисунок 3.25 – Узагальнена схема КВМ

Координати точок деталі, вимірюваної за допомогою прямолінійних переміщень вимірювальних головок підсистеми, що оцупує, вимірюються в декартовій системі координат. При цьому початок координат вибирається вільно, а напрями осей повинні збігатися з напрямками переміщення рухливих вузлів базової частини КВМ, несучих вимірювальні головки або вимірювану деталь.

За допомогою вбудованих поворотних столів можливо забезпечити збільшення числа координатних переміщень за рахунок повороту вимірюваної деталі щодо координатних осей. Переміщення реалізуються звичайно підсистемою електромеханічних приводів, а автоматичне зчитування значень переміщень – вимірювальними перетворювачами індукційного і фотоелектричного типів. Вся обробка результатів вимірювання здійснюється керуючим обчислювальним комплексом, до складу якого крім ЕОМ, стандартних периферійних пристроїв і блоку керування електроприводами входять нормуючі та інші необхідні види перетворювачів. До основних завдань обробки вимірювань відносяться визначення координат центрів вимірювальних наконечників, формування системи координат вимірюваної деталі і порівняння оброблених результатів вимірювань з еталонними даними.

На базі універсальних вимірювальних машин та уніфікованих вимірювальних систем окремих параметрів виробів створюються *контрольно-вимірювальні комірки*. Їх використання дозволяє підвищити техніко-економічні показники САК при вихідному контролі складних виробів, наприклад, надвеликих інтегральних схем.

При виносному контролі, що забезпечується контрольно-вимірювальними комірками, широкого поширення набули вимірювальні машини для контролю лінійних розмірів, форми і взаємного розташування площин. У вимірювальних комірках, які здійснюють післяопераційний контроль, доцільно використовувати вимірювальні роботи, призначені для вбудовування в технологічні лінії.

Такі роботи мають маніпулятори, що переміщуються щодо станини, і володіють високими динамічними можливостями. Для підвищення точності в них застосовують компенсацію можливих помилок програмним засобом за параметрами еталонної деталі, записаним у пам'яті робота.

САК повинні забезпечувати автоматичне переналагоджування засобів контролю в межах заданої номенклатури контрольованих об'єктів, повноту і достовірність контролю, а також надійність засобів контролю. Динамічні характеристики САК повинні відповідати динамічним властивостями контрольованих об'єктів.

3.6 Технічні засоби вимірювань

До технічних засобів контролю сучасних автоматизованих виробництв радіоелектронного приладобудування також відносять засоби вимірювання, що виконують роль засобів моніторингу та контролю стану при реалізації технологічних процесів.

Засоби вимірювання – це сукупність технічних засобів і елементів, які використовуються при вимірюванні і мають нормовані метрологічні характеристики та властивості, тобто відповідають вимогам метрології за одиницями і точністю вимірювання, надійністю і відтворенням одержаних результатів, а також вимогам за розмірами, конструкцією та якістю.

Основними видами засобів вимірювання є міри, вимірювальні прилади, перетворювачі, вимірювальні установки та вимірювальні системи.

Вимірювальним приладом називається засіб вимірювання, призначений для формування інформації у формі, доступній для безпосереднього сприйняття спостерігачем. За формою видачі інформації прилади поділяються на аналогові, показами яких є неперервна функція вимірюваної величини, та цифрові, покази яких дискретні, а інформація подається в цифровій формі. Крім того, прилади бувають показувальні, самописні (реєструвальні), сигналізувальні та регульовальні з додатковими функціями (лічильниками, нормуючими перетворювачами та ін.).

Вимірювальний перетворювач (датчик) – засіб вимірювання, призначений для формування сигналу вимірюваної інформації у формі, зручній для передачі, подальшого перетворення, обробки та зберігання, але яка безпосередньо не відображується оператору.

Датчики розрізняються як за принципом дії, так і за характером вихідного сигналу. Вони класифікуються за видом вимірювальної величини (перетворювачі температури, тиску, рівня, густини та ін.), принципом дії (пневматичні, електричні та ін.) та видом і характером вихідного сигналу (неперервні, дискретні).

Важливою характеристикою первинного вимірювального перетворювача є функціональна залежність між вимірюваною величиною та вихідним сигналом перетворювача (лінійна залежність).

Вимірювальна установка – сукупність функціонально об'єднаних вимірювальних приладів, вимірювальних перетворювачів та інших допоміжних пристроїв, розміщених в одному місці і пов'язаних єдністю конструктивного виконання і призначена для формування сигналів вимірюваної інформації в формі, доступній для сприймання спостерігачем. Прикладом такої установки може бути установка для визначення якості хліба, виноматеріалів та ін.

Вимірювальна система – сукупність засобів вимірювання та допоміжних пристроїв, з'єднаних між собою каналами зв'язку і призначена для формування сигналів вимірюваної інформації в формі, доступній для автоматичного опрацювання, передачі і використання в автоматичних системах управління.

Технічні засоби вимірювання у сучасних системах автоматизації також розрізняють за *функціональним призначенням*:

- засоби вимірювання тиску;
- засоби вимірювання температури;
- засоби вимірювання кількості та витрати;
- засоби вимірювання рівня;
- засоби визначення властивостей та складу рідини та газів;
- засоби визначення положення об'єктів.

Вимірювання тиску необхідно для управління технологічними процесами і забезпечення безпеки багатьох виробництв. Крім того, цей параметр використовується при непрямих вимірах інших технологічних параметрів: рівня, витрати, температури, щільності і т.д. У міжнародній системі одиниць СІ за одиницю тиску прийнятий паскаль (Па).

Існують три типи вимірюваного тиску:

- абсолютний тиск – атмосферний тиск плюс надлишковий тиск;
- надлишковий тиск – абсолютний тиск мінус атмосферний тиск;
- диференціальний тиск – різниця тисків між двома точками.

За видом вимірюваної величини засоби для вимірювання тиску класифікують як:

- манометри – для вимірювання абсолютного і надлишкового тиску (0,06-1000 МПа);
- вакуумметри – для вимірювання вакуумметричного тиску (розрідження) (до -100 кПа);
- мановакуумметри – для вимірювання надлишкового і вакуумметричного тиску;
- тягоміри – для вимірювання малого вакуумметричного тиску (до -40 кПа);
- напороміри – для вимірювання малого надлишкового тиску (до 40 кПа);
- тягонапороміри – для вимірювання малого вакуумметричного і надлишкового тиску (до ± 20 кПа);
- барометри – для вимірювання барометричного тиску атмосферного повітря;
- диференційні манометри – для вимірювання різниці двох тисків.

Загальна структурна схема сучасного датчика різниці тиску представлена на рис. 3.26.

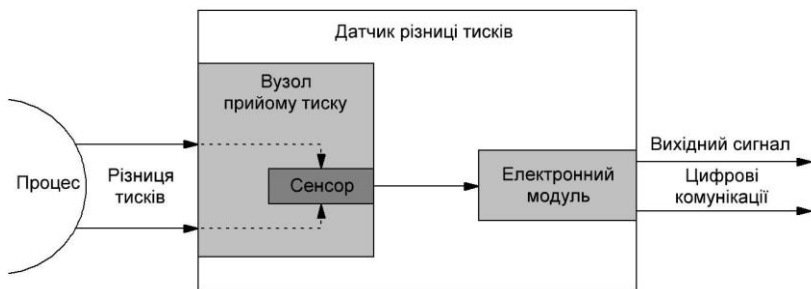


Рисунок 3.26 – Загальна структурна схема сучасного датчика різниці тиску

Основними структурними елементами датчика є: чутливий елемент (сенсор), що перетворює різницю тисків в одну з електричних величин; вузол прийому тиску, який призначений для передачі різниці тисків від вимірюваного середовища до сенсора, а також для його захисту від впливу вимірюваного середовища і перевантаження; мікропроцесорний електронний модуль, що вимірює сигнал з сенсора, виконує його лінеаризацію, корекцію впливу паразитних факторів і перетворює отриманий результат у вихідний сигнал. Крім того, електронні модулі сучасних датчиків тиску виконують ще цілий ряд функцій, таких як самодіагностика, місцева індикація результатів вимірювань, комунікація з цифровим протоколом, місцева і дистанційна перенастроювання діапазону вимірювань («нуля» і «шкали») і т.д.

За принципом дії розрізняють рідинні, деформаційні та електричні прилади.

Принцип дії *рідинних приладів* ґрунтується на зрівноваженні вимірюваного тиску або різниці тисків стовпом рідини. Рідинні манометри використовують в основному в лабораторних умовах для вимірювання невеликих тисків та не використовуються в системах автоматизації.

Принцип дії *деформаційних манометрів* полягає у вимірюванні тиску за величиною деформації пружних елементів або за силою, яку вони розвивають.

Вони прості й компактні за конструкцією, надійні в роботі,

мають широкий діапазон вимірювання тиску – $0,1 \div 160$ МПа при достатній точності. Розрізняють такі чутливі елементи (рис. 3.27): одновиткові й багатовиткові трубчасті пружини, мембрани, сільфони тощо.

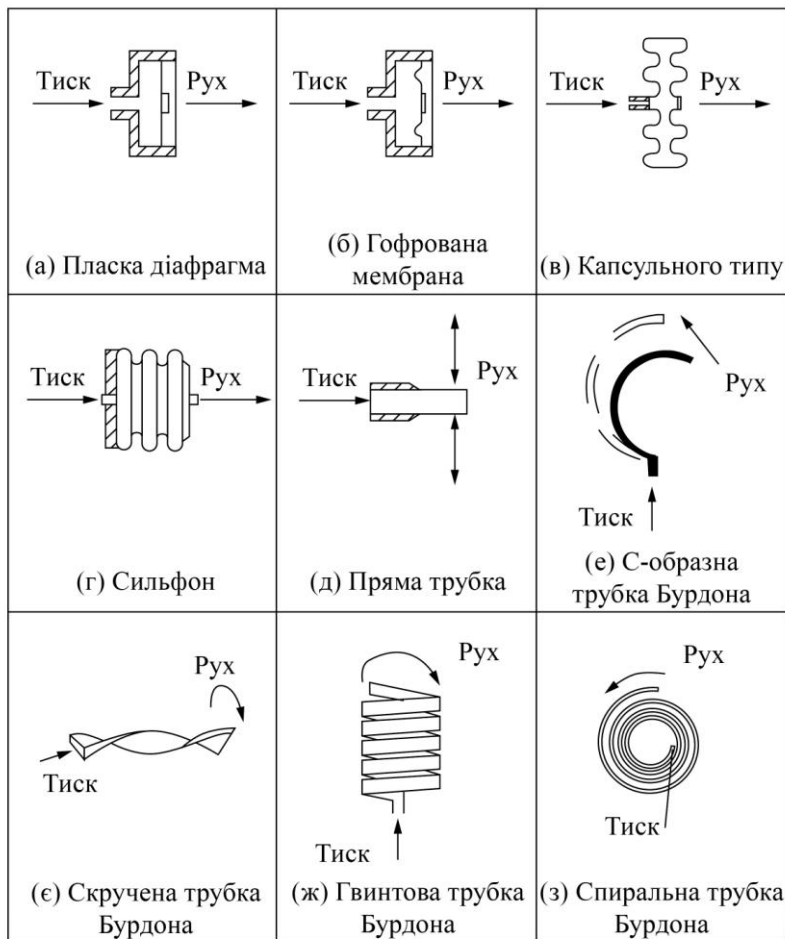


Рисунок 3.27 – Чутливі елементи деформаційних елементів

Трубчасті одновиткові пружини (трубки Бурдона) виготовляють у вигляді С-подібної трубки овального або еліптичного перерізу із зовнішнім (більшим) і внутрішнім (меншим) радіусами, кінці яких співпадають з віссю стрілки приладу. Площа верхньої внутрішньої поверхні трубки більша від нижньої. Під впливом надлишкового тиску сила, що діє на верхню частину трубки, перевищуватиме силу, що діє на нижню частину. Це приводить до того, що вільний кінець трубчастої пружини змінює своє положення (трубка «розкручується»). З мембранних пружних чутливих елементів найбільше значення мають плоскі мембрани з центральним диском і штоком

Принцип дії *електричних пристроїв* для вимірювання тиску ґрунтується на перетворенні тиску чи вакууму на електричний параметр, який функціонально пов'язаний з тиском. До цієї групи належать манометри опору, п'єзоелектричні, тензоелектричні та ємнісні пристрої.

Принцип роботи *манометрів опору* ґрунтується на зміні електричного опору провідників під дією зовнішнього надлишкового тиску. Найширше використовують манганін, температурний коефіцієнт опору якого дуже низький. Недоліком його є малий приріст опору на одиницю тиску. Тому за його допомогою вимірюють високий і надвисокий тиск (до 3000 МПа). Для вимірювання опору чутливого елемента використовують мостові схеми.

Принцип дії *п'єзоелектричних манометрів* ґрунтується на властивостях кристалічних речовин накопичувати електричні заряди на поверхні під дією механічної сили (тиску). Це явище називається п'єзо ефектом, яке характерне для кристалів кварцу, турмаліну сегнетової солі, титану, барію та ін. Схему п'єзоелектричного манометра наведено на рис. 3.28.

Для виготовлення п'єзокристалічних датчиків найбільше використовують кварц, який має безінерційний п'єзо ефект, механічну міцність, добрі ізоляційні властивості і не гігроскопічний. Його п'єзо ефект не залежить від температури до +500 °С.

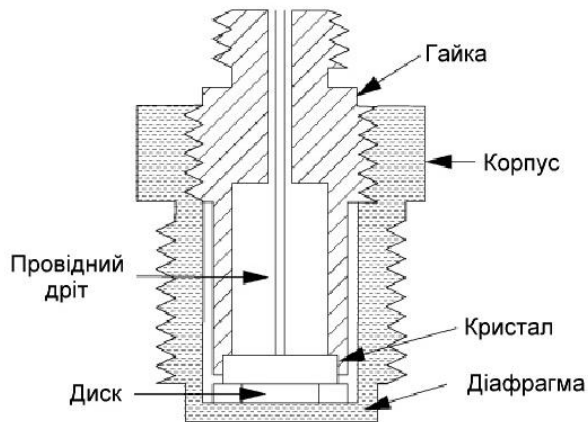


Рисунок 3.28 – Схема п'єзоелектричного датчика тиску

Тензорезисторні чутливі елементи, що застосовуються у *тензорезисторних перетворювачах тиску*, являють собою металеву і (або) діелектричну вимірювальну мембрану, на якій розміщуються тензорезистори, з'єднані у схему врівноваженого моста з контактними площинами для підключення до внутрішньої або зовнішньої вимірюваної схеми. Така схема має назву Моста Уитстона.

Узагальнена функціональна схема мікропроцесорного датчика різниці тиску з аналоговим сигналом сенсора представлена на рис. 3.29. Незважаючи на наявність мікропроцесора, такий датчик не може повністю реалізувати всі переваги цифрової схемотехніки, оскільки аналогові ланцюги вимірювального підсилювача і АЦП є потенційним джерелом шумів, нелінійності і дрейфу. Крім того, в цій схемі при перенастроюванні шкали для максимального використання розрядності АЦП змінюється коефіцієнт посилення сигналу з сенсора. Це призводить до необхідності перевірки і підстроювання нуля після перенастроювання шкали (для кращих датчиків такого типу), і навіть до багаторазової ітераційного підстроювання нуля і шкали з використанням калібратора тиску і струму.

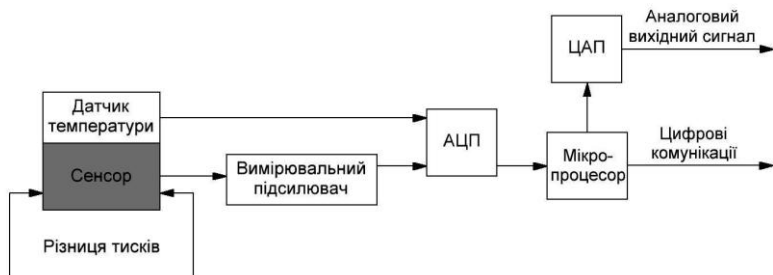


Рисунок 3.29 – Узагальнена функціональна схема мікропроцесорного датчика різниці тиску

Ємнісні перетворювачі тиску складаються з паралельних пластин-конденсаторів, з'єднаних з діафрагмою, яка зазвичай металева і піддається тиску сил, що беруть участь в процесі з одного боку і опорним тиском на іншій стороні (рис. 3.30). Електроди, які прикріплені до мембрани і отримують живлення від генератора високої частоти, відчувають будь-яке переміщення діафрагми і це впливає на зміну ємності пластин-конденсаторів. Зміна ємності виявляється приєднаним електричним колом, яке виводить напругу відповідно до зміни тиску. Даний тип датчика може працювати в діапазоні від 2,5 Па до 70 МПа з чутливістю 0,07 МПа.

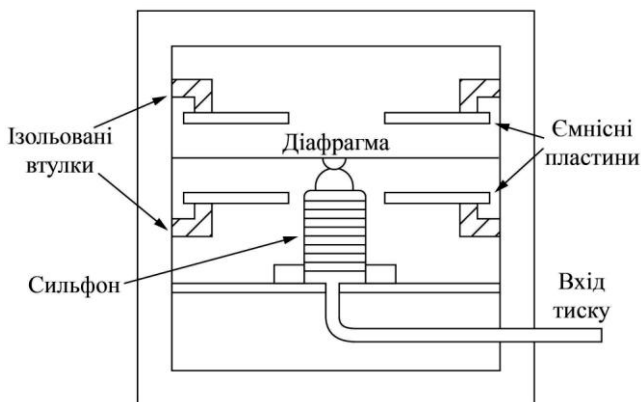


Рисунок 3.30 – Ємнісний перетворювач тиску

Засоби вимірювання температури розділяються за принципом дії на такі групи з відповідними межами вимірювання:

- термометри розширення (від -200 до +600 °С);
- манометричні термометри (від -200 до +1000 °С);
- термометри опору (від -260 до +1000 °С),
- термоелектричні термометри (від -270 до +2800 °С);
- пірометри (від -50 до +3500 °С).

Принцип дії *термометрів* розширення ґрунтується на розширенні рідин і твердих тіл під впливом температури. Розрізняють рідинні, дилатометричні та біметалеві термометри.

Принцип дії *скляних рідинних термометрів* ґрунтується на тепловому розширенні термометричної рідини, розміщеної в скляному резервуарі, під впливом температури. У скляних термометрах за термометричні рідини використовують ртуть, етиловий спирт, толуол, пентан, газ та інші речовини. Для встановлення скляних термометрів на виробничому обладнанні використовуються спеціальні захисні гільзи.

Принцип дії *біметалевих та дилатометричних термометрів* ґрунтується на зміні їх лінійних розмірів під впливом температури:

$$l_1 = l_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (t - t_0)], \quad (3.62)$$

де l_0 і l_1 – лінійні розміри чутливого елемента при температурі 20 °С та t , м;

α – середній коефіцієнт лінійного розширення твердого тіла, °С⁻¹;

t_0 і t – температура градування (20 °С) та температура вимірювання, °С.

Чутливий елемент біметалевого термометра являє собою пружину, яка складається з двох металевих пластин з різним коефіцієнтом лінійного розширення. Оскільки внутрішня пластина має більший коефіцієнт лінійного розширення, ніж зовнішня, при нагріванні така пластина буде випрямлятися, то її переміщення буде передаватися на стрілку термометра. Показання з біметалевого термометра неможливо передати на відстань.

В основу вимірювання температури *термоелектричними перетворювачами* (термопарами) покладено термоелектричний ефект. Суть його полягає в тому, що в замкненому електричному колі з двох провідників виникає термоелектрорушійна сила (ТЕРС) термопари, яка залежить лише від різниці температур спайок провідників.

При з'єднанні провідників, матеріалом для яких служать різнорідні метали, на протилежних кінцях відбувається поява напруги, викликані контактною різницею потенціалів. Значення отриманої напруги знаходиться в повній залежності від температури. Такім чином, різні метали, з'єднані між собою, виступають в ролі гальванічного елемента, що має підвищену чутливість до перепадів температур. Дана конструкція являє собою температурний сенсор, який і називається термопарою.

Термоелектричний ефект пояснюється наявністю вільних електронів у металах електродів, кількість яких в одиниці об'єму для різних металів різна.

Найбільш поширені два способи підключення термопари до вимірювальних перетворювачів: простий і диференціальний (рис. 3.31). У першому випадку (рис. 3.31, а) вимірювальний перетворювач підключається безпосередньо до двох термоелектродів. У другому випадку (рис. 3.31, б) використовуються два провідники з різними коефіцієнтами ТЕРС, спаяні в двох кінцях, а вимірювальний перетворювач включається в розрив одного з провідників.

Для дистанційного підключення термопар використовуються подовжувальні або компенсаційні дроти. Подовжувальні дроти виготовляються з того самого матеріалу, що й термоелектроди, але вони можуть мати інший діаметр. Компенсаційні дроти використовуються в основному з термопарами з благородних металів і мають склад, відмінний від складу термоелектродів. Приклад конструктивного виконання термоелектричного перетворювача зображено на рис. 3.32.

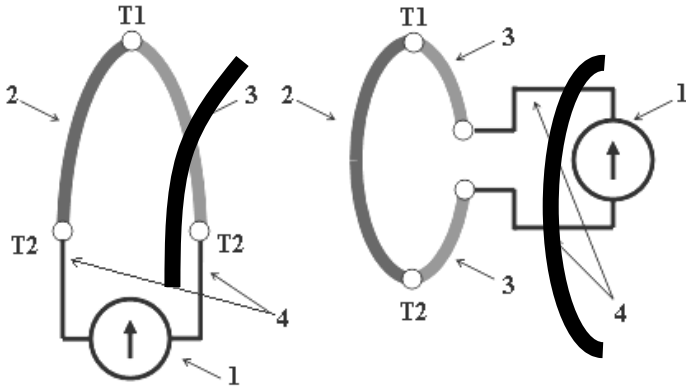


Рисунок 3.31 – Схеми підключення термопар: 1 – вимірювальний прилад, 2,3– термоелектрони, 4 – з'єднувальні дроти; T_1 і T_2 – температури «гарячого» і «холодного» спайів

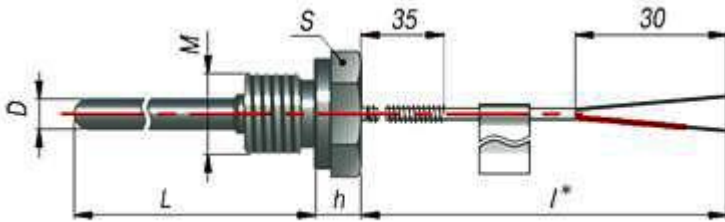


Рисунок 3.32 – Конструктивне виконання термоелектричного перетворювача типу ДТПК 064

У складі автоматизованих систем термопари підключаються до спеціалізованих вторинних приладів: автоматичного потенціометра і магнітоелектричного пірометричного мілівольметра, до нормуючих перетворювачів, які перетворюють величину ТЕРС в уніфікований електричний сигнал, або безпосередньо до спеціалізованих модулів промислових контролерів.

Термоелектричні перетворювачі забезпечують можливість вимірювати високі значення температури, надійність, широкий діапазон вимірювань, високу точність, можливість передачі сигналу на відстань.

Але такі перетворювачі дуже чутливі до зміни температури навколишнього середовища, в зоні холодного спаю, що дуже впливає на точність вимірювання.

Термометр опору – прилад для вимірювання температури, на основі чутливого елемента, електричний опір (первинного вимірювального перетворювача) якого залежить від температури. Як чутливий елемент використовуються терморезистори з металевого чи напівпровідникового матеріалу. В останньому випадку їх називають термісторами. На схемах терморезистор умовно позначають як вказано на рис.3.33.

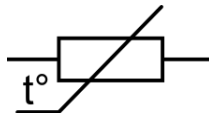


Рисунок 3.33 – Умовне графічне зображення терморезистора як чутливого елемента термометра опору

Принцип дії *термоперетворювачів* (термометрів опору) ґрунтується на зміні електричного опору провідників або напівпровідників під впливом температури й описується наступними рівняннями.

Для провідників:

$$R_t = R_0(1 + \alpha \cdot t) \text{ ,} \quad (3.63)$$

Для напівпровідників:

$$R_t = K \cdot e^{\frac{\beta}{t}} \text{ .} \quad (3.64)$$

де α і β – коефіцієнти питомого електричного опору провідників і напівпровідників;

K – константа.

За даною залежністю можливо, вимірюючи електричний опір провідників або напівпровідників, судити про температурні умови, в яких вони знаходяться. Даний спосіб вимірювання

температури є непрямим методом.

Найбільше використовують у промисловості *металеві термометри опору*.

При виборі з великої кількості відомих металів та матеріалів, придатних для виготовлення термометрів опору, керуються такими вимогами.

Матеріали повинні характеризуватись:

- лінійною або близькою до неї залежністю $R_t = f(t)$;
- інертністю до середовища, в якому виконується вимірювання;
- добрим відтворенням властивостей.

Найповніше цим вимогам відповідає платина та мідь. Конструктивно термометри опору являють собою відповідно мідний (діаметром 0,1 мм) або платиновий (діаметром 0,07 мм) дріт (рис.3.34), намотаний на осердя або пластину з ізоляційного матеріалу й поміщений у захисну арматуру.

Для відображення та реєстрації значень температури термометри опору працюють у комплекті зі зрівноваженими і невідновженими мостами, логометрами та цифровими приладами. Термометри опору можуть вже мати у своєму складі нормуючий перетворювач, який перетворює величину опору на уніфікований електричний сигнал. У цьому випадку вони можуть бути підключені до цифрових показувальних і управляючих пристроїв різного призначення (цифрові індикатори, мікропроцесорні регулятори та ін). Термометри опору можуть також під'єднуватись безпосередньо до спеціалізованих модулів промислових контролерів.

Наряду з практичністю у таких термометрів є значні недоліки: зміни температури навколишнього середовища на опір лінії зв'язку, які спотворюють значення вимірювального сигналу.

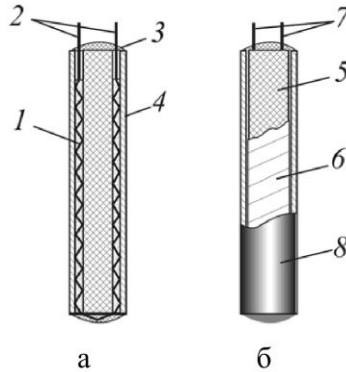


Рисунок 3.34 – Конструкція платинового (а) і мідного (б) чутливого елементів: 1 – платинова спіраль; 2, 7 – виводи; 3 – термоцемент; 4 – металевий корпус; 5 – мідний дріт; 6 – фторопластова плівка; 8 – металева гільза

Пірометри – це засіб вимірювання температури, в основу роботи якого покладено вимірювання потужності теплового випромінювання об'єкта переважно в діапазонах інфрачервоного спектра і видимого світла. Перевагою пірометрів є безконтактність вимірювання. Але на результати вимірювання впливають багато факторів, які стримують використання пірометрів. Пірометри використовуються для вимірювання великих значень температури і в тих випадках, якщо неможливо використовувати контактних методів вимірювання температури.

Широке впровадження в автоматизацію отримали пірометри, дія яких ґрунтується на залежності енергетичної яскравості нагрітого тіла від температури: пірометри повного випромінювання, квазімонохроматичні пірометри, пірометри спектрального відношення та ін.

Вимірювання кількості та витрати рідин, газів, сипучих речовин у виробництві радіоелектронних приладів має важливе значення як для контролю технологічних режимів, так і для управління технологічними процесами.

Витрата речовини – це миттєве значення маси або об'єму речовини, які протікають через поперечний переріз транспорт-

ного каналу за одиницю часу. Під транспортним каналом розуміють не тільки трубопровід (для рідин і газів), а й стрічку транспортера, шнек або відкритий канал гідротранспортера, який переміщує речовину.

Кількість речовини – це сумарна маса або об’єм речовини, які пройшли через поперечний переріз транспортного каналу за визначений проміжок часу (за хвилини, години, доби тощо). Кількість речовини виражають в одиницях об’єму (m^3) або маси (кг).

Для вимірювання цих величин застосовуються витратоміри і лічильники.

Витратомір – це засіб для вимірювання витрати. Конструктивно витратомір може включати комплекс технічних пристроїв, які об’єднані в єдине ціле з чутливим елементом первинного вимірювального перетворювача, який безпосередньо сприймає зміни витрати речовини. При цьому можуть використовуватись як контактні, так і безконтактні методи вимірювання.

Серед досить великої різноманітності витратомірів за принципом дії можливо виділити наступні основні групи:

- датчики швидкості потоку змінного перепаду тиску;
- теплові витратоміри;
- ультразвукові витратоміри;
- електромагнітні витратоміри;
- мікрорасходоміри;
- витратоміри Кориоліса;
- витратоміри з мішенями;
- детектори зміни швидкості потоку.

Принцип дії *витратомірів змінного перепаду тиску* ґрунтується на залежності перепаду тисків, яке створюється яким-небудь звужувальним пристроєм, установленим у трубопроводі на шляху руху речовини, від її витрати в результаті часткового переходу потенціальної енергії потоку в кінетичну.

Принцип дії пояснюється законом збереження енергії, згідно з яким повна енергія речовини, яка протікає по трубопроводу, являє собою суму потенціальної (статичний напір) і кінетич-

ної (швидкісний напір) енергії і є величиною постійною в будь-якій точці трубопроводу.

Якщо в трубопроводі, по якому протікає рідина або газ, змінюється переріз, то, відповідно до рівняння Бернуллі, відбувається перерозподіл між потенційною і кінетичною енергією за умови збереження їх постійної суми:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} = \frac{P_3}{\rho} + \frac{V_3^2}{2} = \frac{P_4}{\rho} + \frac{V_4^2}{2}. \quad (3.65)$$

Це пояснюється тим, що, відповідно до принципу нерозривності струменя, у повністю заповненому трубопроводі, витрата речовини в будь-якому перерізі трубопроводу є величиною постійною. Тобто

$$Q_o = V \cdot F = const, \quad (3.66)$$

де V – швидкість речовини в даному перерізі;

F – площа перерізу.

Тому, якщо змінюється площа перерізу трубопроводу F , то в цьому місці трубопроводу повинна змінитися швидкість речовини і як наслідок цього зміниться кінетична енергія. Це, згідно із законом збереження енергії, призведе до зміни потенційної складової, тобто статичного тиску.

Таким чином, якщо в трубопроводі, по якому протікає рідина або газ, установити звужувальний пристрій, наприклад, діафрагму, яка являє собою тонкий металевий диск із центральним отвором круглого перерізу, то в цьому місці створиться місце звуження потоку. Це призведе до збільшення швидкості потоку в цьому місці. Відповідно зміниться і тиск.

Для розуміння принципу функціонування даного типу витратомірів найпростіше вдатися до аналогії з законом Ома. В рамках цієї аналогії тиск еквівалентно напрузі, а швидкість потоку еквівалентна силі струму. Якщо на шляху проходження потоку встановити перешкоду (опір), виникне перепад тиску до і після перешкоди (падіння напруги на опорі). Визначення перепаду тиску можливо здійснювати як безпосередньо вимірюючи

тиск рідини до і після проходження перешкоди, так і за допомогою диференціального датчика тиску, встановленого на відгалуженні від основного каналу.

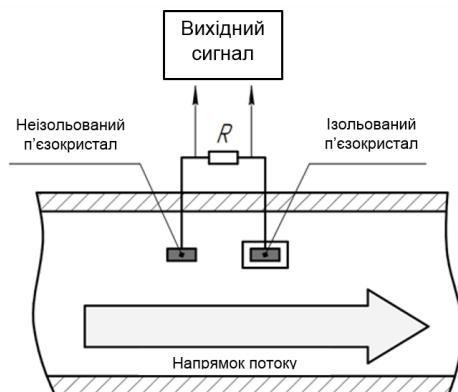


Рисунок 3.35 – Схема витратоміру змінного перепаду

Робота *теплового витратоміра* ґрунтується на такому принципі. В основі методу лежить досить проста ідея: якщо локально змінювати властивості речовини в потоці (наприклад, температуру) і реєструвати ці зміни на деякому віддаленні від місця впливу, можливо визначити середню швидкість переміщення речовини в потоці (рис. 3.36).

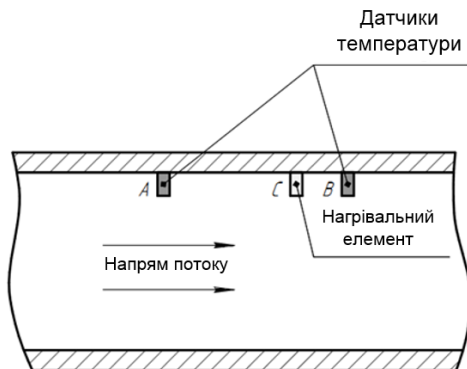


Рисунок 3.36 – Схема теплового витратоміру

Припустимо, в потоці встановлена пара датчиків температури (А і В) і один нагрівальний елемент С, причому відстані $AC > BC$. Якщо речовина нерухома, підвищення температури відбувається локально за рахунок теплопровідності, і датчик В нагрівається швидше, оскільки розташований ближче до нагрівального елемента. Якщо ж потік прийде в рух, температура в області А впаде до вихідної температури речовини в потоці, а температура в області В буде трохи вище початкової. Аналіз даних з датчиків дозволяє однозначно судити про швидкість переміщення речовини в потоці.

В *ультразвукових витратомірах* використовується властивість звукових хвиль змінювати швидкість свого поширення в рухомому середовищі. Якщо встановити джерело (А) і приймач (В) ультразвуку зі зміщенням (рис. 3.37), то про швидкість потоку можливо судити по зміні швидкості поширення звукової хвилі вздовж відрізка АВ.

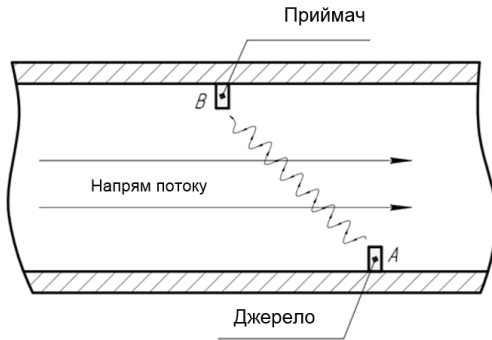


Рисунок 3.37 – Схема ультразвукового витратоміру

Принцип дії *електромагнітного витратоміра* (рис. 3.38) ґрунтується на явищі електромагнітної індукції і полягає у вимірюванні електрорушійної сили (ЕРС) яка наводиться в «рідинному» провіднику, який переміщується в магнітному полі.

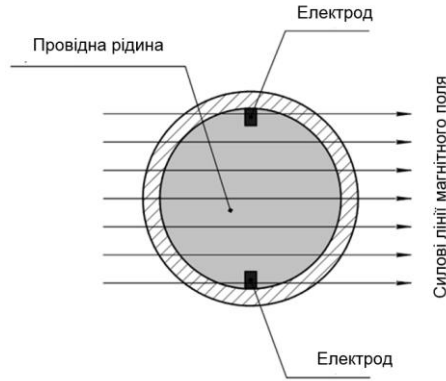


Рисунок 3.38 – Схема електромагнітного витратоміру

Електромагнітний витратомір використовується для вимірювання об'ємної витрати електропровідних рідин, розчинів і пульп.

Роль провідника, який рухається в магнітному полі відіграє електропровідна рідина, яка протікає через електромагнітний перетворювач витрати. Різниця потенціалів U , яка виникає на електродах, визначається електромагнітною індукцією B , середньою швидкістю перетинання провідником магнітного поля, тобто швидкістю руху рідини $V_{\text{серед}}$, і довжиною провідника, тобто розміром внутрішнього діаметру трубопроводу D_y :

$$U = B \cdot V_{\text{серед}} \cdot D_y \quad (3.67)$$

Враховуючи, що об'ємну витрату можливо записати як

$$Q_o = V_{\text{серед}} \cdot \pi \frac{D_y^2}{4}, \text{ отримаємо:}$$

$$Q_o = \left(\pi \frac{D_y}{4B}\right) \cdot U, \text{ або } Q_o = k \cdot U \quad (3.68)$$

Головною перевагою електромагнітних витратомірів є їх висока точність і широкий діапазон вимірювання витрати – від 0,032 до 25000 м³/год з можливістю встановлення на трубопро-

водах діаметром від 3 до 1000 мм.

Витратоміри Кориоліса (рис. 3.39) використовують для вимірювання масової витрати речовин з використанням ефекту Кориоліса, який пояснюється появою сил інерції під час руху тіла в напрямку під кутом до осі обертання. Кориолісовий масовий витратомір вимірює масову витрату робочого середовища, яке виникає в момент проходження через U-подібну вимірювальну трубку, яка вібрує.

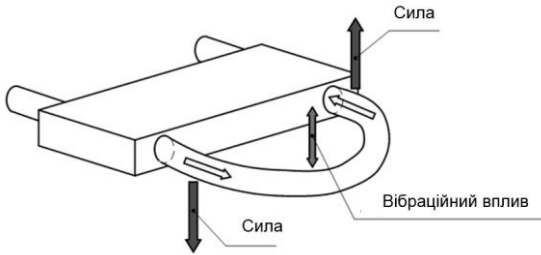


Рисунок 3.39 – Схема витратоміру Кориоліса

У витратомірах з мішенями (віхрових) основним елементом є дископодібна або куляста мішень, укріплена на гнучкому тросі, один протилежний кінець якого нерухомо закріплений (рис. 3.40). Потік рідини або газу призводить до зміщення мішені, що викликає деформацію троса, а встановлені на ньому тензодатчики реєструють тип і ступінь деформації. Отримані дані дозволяють судити про швидкість потоку речовини, а також про його направлення.

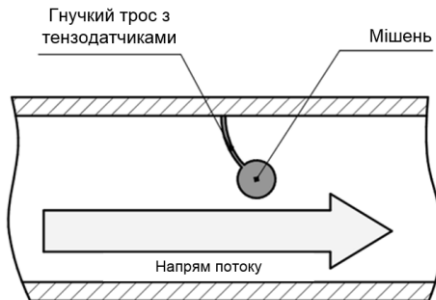


Рисунок 3.40 – Схема витратоміру з мішенню

Лічильник – засіб вимірювання, який призначений для вимірювання кількості і який безпосередньо контактує з вимірювальним середовищем.

Якщо технічний засіб для вимірювання витрати створює інформаційний сигнал, пропорційний інтегралу, зазвичай за часом, від вхідного сигналу, то його називають інтегратором.

У деяких випадках лічильник вбудовується у витратомір і конструктивно з ним пов'язаний.

За принципом дії розрізняють:

- швидкісні лічильники;
- об'ємні лічильники.

Принцип дії *швидкісних лічильників* ґрунтується на залежності швидкості обертання робочого органу від середньої швидкості потоку речовини, що рухається, а значить, і кількості речовини, що протікає за певний проміжок часу.

Принцип дії *об'ємних лічильників* ґрунтується на періодичному або безперервному відліку постійних об'ємних порцій рідкої, газоподібної або сипкої речовини, що проходить через прилад та підсумовуванні результатів вимірювання.

При управлінні промисловістю радіоелектронного приладобудування для стабілізації матеріальних потоків використовують різні дозувальні прилади, які вимірюють і видають задану кількість речовини. Залежно від роду дозованих речовин розрізняють дозатори рідин, сипучих матеріалів та газів.

Для обліку штучної продукції або продукції, яка міститься в стандартній тарі або упаковці, розроблені і використовуються різні системи обліку. З них найбільшу цікавість становлять системи, в основі яких лежать безконтактні методи контролю, такі як електроіндуктивні, фотоелектричні та радіоактивні.

Датчики рівня – це пристрої, що дозволяють відслідковувати кількість рідкого або сипучої речовини за рівнем його поверхні в деякій ємності. Датчики рівня можуть видавати дискретний (після досягнення деякого рівня) або безперервний сигнал (абсолютна висота поточного рівня) в залежності від принципу дії, що позначається на їх технічній складності, а також на ціні.

Крім того, датчики рівня можуть бути контактними і безконтактними, що також позначається на вартості і на області їх застосування.

За принципом дії датчики рівня можуть бути поплавковими, ємнісними, радарного типу, ультразвуковими та гідростатичними.

Принцип дії *поплавкових рівнемірів* ґрунтується на законі Архімеда: на занурене в рідину тіло діє виштовхувальна сила, яка чисельно дорівнює вазі рідини, витісненої зануреної в неї тілом, і прикладена до центру мас об'єму зануреної частини тіла.

У реалізації *дискретного поплавкового датчика рівня* (рис. 3.41), що видає дискретний сигнал, зазвичай використовується набір поплавків, розташованих на різних рівнях резервуара.

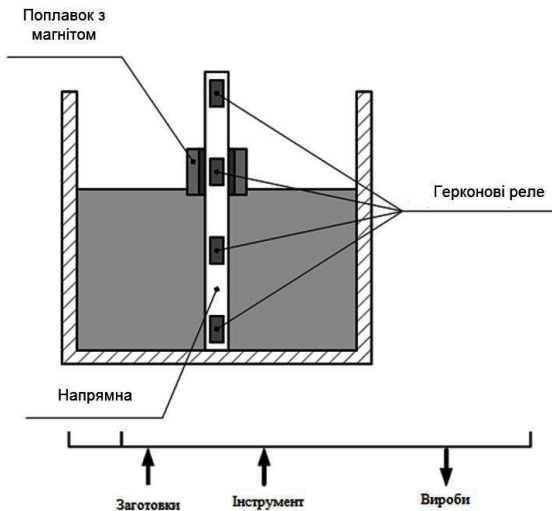


Рисунок 3.41 – Загальна схема поплавкового датчика рівня з дискретним виходом

При досягненні рідиною рівня, на якому розташовується поплавок, він виштовхується за рахунок сили Архімеда, спрямованої вгору. Це призводить в рух механічну систему або електромеханічну систему, і вихідний сигнал з'являється, наприклад,

при замиканні електричних контактів герконового реле.

Ємнісні вимірювачі рівня використовуються для вимірювання рівня рідин та сипких матеріалів. Принцип їх дії ґрунтується на перетворенні величин рівня на електричну ємність датчика – штучно створеного електричного конденсатора (рис. 3.42).

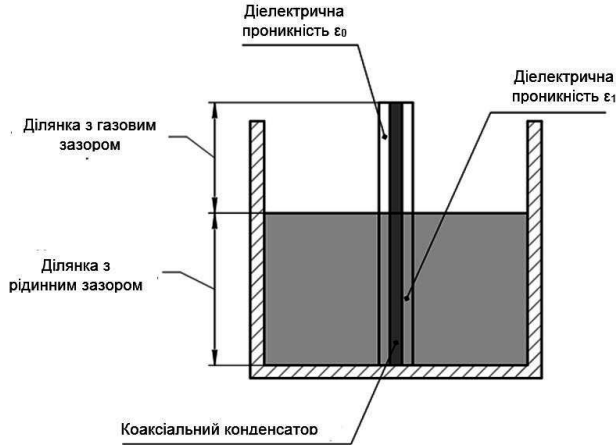


Рисунок 3.42 – Загальна схема ємнісного датчика рівня

Принцип дії *ультразвукового рівнеміра* ґрунтується на залежності часу проходження ультразвукових коливань (40... 70 кГц) від межі розділу двох середовищ з різною густиною або діалектичною проникністю.

При розщенні датчика на дні резервуару рівень рідини визначається за часовим проміжком часу $\Delta\tau$, виходячи із співвідношення висоти стовпа рідини і швидкості розповсюдження звуку в середовищі c :

$$\Delta\tau = \frac{2h}{c}, \quad (3.69)$$

де $\Delta\tau$ – проміжок часу, який визначається різницею фаз переданого і відбитого сигналів.

При знаходженні випромінювача над поверхнею розділу фаз на висоті H інтервал часу визначається як:

$$\Delta\tau = \frac{2(H - h)}{c}. \quad (3.70)$$

Чим більший діапазон вимірювання, тим більша потужність випромінювача й тим нижча частота випромінювання.

На точність ультразвукового рівнеміра впливає ряд факторів середовища, серед яких: ступінь поглинання коливань у рідині або твердому середовищі, густина, температура, наявність пилу, диму та ін.

Принцип дії *радарних рівнемірів* подібний до ультразвукових, але в них використовують мікрохвильові імпульси високої частоти (від 6 до 26 ГГц), які поступають через штиркову, рупорну, або хвильову антену у вимірюване середовище. Діапазон вимірювання до 20 м і більше, похибка до $\pm 0,15\%$.

На показання рівнеміра не впливають склад, температура і тиск рідини, а в окремих випадках і діелектрична проникність матеріалу. Діапазон вимірювання залежить від частоти коливань, розмірів антени, стану поверхні і діалектичної постійної середовища (ε). Чим вище ε , тим більша величина відбитого імпульсу. Оскільки при високій частоті швидкість розповсюдження електромагнітних коливань у різних газах у повітрі відрізняється мало, то точність вимірювання рівня радарним рівнеміром не залежить від вмісту пари або диму. Крім того, внаслідок малої довжини хвилі радарні рівнеміри характеризуються більш високою роздільною здатністю вимірювання, а рівнеміри з рупорною антенною – малими габаритами. При порівнянні радарних рівнемірів з частотою випромінювання 6 і 24 ГГц необхідно враховувати, що низькочастотні радари мають великі габарити, але менш чутливі до наявності на поверхні піни або хвиль, а також наявності конденсату на антені.

За аналогією з ультразвуковими рівнемірами, існують також контактні радарні рівнеміри з частотою 0,2... 1,5 ГГц, у яких випромінювач закріплюється на кінці троса, завдяки чому

можливо вимірювати рівень незалежно від стану поверхні.

Головним елементом даного датчика є радіолокатор, частота випромінювання якого змінюється за лінійним законом. Передбачається, що рідина відображає випромінювання локатора, тому якщо розташувати випромінювач-приймач всередині резервуара згідно зі схемою (рис.3.43) і фіксувати затримку відбитого сигналу щодо сигналу джерела – можливо визначити рівень рідини за величиною затримки.

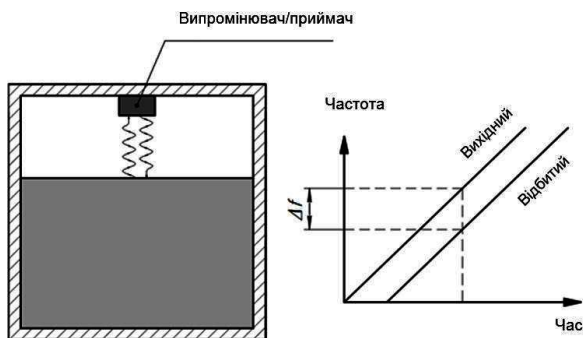


Рисунок 3.43 – Загальна схема вібраційних сигналізаторів рівня

Для визначення затримки використовується лінійна модуляція частоти джерела. Якщо частота вихідного сигналу змінюється за лінійним законом (наприклад, безперервно зростає), то відбитий сигнал, що має часове зрушення щодо вихідного, матиме також і меншу частоту. За величиною частотного зсуву можливо однозначно судити про величину тимчасової затримки між двома сигналами, а значить і про відстань до поверхні рідини.

Подальша обробка отриманого сигналу здійснюється в цифровому тракті, і на цьому етапі можлива, наприклад, нейтралізація шумових сигналів, що виникають в результаті заворушень на поверхні рідини або поглинання радіовипромінювання.

Також в окремих випадках на виробництвах радіоелектронного приладобудування застосовуються засоби вимірювання,

що призначені для визначення властивостей та складу рідин та газів. До них відносять прилади для вимірювання густини, вологості, рівню рН, концентрації деяких сумішей, каламутності, в'язкості та аналізу газів. Прилади для вимірювання густини – *густиноміри*, поділяються за принципом дії на поплавкові, гідростатичні, вагові, акустичні, ультразвукові, радіоізотопні тощо.

Вологоміри використовуються для вимірювання абсолютної або відносної вологості. Абсолютна вологість газу (г/м, кг/м) дорівнює масі водяної пари, яка міститься в одиниці об'єму парової суміші. Відносна вологість газу (%) – це відношення фактичної абсолютної вологості до максимально можливої вологості заданої температури. Прилади для вимірювання вологості називаються вологомірами і поділяються на дві великі групи: вологоміри газів та вологоміри твердих і сипких матеріалів. Вологоміри газів, у свою чергу, за принципом дії розподіляються на психрометричні, конденсаційні, сорбційні, електрометричні, кулонометричні, ємнісні та ін.

Вологоміри твердих і сипких матеріалів поділяються на вагові, кондуктометричні, ємнісні, нейтронні, радіоізотопні, ядерно-магнетичного резонансу, адсорбційні та ін.

Одним з найпоширеніших вологомірів відносної вологості газів і повітря є *психрометр*. Принцип дії психрометрів ґрунтується на залежності швидкості випаровування вологи від вологості навколишнього середовища, або психрометричного ефекту. Вимірювання цього ефекту здійснюється двома термометрами. Один із них («мокрый») розміщується в постійно змочуваному чохла. Його температура залежить від інтенсивності випаровування вологи з поверхні чохла, тобто від вологості і температури вимірюваного середовища. Чим менша вологість середовища, тим інтенсивнішим буде випаровування вологи з чохла «мокрого» термометра і тим меншим будуть його показання. За різницею температур між «сухим» і «мокрим» термометрами, яку називають психрометричною, з урахуванням температури «сухого» термометра можливо визначити величину відносної вологості.

Принцип дії *гігрометрів* ґрунтується на методі вимірювання точки роси, тобто на визначенні температури, до якої необхідно охолодити ненасичений газ, щоб він став насиченим.

Останнім часом широкої популярності набули ємнісні й резистивні датчики вологості.

У найпростішому випадку *ємнісні вологоміри* – це просто звичайні конденсатори з повітряним зазором. Діелектрична проникність повітря залежить від вологості, і її зміна приводить до зміни ємності. У складнішому випадку повітряний зазор може бути замінений діелектриком, діелектрична проникність якого сильно змінюється під дією вологості. Такий підхід дає змогу поліпшити якість датчика. Крім того, цей підхід можливо використати для вимірювання вмісту води в твердих речовинах. Між обкладками конденсатора розміщується вимірюваний об'єкт, наприклад пігулка. Конденсатор підключається до коливального контуру (паралельно з'єднані катушка та конденсатор, які живляться змінним струмом) генератора, і лічильник вимірює частоту контура. За цією частотою можливо оцінювати значення вологості. Цей метод має деякі недоліки – при вологості нижчій за 0,5% він неточний і також потребує очищення зразка від часток з високою діелектричною проникністю.

У ємнісних вологомірах може використовуватись тонкоплівковий датчик. Він складається з підкладки, на яку нанесено два електроди що мають гребінчасту форму (рис. 3.44). Ці два електроди й відіграють роль обкладок конденсатора. Для додаткової термокомпенсації у вологомір такого типу вводять два датчики температури.

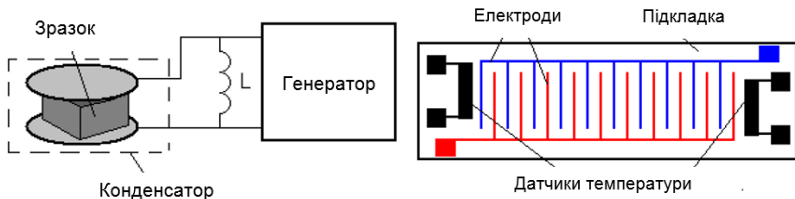


Рисунок 3.44 – Схема ємнісного вологоміра

Резистивний датчик вологості також складається з двох електродів, нанесених на підкладку, а зверху цих електродів наноситься шар матеріалу з досить низьким опором, але цей опір дуже сильно залежить від вологості. Таким матеріалом може бути оксид алюмінію тому як добре поглинає воду з навколишнього середовища, у наслідок чого змінюється його питомий опір. У результаті загальний опір цього датчика залежатиме від вологості, а за величиною струму, що протікає датчиком, судять про рівень вологості. Головна перевага цих датчиків – їх мала вартість.

Принцип дії *вагового вологоміра* полягає в зважуванні проби до і після висушування до постійної маси. Метод дуже точний, але потребує значного часу та не придатний для застосування в системах автоматизації.

Особливу групу вимірювальних приладів складають датчики визначення складу та властивостей речовин.

Так, наприклад, за допомогою *кондуктометричних аналізаторів* вимірюють концентрації електролітів солей, лугів та кислот у загальній суміші за електропровідністю. Тому їх доцільно застосовувати під час аналізу однокомпонентних розчинів. За наявності інших дисоційованих елементів результати вимірювань будуть хибними.

Водні розчини електролітів являють собою провідники другого роду, в яких електричні заряди переносяться іонами розчину. Електропровідність речовини σ є обернена величина електричного опору:

$$\sigma = \frac{1}{R}. \quad (3.71)$$

За одиницю електропровідності прийнято Сіменс як обернену величину електричного опору ($1 \text{ См} = 1/\text{Ом}$).

Електропровідність розчинів залежить від концентрації розчиненої речовини, розчинника, хімічної природи речовини, її дисоціації, температури та інших чинників.

Для вимірювання питомої електропровідності розчину

використовуються двоелектродні вимірювальні комірки, що характеризуються своєю постійною кондуктометричною сталою.

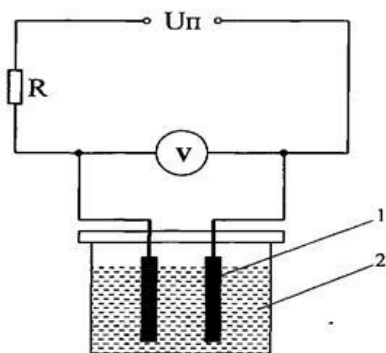


Рисунок 3.45 – Двоелектродна вимірювальна комірка

Для вимірювання електропровідності використовується змінний струм з метою позбавлення поляризації електродів і пов'язаної з нею похибки вимірювання.

Під час проходження крізь електроди постійного струму змінюються їх потенціали, а сам процес називається поляризацією. Для зниження поляризації та пов'язаних із нею похибок вимірювань використовуються одночасно різні методи: застосування змінного струму, використання електродів з розвиненою поверхнею з хімічностійких матеріалів (платина, графіт), зниження сили струму та підвищення частоти струму від 50 до 3000 Гц і вище. Для вимірювання електропровідності використовуються мостові схеми змінного струму.

Суть *рефрактометричного методу* визначення концентрації розчинів полягає у вимірюванні величини показника заломлення світла при переході його з одного середовища в інше, яке відрізняється оптичною густиною.

Показник заломлення розчинів однакової природи залежить від концентрації, причому при малих значеннях ця залежність прямо пропорційна. Отже, концентрацію розчину можливо визначити за показником заломлення, використовуючи *рефрактометр*.

Автоматичні газоаналізатори призначені для неперервного автоматичного вимірювання об'ємного відсоткового вмісту визначуваного компонента в газовій суміші.

За принципом дії газоаналізатори поділяються на хімічні, теплові, оптичні, електрохімічні, магнітні, звукові, іонізаційні. За функціональним призначенням – на лабораторні та промислові. За режимом роботи – на періодичні й безперервні.

У *хімічних газоаналізаторах* одна частина суміші поглинається будь-якою речовиною, що утворює хімічну сполуку з аналізованим компонентом. Вміст визначуваного компонента знаходять за різницею об'ємів аналізованої суміші до і після поглинання.

До *теплових газоаналізаторів* належать термокондуктометричні та термохімічні прилади, що забезпечують безперервність контролю, точність, надійність за мінімальної кількості газу для аналізу.

Принцип дії *термокондуктометричного газоаналізатора* ґрунтується на різних теплопровідностях компонентів газової суміші, яка визначається електричним шляхом.

Магнітні газоаналізатори широко використовуються для вимірювання вмісту кисню в різних газових сумішах. Принцип дії магнітних газоаналізаторів ґрунтується на парамагнітних властивостях кисню, який під дією зовнішнього магнітного поля проявляє власні магнітні властивості.

До окремого виду технічних засобів контролю сучасних автоматизованих виробництв радіоелектронного приладобудування можливо віднести *безконтактні датчики положення*.

Безконтактні датчики положення (датчики наближення, безконтактні перемикачі, кінцеві вимикачі) – це готові рішення у сфері сенсорів для промислової автоматизації і автоматизації технологічних процесів практично в будь-яких галузях виробничої діяльності. Відстань до об'єкта та його матеріалу, на які реагує датчик, залежить від різновиду датчика. Безконтактний спосіб розпізнавання об'єкта дає змогу істотно підвищити надійність роботи установок внаслідок відсутності рухомих деталей, що

зношуються.

Безконтактні датчики використовуються для виявлення положення об'єкта, підрахунку, позиціонування і сортування предметів на конвеєрах, контролю переміщення і швидкості, виявлення несправностей механізмів, визначення кута повороту, виміру перекосу та ін. Розрізняють оптичні, індуктивні, ємнісні й магніточутливі безконтактні датчики положення.

Оптичні датчики призначені для безконтактного визначення наявності (відсутності) об'єкта в контрольованому просторі з використанням світлочутливих елементів. Використовуються для автоматизації будь-яких промислових процесів, у робототехніці, системах контролю, оброблення і монтажу, упаковки продукції. Фотоелектричний датчик може бути використаний для виявлення об'єктів на відстані від 0 до декількох десятків (сотень) метрів. Реєстрація будь-яких об'єктів і велика дальність дії відрізняє фотодатчик від подібного типу пристроїв.

Оптичний датчик складається з джерела (випромінювача) і приймача оптичного випромінювання, які можуть міститися в одному корпусі (моноблочні датчики) або в різних корпусах (двоблокові датчики).

Джерело датчика створює оптичне випромінювання в заданому просторі, приймач реагує на відбитий від об'єкта світловий потік або на переривання його.

Розрізняють наступні типи оптичних датчиків:

- бар'єрні;
- ретрорефлекторні;
- дифузійні.

Випромінювач і приймач бар'єрного оптичного датчика розташовані в різних корпусах, і мають бути розміщені на одній осі (рис. 3.46).

Світловий потік випромінювача спрямований на приймач. Приймач спрацьовує при перериванні оптичного променя об'єктом контролю. Призначення цього датчика – виявлення непрозорих і дзеркальних об'єктів. Дальність дії для цього датчика досягає 150 м, а висока надійність і перешкодозахищеність роб-

лять можливою експлуатацію датчиків на відкритих просторах і в умовах забруднення. Випромінювач і приймач датчика мають різні позначення, і замовляються як окремі вироби.

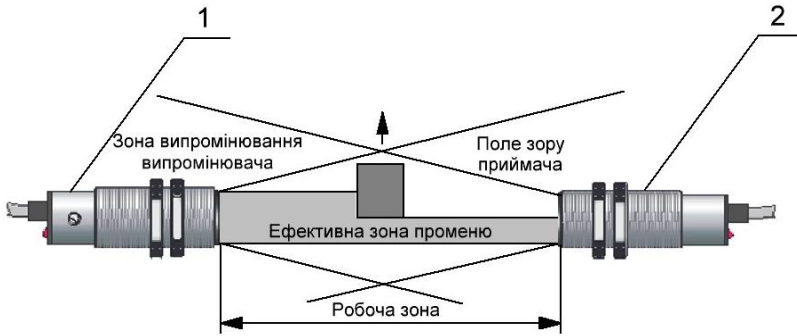


Рисунок 3.46 – Принцип роботи бар'єрного оптичного датчика:
1 – випромінювач; 2 – приймач

Випромінювач і приймач рефлекторного оптичного датчика розташовані в одному корпусі. Світло випромінювача відбивається від рефлектора (світловідбивача) і потрапляє в приймач (рис. 3.47). Датчик спрацьовує при перериванні світла об'єктом. Дальність дії датчиків такого типу досягає 8 метрів.

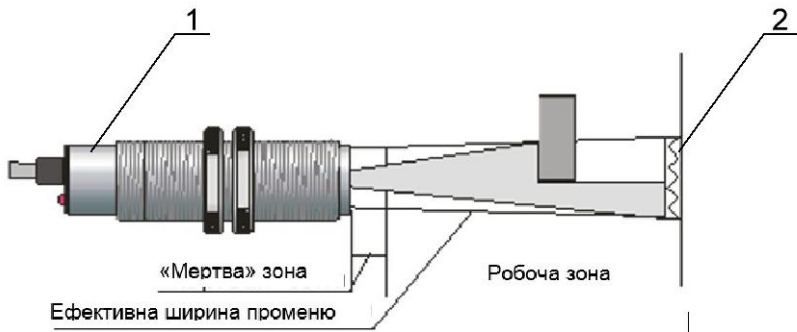


Рисунок 3.47 – Принцип роботи рефлекторного оптичного датчика:
1 – випромінювач та приймач, розташовані в одному корпусі;
2 – рефлектор

Випромінювач і приймач дифузійного оптичного датчика розміщені в одному корпусі. Приймач сприймає світло випромінювача, дифузно відбите від контрольованого об'єкта (рис. 3.48). Датчик спрацьовує за наявності контрольованого предмету в зоні дії датчика. Дальність дії датчика залежить від відбивних властивостей об'єкта. При використанні стандартної мішені дальність дії датчика досягає 2 метрів.

Індуктивні датчики положення використовуються як у системах автоматизації технологічних процесів, так і в системах безпеки й контролю. Спектр використання індуктивних безконтактних вимикачів широкий і включає практично всі галузі промисловості, де необхідна автоматизація процесів.

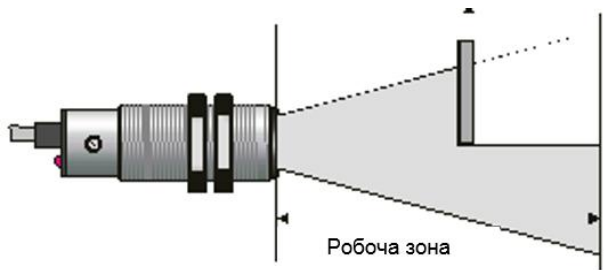


Рисунок 3.48 – Принцип роботи дифузійного оптичного датчика:

Вони реагують на металеві, магнітні, феромагнітні або аморфні матеріали потрібних розмірів. Ефект досягається за рахунок зміни амплітуди коливань генератора при потраплянні об'єкта в чутливу зону датчика.

До особливостей вживання індуктивних датчиків відносять:

- спрацьовування лише на метал і абсолютна нечутливість до інших матеріалів (наприклад, на відміну від ємнісних датчиків);
- можливість розпізнавання різних груп металів;
- довговічність завдяки відсутності механічної дії і зносу.

Ємнісні датчики виявляють як металеві, так і діелектричні об'єкти. Принцип дії датчика ґрунтується на зміні ємності

конденсатора, що виконує роль чутливого елемента, при внесенні до чутливої зони об'єктів. Ємнісні датчики використовуються в системах управління технологічними процесами в багатьох галузях промисловості. Датчики застосовують для виявлення, підрахунку і позиціонування металевих та неметалевих об'єктів, а також для контролю рівня рідини і сипких речовин у резервуарах.

Принцип дії ємнісних датчиків базується на тому, що між довкіллям і датчиком існує електростатичне поле, при зміні ємності в даному полі (при потраплянні в поле будь-якого об'єкта) спрацьовує датчик. Датчик має чутливу поверхню, утворену двома електродами конденсатора, включеного в ланцюг зворотного зв'язку високочастотного генератора. Наближення об'єкта з металу або діелектрика до чутливої поверхні змінює ємність між електродами конденсатора і викликає зміну амплітуди коливань генератора. При досягненні амплітудою генератора граничного значення схема управління формує вихідний сигнал електронного ключа датчика, який використовується для комутації електричних ланок і сигналізації.

Датчик налаштований на номінальний зазор при спрацьовуванні від металевої пластини. При використанні об'єкта дії з діелектричних матеріалів робочий зазор зміниться і залежатиме від діелектричної проникності матеріалу об'єкта.

Порівняно з індуктивними датчиками ємнісні безконтактні датчики положення мають такі переваги:

- реагують на електропровідні і неелектропровідні матеріали в твердому, порошкоподібному або рідкому стані: скло, кераміку, пластмасу, деревину, папір, картон, масло, воду, хімічні речовини;
- працюють через неметалеві матеріали (наприклад, пластмасу або скло) при контролі рівня наповнення резервуару.

3.7 Мікропроцесорні засоби автоматизації

Бурхливий розвиток мікропроцесорної техніки обумовило її широке використання в сучасних технічних засобах автоматизації на всіх рівнях управління виробництва. Практично це стосується всіх видів технічних засобів, які використовуються в системах автоматичного контролю і управління: датчики, мікропроцесорні регулятори, функціональні блоки, перетворювачі, блоки ручного управління, показуючі і реєструючі прилади та виконавчі механізми. Це надає цим технічним засобам нові функціональні можливості.

Мікропроцесор (МП) – це програмно керуваний пристрій, який призначений для оброблення цифрової інформації та керування процесом цього оброблення, реалізований на одній або кількох великих інтегральних схемах.

Основними вузлами МП (рис. 3.49) є пристрій керування (ПК), реєстр команд (РК), дешифратор команд (ДШК), арифметико-логічний пристрій (АЛП), реєстр прапорців (РП), набір внутрішніх реєстрів, поділюваних на адресні реєстри (РА) і реєстри даних (РД), програмний лічильник (ПЛ), пристрій управління шинами (ПУШ).

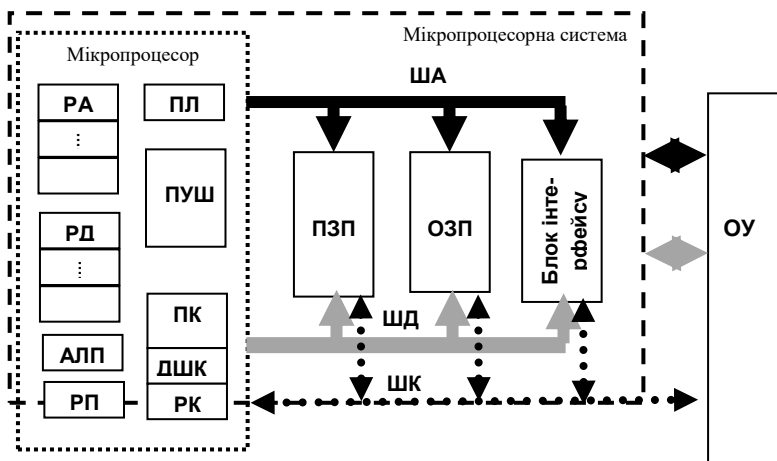


Рисунок 3.49 – Структура мікропроцесорної системи

Координація роботи всіх вузлів відповідно до виконуваної командою здійснюється трьома вузлами: ПК, РК і ДШК. РК забезпечує зберігання команди протягом усього циклу її виконання, а ДШК виконує розшифровку коду цієї команди. ПК виробляє серію імпульсів, що забезпечують послідовне і злагоджене спрацьовування вузлів МП відповідно до виконуваної командою. Для вироблення керуючих імпульсів на вхід УУ надходять імпульси синхронізації від зовнішнього генератора. Такий генератор може бути також вбудований в ПК. Крім управління внутрішніми вузлами, ПК забезпечує прийом і видачу зовнішніх керуючих сигналів.

АЛП забезпечує виконання всіх операцій, за допомогою яких здійснюється обробка інформації в МП. Воно може виконувати нескладні арифметичні, логічні і зсувні операції. Кількість операндів, тобто двійкових чисел, над якими виконуються дії в АЛП, може коливатися від одного до двох. Наприклад, при інвертуванні (логічне НІ) АЛП досить одного операнда, а для операції додавання двох чисел необхідно два операнда. Перелік операцій, що виконуються АЛП, залежить від типу МП. Для більшості МП в АЛП виконуються наступні операції: додавання, віднімання, логічні І, АБО, НІ, що виключає АБО (сума по модулю 2), зрушення вправо, зрушення вліво, складання з одиницею (інкремент), віднімання одиниці (декремент). Складні арифметичні операції, такі як множення і ділення, АЛП не виконує. Залежно від результату операції АЛП формує ознаки результату, звані прапорцями.

Регістри – складова і дуже важлива частина МП. Кожен регістр МП можливо використовувати для тимчасового зберігання одного слова даних. Деякі регістри мають спеціальне призначення, інші – багатоцільове. Внутрішні РА і РД є внутрішньою пам'яттю МП. РА використовуються для тимчасового зберігання двійкових чисел, за допомогою яких МП обчислює адреси комірок пам'яті, до яких він звертається в процесі роботи. РД використовуються як для безпосереднього зберігання операндів, так і для обчислення адрес комірок ОЗП, що зберіга-

ють операнди. Через РД також здійснюється обмін інформацією між МП і об'єктом керування. Програмний лічильник служить для зберігання адреси комірки пам'яті, в якій зберігається чергова виконувана команда програми.

Виконуючи програму МП обробляє команду за командою, які зазвичай розташовуються в комірках пам'яті послідовно одна за одною. Команда задає виконувану операцію і містить відомості, де знаходяться операнди. Виконання команди можливо розбити на дві фази: фазу вибірки команди і фазу її виконання. Перша фаза починається з того, що МП виставляє на ША вміст ПЛ, який зберігає адресу комірки пам'яті з черговою командою. Вміст комірки виставляється на ШД, МП зчитує інформацію з ШД і поміщає команду в РК.

Друга фаза полягає у виконанні команди. При цьому спочатку МП повинен підготувати операнди. Операнди можуть зберігатися як в самому МП, так і в ОЗП. У першому випадку вони зберігаються в регістрах даних, і МП може переходити до безпосереднього виконання математичної або логічної операції відповідно за кодом команди. У другому випадку МП повинен спочатку обчислити адресу комірки ОЗП, яке береже операнд, потім виставити цю адресу на ША і вважати вміст зазначеної комірки ОЗП, і тільки потім виконати операцію. Рятувальна операція здійснюється в АЛУ, після чого результат повинен бути поміщений на місце першого операнда. Якщо це один з внутрішніх регістрів МП, результат відразу ж переписується в цей регістр, якщо це комірка ОЗП, потрібно ще один цикл звернення до пам'яті. Таким чином, час виконання команди залежить від кількості циклів звернення до пам'яті, і найкоротшими є ті команди, в яких операнди зберігаються безпосередньо в МП.

Під час виконання команди при кожному зверненні МП до пам'яті програм вміст ПЛ автоматично збільшується на одиницю. Команди можуть займати не тільки одну комірку пам'яті, а дві і навіть три, при цьому, щоб вважати всю команду, МП повинен кілька разів звернутися до пам'яті програм. У результаті в кінці виконання команди в ПЛ вже зберігається адреса

наступної, і МП готовий до виконання чергової команди. Звідси і назва цього регістра – «програмний лічильник».

Регістр ПЛ зберігає адресу наступної виконуваної команди тільки в разі природного порядку проходження команд програми – команда за командою. У разі розгалуження алгоритму залежно від виконання або невиконання заданої умови необхідно йти але однією з двох гілок програми. Такі розгалуження виконуються за допомогою команд умовного переходу. Для цього в команді умовного переходу задається умова, що перевіряється, і вказується адреса команди, що підлягає виконанню в разі виконання умови. При невиконанні умови зберігається природний порядок проходження команд, тобто виконується наступна по порядку команда. Так як адресація здійснюється через програмний лічильник, то при виконанні заданої умови в ПЛ завантажується адреса, вказану в команді, якщо ж умова не виконується, то адреса наступної команди виявляється вже сформованим в ПЛ. Перевірка тих чи інших умов в МП зазвичай полягає в аналізі ознак результату, які були сформовані під час виконання попередньої команди і збережені в регістрі прапорців.

У процесі роботи МП постійно звертається до ША і ШД. Передача інформації всередині МП здійснюється за внутрішніми шинам, які безпосередньо не пов'язані з зовнішніми шинами. Для передачі адрес і даних з МП в зовнішні шини, і прийому даних з ШД в МП необхідний буферний пристрій, яким служить ПУШ. У найпростішому випадку – це набір буферних регістрів, керованих ПК. Буферний регістр адреси приймає дані з внутрішньої шини і зберігає його протягом циклу звернення до пам'яті або зовнішніх пристроїв, при цьому адреса через вихідні каскади регістра виставляється на ША. Буферний регістр даних – двонаправлений і може як передавати дані з внутрішньої шини в зовнішню, так і приймати їх з зовнішньої ШД, і передавати у внутрішню. Ці регістри мають третій стан і переводяться в нього, коли МП з ША і ШД не працює. У більш складних МП до складу ПУШ, крім буферних, входить набір внутрішніх регістрів, деякі адресні регістри і комбінаційні схеми.

Мікропроцесор, незважаючи на його універсальність, самотійно нездатний реалізувати конкретне завдання оброблення інформації або керування об'єктом. Для виконання цих функцій необхідно його з'єднати з деякими пристроями, запрограмувати та забезпечити обмін інформації мікропроцесора з цими пристроями, тобто утворити мікропроцесорну систему.

Мікропроцесорна система (МПС) – це сукупність взаємопов'язаних пристроїв, що включають у себе один або кілька мікропроцесорів, оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП), постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП), пристрій введення-виведення (ПВВ) та ряд інших пристроїв, які призначені для виконання деяких чітко окреслених функцій з оброблення цифрової інформації і керування процесом цього оброблення.

У пам'яті МПС зберігається програма оброблення інформації та дані. Пристрій керування мікропроцесора постійно звертається до пам'яті й крок за кроком виконує команди, які записані в ній. Саме наявність пам'яті надає мікропроцесору універсальності, тому що апаратні засоби залишаються тими самими, а функції, виконувані МПС, залежать від заданої програми.

Якщо для виконання програми необхідні зовнішні дані, то за це відповідає *пристрій введення-виведення*, який забезпечує зв'язок МПС з зовнішніми чи периферійними пристроями.

Комплекс технічних засобів, який реалізує функцію пам'яті називають *запам'ятовуючим пристроєм* (ЗП). Основними операціями з пам'яттю є запис – занесення інформації до пам'яті й зчитування – вибирання інформації з пам'яті. Ці операції називають зверненням до пам'яті. До основних характеристик систем пам'яті належать такі: ємність пам'яті, розрядність вибірки, час звертання і споживна потужність.

Ємність пам'яті виражають порціями, які кратні 1024 словам, або байтам. Скорочено ємність такої порції позначають 1 кбайт. Розрядність вибірки визначається кількістю розрядів інформації, яка записується до ЗП чи береться з нього за одне звернення. За функціональним призначенням можливо виділити основні типи пам'яті: оперативна (ОЗП), постійна (ПЗП) та

зовнішня (ЗЗП).

Інформація, яка призначена для оброблення в МПС, може бути як цифрова, так і аналогова. Проте в обох випадках у МПС вона подається однаково – у вигляді *двійкових чисел*. Тому при створенні на базі МПС мікропроцесорної автоматичної системи (МПАС), призначеної для автоматичного збирання інформації про стан об'єкта керування, її оброблення та вироблення керуючої дії, до її складу необхідно включити пристрій зв'язку з об'єктом керування, завданням якого є автоматичне перетворення сигналів від датчиків, встановлених на об'єктах керування у форму, необхідну для вводу у МПС, а також перетворення керуючих сигналів, які виробляються МПС, у форму, яка може сприйматись виконавчими механізмами для керування регулюючими органами, безпосередньо встановленими на об'єкті управління.

Інформація як між окремими пристроями МПС, так і при обміні із зовнішніми (периферійними) пристроями передається по загальних інформаційних каналах – *шинах*.

Периферійні пристрої не мають безпосереднього контакту із системними шинами. Замість цього вони під'єднанні до спеціальних реєстрів, які використовуються для тимчасового зберігання бінарної інформації і називаються портами. Кожний порт має свою адресу (за аналогією з комірками пристроїв пам'яті), причому в кожний момент часу до шини даних може бути під'єднаний тільки один порт. Цим управляє спеціальний контролер введення-виведення.

У простих випадках зовнішні пристрої під'єднуються до МПС за допомогою портів. При інтенсивному обміні інформацією використовується більш складна система спряження, яка має назву інтерфейс. *Інтерфейс* – це комплекс апаратних та алгоритмічних засобів уніфікованого спряження компонентів мікропроцесорної системи.

Технічне та програмне забезпечення промислових мікропроцесорних контролерів оптимізовані для створення на їх базі систем керування обладнанням і технологічними процесами.

Поява промислових мікропроцесорних контролерів пов'язана насамперед з автоматизацією дискретних процесів і необхідністю заміни традиційних систем керування, які будувались на базі релейно-контактних або безконтактних логічних схем керування, що працювали за жорсткою логікою. *Програмований логічний контролер* – це спеціалізований мікропроцесорний пристрій, призначений для керування виробничими процесами в умовах промислового середовища в реальному масштабі часу.

Принцип роботи ПЛК дещо відрізняється від «звичайних» мікропроцесорних пристроїв. Програмне забезпечення універсальних контролерів у своєму складі має *системне програмне забезпечення* – це операційна система, яка управляє роботою вузлів контролера, взаємозв'язком складових частин, внутрішньої діагностикою (розташоване в постійній пам'яті центрального процесора).

Можливо виділити декілька *основних рис ПЛК*:

- наявність «технологічних» мов програмування, які максимально наближені до потреб кінцевого користувача і значно спростили програмування, налагодження та модифікацію прикладних програм. Нині існує міжнародний стандарт МЕК 61131, згідно з яким рекомендовано п'ять мов програмування ПЛК: релейно-контактних схем, списку інструкцій, структурованого тексту, функціональних блоків і структурованих функціональних схем;
- блочно-модульний принцип побудови ПЛК (крім моноблочних контролерів) дає можливість за рахунок використання різноманітних модулів входу-виходу оптимізувати технічну структуру ПЛК для керування конкретним об'єктом. Тобто конфігурація ПЛК (перелік модулів, які входять до складу контролера) залежить від конкретного об'єкта управління і алгоритму управління ним. Це не тільки зменшує витрати на впровадження систем автоматизації, а й підвищує ремонтпридатність ПЛК;
- призначення ПЛК для використання в промислових

умовах ставить досить жорсткі вимоги до надійності ПЛК та захищеності його від впливу різноманітних електромагнітних, вібраційних, кліматичних та інших перешкод. Це досягається за рахунок використання надійної елементної бази, стійких і надійних схемних рішень, спеціальних гальванічних розподільників, резервування, дублювання та інших заходів, а також високого технологічного рівня виробництва ПЛК;

- наявність широко розвинутої системи самодіагностики та тестування, за допомогою яких можливо швидко визначити несправність та усунути її. Це є дуже важливою функцією, оскільки ПЛК – досить складний технічний засіб і визначення причини відмови ПЛК потребує досить високої кваліфікації обслуговуючого персоналу. Тому в разі виникнення технічної несправності ПЛК система діагностики допомагає швидко визначити модуль, у якому виникла несправність. Цей модуль повинен бути швидко замінений технічним персоналом і роботоздатність системи управління буде поновлена. А несправний модуль повинен бути переданий на ремонт у сервісну службу виробника ПЛК;
- для забезпечення роботи ПЛК у складі розподіленої АСУТП передбачена можливість організації обміну інформацією між окремими ПЛК та передачі технологічної інформації в системи організаційно-економічного управління за рахунок широкого використання промислових мереж, польових шин та комп'ютерних мереж.

На рис. 3.50 показано узагальнену структуру програмованого логічного контролера. Центральною частиною ПЛК є мікропроцесорний пристрій (МП, CPU), який керує операціями збору і оброблення даних від зовнішніх пристроїв і вироблення керуючих дій відповідно до розробленої програми користувача.

Мікропроцесорні модулі сучасних контролерів являють собою, як правило, мультипроцесорну систему, в якій задачі, які повинен виконувати мікропроцесорний модуль, розподіляються

між окремими процесорами, робота яких взаємоузгоджена. Це викликано тим, що ПЛК повинен працювати в режимі реального часу, адекватно реагуючи на зміну стану об'єкта керування.

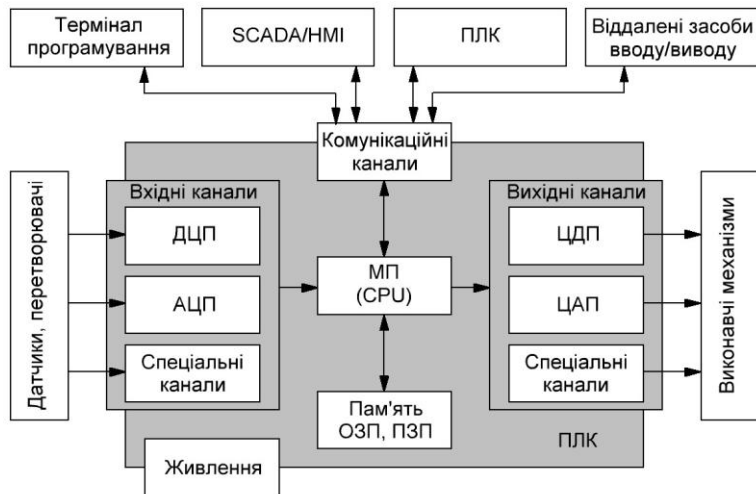


Рисунок 3.50 – Фізична структура промислового контролера

Частина ресурсів пам'яті контролера використовується для зберігання операційної системи, якою керується мікропроцесорний модуль, а також для зберігання системної інформації про оперативний стан апаратного і програмного забезпечення. Саме ця інформація використовується для функціонування системи самодіагностики і тестування контролера.

Друга частина ресурсів пам'яті використовується для зберігання розробленої програми користувача, яка й визначає виконання алгоритму керування об'єктом. Ємність пам'яті, яка використовується для зберігання програми користувача, визначає можливості даного ПЛК для створення прикладного програмного забезпечення.

Функціональні і технічні можливості мікропроцесорного модуля, і модулів пам'яті визначають одну з основних характеристик ПЛК – його швидкодію, яка, як правило, вимірюється в

швидкості оброблення 1 кілобайта (або кілослова) програми користувача або як час одноразового обслуговування всіх входів-виходів контролера, тобто робочого циклу ПЛК.

Основним показником ПЛК є кількість каналів вводу-виводу. За цією ознакою ПЛК діляться на наступні групи:

- нано-ПЛК (менше 16 каналів);
- мікро-ПЛК (більше 16, до 100 каналів);
- середні (понад 100, до 500 каналів);
- великі (понад 500 каналів).

За показником розташування модулів вводу-виводу ПЛК бувають:

- моноблоковими – в яких пристрій введення-виведення не може бути видалено з контролера або замінено на інше. Конструктивно контролер являє собою єдине ціле з пристроями введення-виведення. Моноблочний контролер може мати, наприклад, 16 каналів дискретного введення і 8 каналів релейного виводу;
- модульні – складаються із загальної кошика (шасі), в якій розташовуються модуль центрального процесора і змінні модулі введення-виведення. Склад модулів вибирається користувачем в залежності від розв'язуваної задачі. Типове кількість слотів для змінних модулів – від 8 до 32;
- розподілені (з віддаленими модулями вводу-виводу) – в яких модулі введення-виведення виконані в окремих корпусах, з'єднуються з модулем контролера по мережі (зазвичай на основі інтерфейсу RS-485) і можуть бути розташовані на відстані до 1,2 км від процесорного модуля.

У розподілених системах до промислової мережі ПЛК підключаються віддалені модулі вводу/виводу та інші засоби польового рівня, такі як:

- віддалені модулі вводу/виводу (модулі I/O);
- перетворювачі частоти (ПЧ), які призначені для управління частотою обертів асинхронного двигуна;
- сервоприводи;
- інтелектуальні контактори (магнітні пускачі);

- інтелектуальні датчики та виконавчі механізми.

Часто конструктивні типи контролерів комбінуються, наприклад, моноблочний контролер може мати кілька знімних плат; моноблочний і модульний контролери можуть бути доповнені віддаленими модулями вводу-виводу, щоб збільшити загальну кількість каналів.

Багато контролерів мають набір змінних процесорних плат різної продуктивності. Це дозволяє розширити коло потенційних користувачів системи без зміни її конструктиву.

За конструктивним виконанням і способом кріплення контролери діляться на:

- панельні (для монтажу на панель або дверцята шафи);
- для монтажу на DIN-рейку усередині шафи;
- для кріплення на стіні;
- стійку – для монтажу в стійці;
- безкорпусні (зазвичай одноплатні) для застосування в спеціалізованих конструктивах виробників обладнання.

Відповідно до галузі застосування контролери діляться на:

- універсальні загальнопромислові;
- для керування роботами;
- для управління позиціонуванням і переміщенням;
- комунікаційні;
- ПД-контролери;
- спеціалізовані.

За способом програмування контролери бувають:

- програмовані з лицьової панелі контролера;
- програмовані переносним програматором;
- програмовані за допомогою дисплея, миші і клавіатури;
- програмовані за допомогою персонального комп'ютера.

ПЛК будується за блоково-модульним принципом (крім моноблочних контролерів) і сам ПЛК є проектно-компонованим виробом. Тобто типи модулів і їх кількість залежать від об'єкта автоматизації і алгоритму керування ним (рис. 3.51).

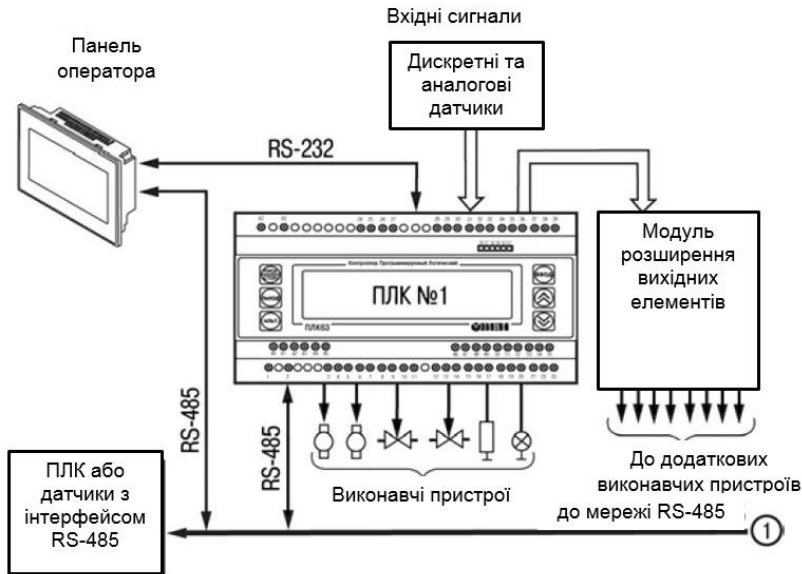


Рисунок 3.51 – Приклад структури з'єднань при використанні ПЛК в системі автоматизації

До складу сучасних ПЛК входить велика кількість різноманітних каналів, як правило, в складі модулів (блоків), які умовно можливо поділити на декілька основних груп відповідно до існуючих типів датчиків і виконавчих механізмів.

Вхідні модулі:

- канали (модулі) дискретно-цифрового перетворення (ДЦП), до яких підключаються датчики з дискретним виходом (сигналізатори рівня, електроконтактні манометри та ін.) та управляючі технічні засоби (кнопки, перемикачі, датчики положення та ін.);
- канали (модулі) аналогового-цифрового перетворення (АЦП), до яких підключаються датчики з аналоговим уніфікованим електричним виходом, а також термометри опору і термопари;
- спеціалізовані канали (модулі), до яких підключаються

специфічні вхідні сигнали, наприклад, модулі для підключення тензометричних датчиків вимірювання ваги; модулі лічильників; модулі безпеки; код ери і енкодери тощо.

Вихідні канали (модулі):

- канали (модулі) цифро-дискретного перетворення (ЦДП), до яких підключаються дискретні виконавчі механізми і технічні засоби (магнітні пускачі, сигнальні лампи та ін.), а також електричні виконавчі механізми з постійною швидкістю обертання (типу МЕО, МЕК та ін.);
- канали (модулі) ЦАП, до яких підключаються аналогові виконавчі механізми, для управління якими використовуються уніфіковані електричні сигнали;
- спеціалізовані канали (модулі), до яких підключаються специфічні вихідні сигнали, наприклад, модулі для керування кроковими двигунами, модулі безпеки та ін.

3.8 Системи керування обладнанням

Системи керування обладнанням призначені для організації роботи окремих типів обладнання виконавчої системи, а також для узгодження їх спільного функціонування.

Керування базується на використанні *модульного принципу*. Основні модулі представляють собою обладнання з програмним керуванням. Функціонально модуль з програмним керуванням підрозділяється на керуючий автомат і об'єкт керування. У керуючий автомат завантажується програма, яку він перетворює в послідовність керуючих впливів, переданих по каналам зв'язку. Об'єкт керування, яким може бути, наприклад, верстат, відпрацьовує дії, що управляють, виконуючи відповідні робочі операції.

Поточний стан об'єкта керування характеризується величинами сигналів зворотнього зв'язку, формованими датчиками і підводяться в керуючий автомат. За рахунок наявності зворотнього зв'язку керуючий автомат може формувати або коригувати послідовність дій відповідно до поточного стану об'єкта керування. Наприклад, може бути дозволено виконання черго-

вий робочої операції після отримання сигналу з датчика про завершення попередньої операції або обрана відповідна гілка програми після надходження з датчика сигналу про необхідність зміни послідовності дій за результатами контролю об'єкта обробки.

Для взаємодії з іншими модулями в керуючому автоматі формується інформація, що відображає такі характеристики стану модуля, як моменти закінчення окремих фаз технологічного процесу, завершення виконання програми або наявність особливих ситуацій, що виникають в процесі функціонування модуля.

Програмне керування модулем забезпечує, по-перше, його автоматичне функціонування відповідно до заданої програми і, по-друге, можливість зміни процесу функціонування шляхом завантаження в модуль іншої програми, що характеризує гнучкість роботи модуля.

Система керування включає технічні та програмні засоби. *Технічні засоби системи керування* – це обчислювальні машини, пристрої сполучення з об'єктом і пристрої передачі даних. Технічні засоби функціонують під керуванням програмних засобів.

Програмні засоби – це програми, що визначають порядок реалізації функцій, покладених на систему керування. Залежно від призначення програми ці засоби поділяються на обслуговуючі та функціональні.

Обслуговуючі програми призначені для виконання допоміжних в сенсі цільового призначення модуля функцій, таких, як керування початкової завантаження програм і даних в пам'ять ЕОМ, контроль працездатності ЕОМ та інших апаратних засобів системи керування, керування обміном даними та іншими модулями ГАВ. Сукупність обслуговуючих програм, які забезпечують керування роботою ЕОМ і реалізують допоміжні функції по керуванню модулем, є операційною системою ЕОМ.

Функціональні програми, звані також технологічними або прикладними, призначені для організації керування роботою модуля. У них міститься інформація про послідовність дій в

керуваному об'єкті відповідно до технологічних програм.

У процесі автоматичного функціонування система керування модулем ГАВ забезпечує:

- керування порядком функціонування обладнання;
- формування даних при нормальному або аварійному завершенні операцій;
- контроль за справністю керуючих пристроїв і керованого обладнання.

Комплекс самостійних одиниць обладнання, об'єднаних так, щоб було можливо їх незалежне або паралельне функціонування під керуванням однієї програми, називається *коміркою* ГАВ. Як правило, кожною клітинкою виробництва, транспортною системою і автоматичним складом управляють спеціальні ЕОМ. Спільне функціонування комірок, транспорту та складу забезпечується СК ГАВ, яка включає в себе центральну ЕОМ, керуючу ЕОМ нижчого рівня ієрархії, апаратуру для зв'язку з іншими ЕОМ та устаткування операторів, контролюючих робіт ГАВ. Функціональна схема СК ГАВ, діючої на рівні лінії, ділянки та цеху, представлена на рис 3.52.

Тут матеріальні потоки, на відміну від інформаційних, позначені подвійними стрілками.

Виконавчий комплекс складається з:

- системи комірок, об'єднуючої обробні, контрольно-вимірювальні і робототехнічні модулі для реалізації заданої технології;
- транспортної системи, що включає в себе автоматичні транспортні засоби, та програмної системи керування транспортними засобами;
- автоматичного складу програмно керованого системою керування автоматичним складом.

Система керування реалізує такі основні функції:

- завантаження в ЕОМ програм, що забезпечують функціонування компонентів виконавчої системи відповідно до плану виробництва виробів;
- синхронізацію роботи компонентів виконавчої системи з

темпом роботи обладнання згідно з заданою технологією і планом виробництва виробів.

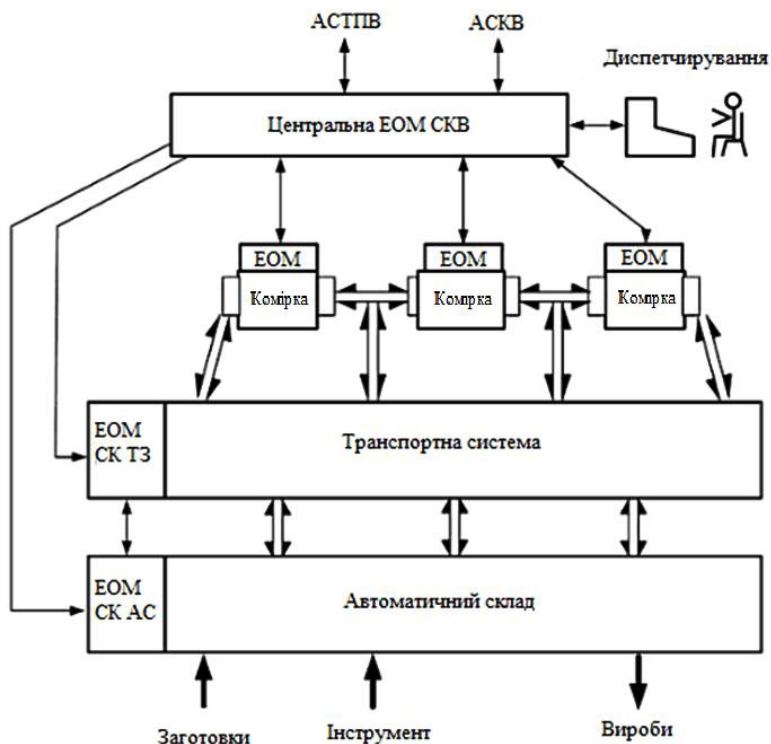


Рисунок 3.52 – Функціональна схема керування лінією, ділянкою або цехом: СКВ – система керування виробництвом, СК ТЗ – система керування транспортними засобами, СК АС – система керування автоматичним складом.

Завантаження керуючих програм зводиться до передачі програм з пам'яті ЕОМ СК ГАВ в інші ЕОМ, керуючі компонентами виконавчої системи. Процедура завантаження програм являє собою переналагодження виробництва, яка полягає не в переналадці обладнання, а в передачі інформації в ЕОМ, які керують обладнанням.

Синхронізація роботи компонентів ГАВ проводиться використанням відповідних компонентів виконавчої системи з тимчасовою діаграмою функціонування ГАВ і поточному стану кожного компонента. Керування роботою компонентів і контроль їх станів здійснюються за допомогою передачі повідомлень між ЕОМ СК ГАВ і ЕОМ, керуваними компонентами виконавчої системи. Повідомлення передаються по лініям зв'язку, що об'єднує всі ЕОМ в єдиний керуючий комплекс.

Електронні обчислювальні машини, керуючі комірками, транспортною системою і автоматичним складом, пов'язані з центральною ЕОМ системи керування виробництвом (СКВ) вищого рівня, через яку вони взаємодіють і в пам'яті якої збираються всі дані про стан виробництва. На основі цих даних програма керування формує команди, що передаються по лініях зв'язку в ЕОМ нижнього рівня, керуючі конкретним обладнанням. Зменшення навантаження на центральну ЕОМ СКВ проводиться за рахунок передачі даних між ЕОМ одного рівня. Такий зв'язок забезпечує, наприклад, координацію роботи транспортної системи та автоматичного складу.

СКВ може бути інформаційно пов'язана з АСПВ і автоматизованою системою керування виробництвом (АСКВ). За допомогою АСПВ виконується підготовка програм функціонування виробництва для кожного з виробів, що входять до номенклатури. Підготовка програм полягає в розробці маршрутів руху заготовок у процесі їх обробки між секціями автоматичного складу та комірками лінії, ділянки або цеху, визначенні складу інструменту для кожної технічної ділянки і складанні технологічного маршруту виробництва. На основі технологічного маршруту розробляються програми керування верстатами, ПР, контрольно-вимірювальними пристроями, транспортною системою і автоматичним складом. Тимчасова діаграма виробництва виробів складається шляхом визначення часу операцій, виконуваних комірками ГАВ, транспортними засобами і складом. Виходячи з цього, формується програма для центральної ЕОМ СКВ.

За допомогою АСКВ здійснюються календарне й оператив-

вне планування виробництва, облік продукції і використання виробничого обладнання, комплектація виробництва заготовками і інструментом, а також видача інформації про стан виробництва. Гнучке автоматизоване виробництво функціонує відповідно до календарного плану, який складається АСКВ. СКВ передає в АСКВ дані про хід виробництва, необхідні для оперативного планування та обліку виробництва.

Крім керування виконавчою системою, забезпечення взаємодії з АСПВ і АСКВ центральна ЕОМ СКВ виконує функції з обслуговування диспетчера-оператора, контролює стан виробництва і керуючого їм у ситуаціях, що виходять за рамки можливостей програм керування. У цьому випадку центральна ЕОМ СКВ приймає команди від людини і на їх основі реалізує керування обладнанням. Для виконання функцій, пов'язаних з диспетчеруванням, центральна ЕОМ забезпечується відповідними програмами і пристроями введення-виведення даних, що забезпечують, наприклад, введення даних в ЕОМ з клавіатури диспетчера-оператора і виведення їх на дисплей і друкувальний пристрій.

СКВ є багаторівневою системою програмного керування на базі ЕОМ. Принципова схема керування виробництвом показана на рис. 3.53.

Виконавча система представлена у вигляді сукупності модулів, що виконують технологічні і транспортні операції над матеріальним потоком. Через пристрої сполучення з об'єктами ЕОМ управляє модулями.

Перший рівень керування вирішує завдання керування окремими компонентами виконавчої системи. Вхідні в нього ЕОМ можуть взаємодіяти між собою для узгодження роботи сусідніх модулів.

Другий рівень координує роботу ЕОМ першого рівня і реалізується центральною ЕОМ системи керування лінією, ділянкою або цехом. Оскільки лінії, дільниці та цехи матеріально та організаційно взаємопов'язані, вони також повинні бути інформаційно взаємопов'язані шляхом сполучення своїх центральних

ЕОМ або через ЕОМ вищого рівня ієрархії.

Третій рівень керування являє собою ЕОМ АСППВ і ЕОМ АСКВ, які пов'язані з центральною ЕОМ.

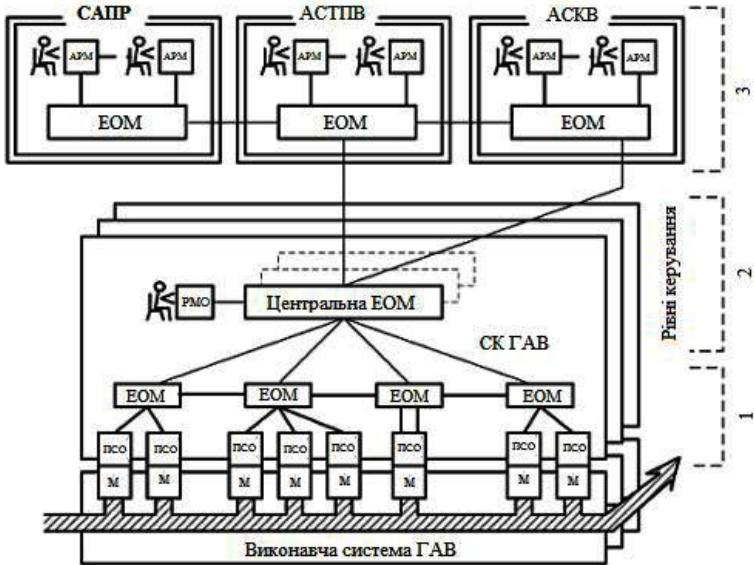


Рисунок 3.53 – Рівні керування виробництвом: АРМ – автоматизоване робоче місце; РМО – робоче місце оператора; ПСО – пристрій сполучення з об'єктом; М – модуль виконавчої системи.

Через них можливо оперативно вводити необхідну інформацію у вигляді програм і даних з ТПВ, і за його плановим управлінням. ЕОМ третього рівня в загальному випадку включають в себе також ЕОМ системи автоматизованого проектування (САПР).

Сучасна автоматизована система керування ТП являє собою багаторівневу людино-машинну систему керування. Створення АСК складними ТП здійснюється з використанням автоматичних інформаційних систем збору даних і обчислювальних комплексів, які постійно удосконалюються в міру еволю-

ції технічних засобів і програмного забезпечення.

Безперервно в часі картину розвитку АСК ТП можливо розділити на три етапи, обумовлені появою якісно нових наукових ідей і технічних засобів.

Перший етап відображає впровадження систем автоматичного регулювання (САР). Об'єктами керування на цьому етапі є окремі параметри, установки, агрегати, рішення задач стабілізації, програмного керування, стеження переходить від людини до САР. Людина реалізує функції розрахунку завдання і параметрів настроювання регуляторів.

Другий етап – автоматизація ТП. Об'єктом керування стає розосереджена в просторі система. За допомогою систем автоматичного керування реалізуються все більш складні закони керування, вирішуються завдання оптимального та адаптивного керування, проводиться ідентифікація об'єкту і стан системи. Характерною особливістю цього етапу є впровадження систем телемеханіки в керування ТП. Людина все більше віддаляється від об'єкта керування, між об'єктом і диспетчером вибудовується цілий ряд вимірювальних систем, виконавчих механізмів, засобів телемеханіки, мнемосхем та інших засобів відображення інформації.

Третій етап – автоматизовані системи керування ТП – характеризується впровадженням в керування ТП обчислювальної техніки. Спочатку – застосування мікропроцесорів, використання на окремих фазах керування обчислювальних систем. Потім активний розвиток людино-машинних систем керування, інженерної психології, методів і моделей дослідження операції та, нарешті, диспетчерське керування на основі використання автоматичних інформаційних систем збору даних і сучасних обчислювальних комплексів.

Диспетчер в багаторівневій автоматизованій системи керування ТП отримує інформацію з монітора ЕОМ чи з електронної системи відображення інформації та впливає на об'єкти, що знаходяться від нього на значній відстані, за допомогою телекомунікаційних систем, контролерів, інтелектуальних вико-

навчих механізмів.

Концепція SCADA (supervisory control and data acquisition) – диспетчерське керування і збір даних – дозволяє досягти високого рівня автоматизації у вирішенні завдань розробки систем керування, збору, обробки, передачі, зберігання і відображення інформації.

Дружність людино-машинного інтерфейсу, наданого SCADA-системами, повнота і наочність представленої на екрані інформації, зручність користування підказками і довідкової системою підвищує ефективність взаємодії диспетчера з системою і зводить до нуля його критичні помилки при управлінні. В даний час SCADA є основним і найбільш перспективним методом автоматизованого керування складними динамічними системами та процесами.

Багато проектів автоматизованих систем контролю і керування для великого спектру областей застосування дозволяють виділити узагальнену схему їх реалізації, представлену на рис. 3.54.

Як правило, це дворівневі системи, оскільки саме на цих рівнях реалізується безпосереднє керування ТП. Специфіка кожної конкретної системи керування визначається використовуваною на кожному рівні програмно-апаратною платформою.

Нижній рівень – рівень об'єкта (контролерний) – включає різні датчики для збору інформації про хід ТП, електроприводи і виконавчі механізми для реалізації регулюючих і керуючих впливів. Датчики постачають інформацію локальним програмованим логічним контролерам PLC, які можуть виконувати такі функції:

- збір та обробка інформації про параметри ТП;
- керування електроприводами та іншими виконавчими механізмами :
- рішення завдань автоматичного логічного керування та ін.

Так як інформація в контролерах попередньо обробляється і частково використовується на місці, істотно знижуються вимоги до пропускну здатності каналів зв'язку.

В якості локальних PLC в системах контролю і керування різними ТП в даний час застосовуються контролери як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва. На ринку представлені десятки типів контролерів, здатних обробляти від кількох до кількох сотень змінних.

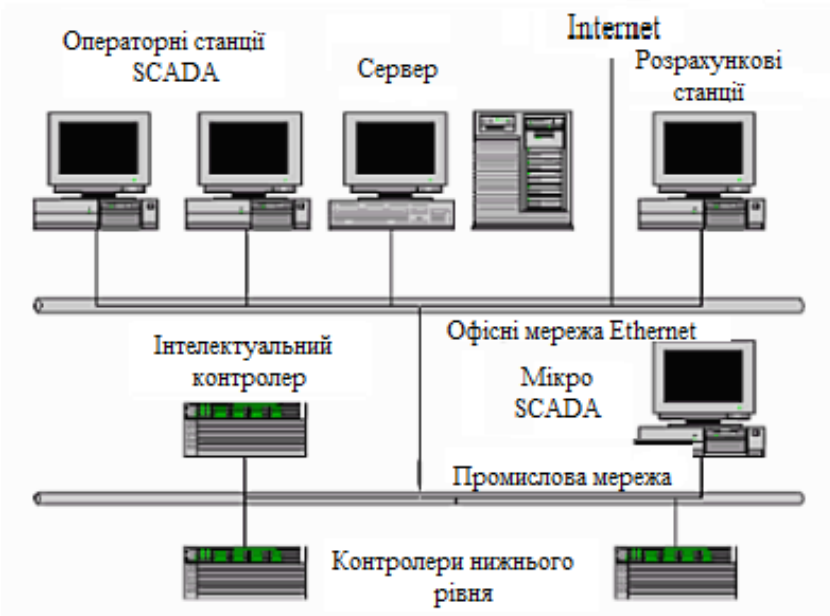


Рисунок 3.54 – Узагальнена схема системи контролю та керування ТП

До апаратно-програмних засобів контролерного рівня керування висуваються жорсткі вимоги щодо надійності, часу реакції на виконавчі пристрої, датчики і т.д. Програмовані логічні контролери повинні гарантовано відгукуватися на зовнішні події, за час, визначений для кожної події. Для критичних з цієї точки зору об'єктів рекомендується використовувати контролери з операційними системами реального часу. Контролери під керуванням операційних систем реального часу функціонують у режимі жорсткого реального часу.

Мікро-SCADA – це системи, що реалізують стандартні

базові функції, притаманні SCADA-системам верхнього рівня, але орієнтовані на вирішення завдань автоматизації в певній галузі, тобто вузькоспеціалізовані системи. На противагу їм SCADA- системи верхнього рівня є універсальними.

Всі компоненти системи керування об'єднані між собою каналами зв'язку. Забезпечення взаємодії SCADA-систем з локальними контролерами, контролерами верхнього рівня, офісними та промисловими мережами покладено на так зване комунікаційне програмне забезпечення.

Великий обсяг інформації, що безперервно надходить з пристроїв введення-виведення систем керування, зумовлює наявність в таких системах баз даних. Основне завдання баз даних – своєчасно забезпечити користувача всіх рівнів керування необхідною інформацією.

Для спеціаліста-розробника системи автоматизації, так само як і для спеціаліста-технолога, дуже важливий графічний користувальницький інтерфейс. Функціонально графічні інтерфейси SCADA-систем схожі. У кожній з них існує графічний об'єктно-орієнтований редактор з певним набором анімаційних функцій. Використовувана векторна графіка дає можливість здійснювати широкий набір операцій над обраним об'єктом, а також швидко оновлювати зображення на екрані, використовуючи засоби анімації.

Вкрай важливим є також питання про підтримку в розглянутих системах стандартних функцій GUI (graphic users interface), оскільки більшість SCADA-систем працюють під керуванням Windows, що і визначає тип використовуваного GUI.

Система є відкритою, якщо для неї визначені й описані використовувані формати даних і процедурний інтерфейс, що дозволяє підключити до неї зовнішні незалежно розроблені компоненти.

Сучасні SCADA-системи не обмежують вибору апаратури нижнього рівня, так як надають великий набір драйверів або серверів вводу-виводу і мають добре розвинені засоби створення власних програмних модулів або драйверів нових пристроїв

нижнього рівня. Самі драйвери розробляються з використанням стандартних мов програмування.

Для організації взаємодії з контролерами можуть бути використані такі апаратні засоби:

- COM-порти. У цьому випадку контролер або об'єднані мережею контролери підключаються по протоколам RS-232, RS-422, RS-485;
- мережеві плати. Використання такої апаратної підтримки можливе, якщо відповідні контролери забезпечені інтерфейсним виходом на Ethernet;
- вставні плати. У цьому випадку протокол взаємодії визначається платою і може бути унікальним. У даний час пропонуються реалізації в стандартах ISA, PCI, CompactPCI.

3.9 Системи та пристрої з числовим програмним керуванням

Системи ЧПК дозволяють здійснювати виконання технологічної операції за задалегідь визначеною програмою, заданій в цифровій формі.

Системою ЧПК називається сукупність функціонально взаємозалежних і взаємодіючих, технічних і програмних засобів, що забезпечують числове програмне керування об'єктом керування, наприклад верстатом.

Пристроєм ЧПК називається пристрій, що видає керуючі сигнали на виконавчі органи верстата відповідно до керуючої програми та інформації про стан керованого об'єкта. Під керуючою програмою розуміється сукупність команд на мові програмування, відповідна заданому алгоритму функціонування верстата по обробці конкретної заготовки. Опис керуючої програми обробки може бути представлено послідовністю окремих кадрів програми. Кожен кадр має адресну структуру з послідовністю команд і записується за допомогою алфавітно-цифрових символів. Цифрова інформація дасть при цьому кількісну характеристику опису. Пристрої ЧПК випускаються у вигляді номенклатурно-параметричних рядів, що характеризуються числом каналів

керування приводами, типом керованих приводів переміщень і використання в них датчиків, обсягом інформації обміну з верстатом і конструктивним виконанням. Конструкційно пристрої ЧПК випускаються у вигляді стійок ЧПК (рис. 3.55).



Рисунок 3.55 – Стійка ЧПК Heidenhain TNC

Уніфікація системи ЧПК для різних технологічних об'єктів економічно ефективна. Системи, що забезпечують керування широким класом об'єктів, називаються багатоцільовими. Переналаджування багатоцільових систем ЧПК для нового об'єкта керування, зокрема для нового верстата, забезпе-

чується зміною алгоритмів функціонування.

Загальна структура системи ЧПК наведена на рис. 3.56.

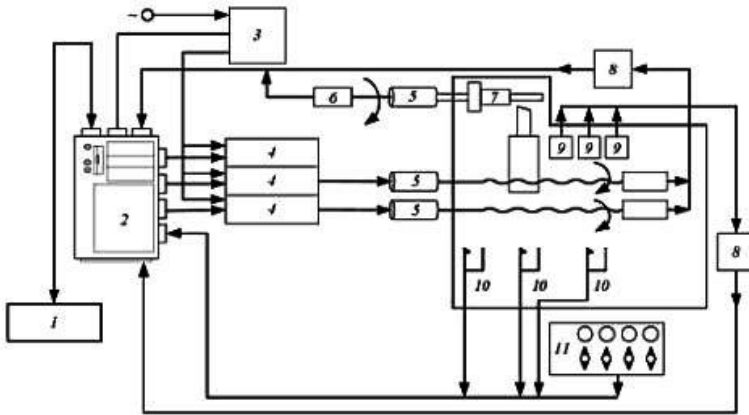


Рисунок 3.56 – Загальна структура системи ЧПК:

1 – апаратура зв'язку з ЕОМ верхнього рангу, периферійні пристрої введення-виводу даних, 2 – пристрій ЧПК, 3 – станція живлення та інші допоміжні вузли, 4 – блок керування двигунами подач, 5 – двигуни приводів подач і приводу головного руху, 6 – вимірювальні перетворювачі переміщенні робочих органів верстата, 7 – кінематична система верстата, 8 – нормуючі і погоджуючі блоки вимірювальних каналів, 9 – вимірювальні датчики параметрів ТП, 10 – сигнальні датчики фіксованих положень робочих органів, 11 – робочі органи пульта керування верстата.

Сукупність програм, що відображають алгоритми функціонування об'єкта керування, називається системним програмним забезпеченням. Системне програмне забезпечення залишається незмінним для даного об'єкта керування на відміну від керуючої програми, яка змінюється при виготовленні різних деталей на одному і тому ж об'єкті.

Існує кілька поколінь систем ЧПК. Системи першого покоління найбільш прості. До них відносяться системи ЧПК, що працювали від магнітної стрічки по керуючій програмі. Для цих

систем характерно проміжне перетворення закодованої керуючої програми у вигляді числових масивів на перфострічці в безперервну програму па магнітній стрічці. Це перетворення виконується на спеціальному централізованому інтерполляторі, який не поєднаний з верстатом. Система керування верстата відтворює тільки запис з магнітної стрічки. Звідси випливає основний недолік таких систем, що полягає в неможливості корекції керуючої програми безпосередньо біля верстата, а також подовжений цикл ТПВ, обумовлений наявністю додаткового програмоносія у вигляді магнітної стрічки.

До *другого покоління* відносяться системи зі структурою NC (numerical control). Назва структури утворена з перших букв англійського еквівалента виразу «числове керування». Ця система забезпечує роботу верстата від керуючої програми, закодованої на восьмидоріжній перфострічці. Характерною рисою структур типу NC є апаратна реалізація функціональних вузлів системи, що приводить до низького рівня уніфікації і відповідно до великої різноманітності типів пристроїв ЧПК. Відсутність при цьому оперативної пам'яті обумовлює жорсткість алгоритмів функціонування, а необхідність звернення до програмоносія на перфострічці в кожному кадрі зменшує надійність системи.

У *третьому поколінні* систем ЧПК була підвищена уніфікація і гнучкість за рахунок використання структур типу CNC (computer numerical control), що означає «числове керування на основі ЕОМ». Ця структура відповідає багатоцільовим перепрограмувальним системам ЧПК, які пристосовують керуючу ЕОМ для вирішення завдань систем ЧПК. В якості програмованого перетворювача тут виступає процесор, що включає в себе арифметико-логічний пристрій і пристрій керування.

Зберігання інформації здійснюється в оперативному запам'ятовуючому пристрої, постійному запам'ятовуючому пристрої та напів-постійному пристрої пам'яті, а також в зовнішніх пристроях. Керування ТП здійснюється по міткам реального часу, які формуються таймером. Зв'язок між блоками системи і технологічним об'єктом організовується через інтерфейсні

шини, а зв'язок із зовнішніми пристроями через контролер обміну. Узгодження керування процесами у всіх блоках реалізується пристроєм керування. Обмін інформацією з технологічним об'єктом проводиться через шини місцевого інтерфейсу. Типовими вузлами зв'язку з технологічним обладнанням є багатоканальні АЦП, цифроаналогові перетворювачі, а також вузли прийому та виведення цифрових сигналів у вигляді кодів.

Високий рівень уніфікації систем типу CNC досягається за рахунок використання таких властивостей керуючої обчислювальної техніки, як програмованість і агрегатуємість. Програмованість дозволяє редагувати керуючу програму у верстата і без конструктивних втручань змінювати алгоритми функціонування системи. Агрегатуємість дозволяє використовувати ці системи для керування самим різним обладнанням, що характеризує їх як багатоцільові.

Ще більший розвиток функціональних можливостей проявляється в системах ЧПК типу *DNC* (direct numerical control), що означає «пряме числове керування». За допомогою цих систем можливо керувати безпосередньо від ЕОМ цілою групою верстатів. У пам'яті ЕОМ знаходяться керуючі програми деталей, що виготовляються на цих верстатах. Однак однорівневі системи типу *DNC* не є ефективними через можливість збою роботи всіх верстатів при відмові ЕОМ. Оптимальними в сенсі ефективності є дворівневі системи типу *DNC* з ЕОМ на верхньому рівні і з системами ЧПК типу *CNC* на нижньому. Кожним технологічним об'єктом управляє власна система типу *CNC*, а роботу всіх систем організовує одна ЕОМ.

Принциповою відмінністю систем *DNC* є відсутність перфострічки в системах ЧПК нижнього рівня, що дозволяє передавати керуючі програми по лініях зв'язку між верхнім і нижнім рівнями без участі людини. Таким чином, системи ЧПК типу *DNC* найбільшою мірою задовольняють наступним вимогам, що пред'являються до систем керування в умовах гнучких автоматизованих виробництв:

- можливість програмування без конструктивних змін

різних законів керування із зберіганням системного програмного забезпечення в оперативній пам'яті; енергозалежність, забезпечує зберігання системного програмного забезпечення та накопичених необхідних масивів інформації;

- завадостійкість, що дозволяє управляти технологічним обладнанням, що викликає високий рівень перешкод;
- багатокординатне і багатопараметричне керування при можливості агрегування засобів поєднання;
- забезпечення необхідної продуктивності і точності керування, а також достатнього ресурсу пам'яті.

Основні завдання систем ЧПК в умовах гнучкого автоматизованого виробництва можливо сформулювати наступним чином:

- введення і зберігання системного програмного забезпечення та керуючої програми. Введення інформації може проводитися по каналам зв'язку з ЕОМ верхнього рівня;
- реалізація циклів – виділення повторюваних ділянок програми для її скорочення. Фіксовані цикли характерні для певних технологічних операцій, що зустрічаються при виготовленні багатьох виробів, наприклад, при свердлінні. Програмні технологічні цикли відповідають повторюваним ділянкам даного виробу;
- інтерпретація кадру – проведення попередніх процедур для відпрацювання чергового кадру програми з метою забезпечення безперервності керування;
- інтерполяція – отримання з необхідною точністю координат проміжних точок траєкторії руху за координатами крайніх точок і заданої функції інтерполяції;
- керування приводами подач – організація цифрових позиційних систем, що стежать, для кожної координати руху. На вхід системи керування приводами надходять коди, що залежать від результатів інтерполяції. Цим кодами відповідає певне переміщення по координаті;
- корекція на розміри інструментів – зміщення координат

при корекції керуючої програми на довжину інструменту або формування еквідистантних траєкторій при обліку фактичного радіуса інструменту;

- логічне керування – керування технологічними вузлами дискретної дії, входні сигнали яких виробляють релейні операції;
- зміна інструменту – пошук гнізда магазину з необхідним інструментом і заміна відпрацьованого інструменту на новий;
- адаптивне керування – організація зворотнього зв'язку за допомогою датчиків безпосередньо від виготовленого виробу для підвищення якості його обробки;
- автоматичний вбудований контроль – установка датчиків контролю в зоні обробки виробу.

Наведений перелік завдань може бути доповнений завданнями обміну інформацією з пристроями, що сполучаються.

Всі завдання визначають необхідність розвитку багатоцільових систем ЧПК, що володіють властивостями уніфікації та гнучкості. Основним способом реалізації завдань є *програмний*, при якому розв'язувальній задачі ставиться у відповідність не конструктивний, а програмний модуль, що є частиною системного програмного забезпечення та зберігається в пам'яті.

Організація вбудованого автоматичного контролю прискорює перехід на так звану «*безлюдну технологію*». Контроль в зоні обробки дозволяє без участі оператора вирішувати завдання базування, корекції на розміри інструменту і технічної діагностики. Розширення мережі датчиків зворотнього зв'язку від об'єкта дозволить більш гнучко управляти ТП. Перспективною є також організація корекції похибок механічних вузлів устаткування за таблицями, що зберігаються в пам'яті системи ЧПК. Формування таблиць може бути автоматизовано за рахунок коштів вбудованого контролю.

Безвідмовність систем ЧПК можливо підвищити як загальним поліпшенням якості засобів автоматики, так і вдосконаленням організації систем. Ієрархічні системи проводять обмін

інформацією між рівнями через уніфіковані системи сполучення – інтерфейси.

Відповідно до форми передачі даних інтерфейси підрозділяють на паралельні, послідовно-паралельні і послідовні. При передачі даних *паралельним* або *послідовно-паралельним* способами сигнали в приймальній пристрій надходять не одночасно, що обумовлено розкидом параметрів шин сполучення і формують схеми. Це може призвести до помилок у зчитуванні інформації, тому перевагу віддають послідовним інтерфейсам, так як виключається зазначений недолік. Однак вони характеризуються меншою швидкістю обміну.

Велике значення має ефективність каналів та ліній зв'язку між термінальними системами ЧПК і ЕОМ верхнього рівня. Перспективним є застосування оптичних ліній зв'язку, що володіють високою завадостійкістю.

Останнім часом в області ЧПК відбулися зміни, що зачіпають функціональні можливості, апаратну платформу та системні засоби, архітектуру і склад прикладного математичного забезпечення. Домінуючі позиції зайняла концепція відкритих систем ЧПК PCNC (personal computer numerical control), побудованих на базі персонального комп'ютера.

Гнучкі і складні системи ЧПК з відкритою архітектурою виконуються згідно з двухкомп'ютерною архітектурною моделю. За мірою зростання обчислювальної потужності комп'ютерів все більш використовуваним стає однокомп'ютерний варіант.

Двокомп'ютерна модель припускає розміщення PC-підсистеми на одному комп'ютері, а NC-підсистеми – на іншому. У PC-підсистемі найбільш доцільна операційна система Windows NT, а в NC-підсистемі операційна система реального часу UNIX. Обидві операційні системи сумісні в тому сенсі, що підтримують комунікаційні протоколи TCP/IP, і це дозволяє побудувати комунікаційну середу, об'єднуючу підсистеми. Включення в цю середу прикладного рівня з численними функціями доступу до інтерфейсів модулів створює віртуальну шину,

що надає послуги доступу на низькому рівні. Об'єктна надбудова в шині формує глобальний сервер, тобто єдину для обох підсистем об'єктно-орієнтовану магістраль.

Однокомп'ютерна модель передбачає використання традиційного комп'ютера, оснащеного додатковими контролерами для зв'язку з мехатронними об'єктами керування. У їх числі можуть бути: контролер стежачих приводів, програмований контролер PLC (programmable logic controller), спеціальні пристрої для керування ТП та ін. В якості операційної може бути використана система Windows NT, яка, однак, не є системою реального часу і в цьому зв'язку вимагає відповідного розширення. Система RTX модифікує шар HAL (hardware abstraction layer) операційної системи Windows NT і доповнює його диспетчером потоків реального часу.

Сучасні принципи побудови архітектури ЧПК полягають у чіткому розмежуванні між системними, прикладними та комунікаційними компонентами, можливості незалежного розвитку будь-якого з цих компонентів, як на основі оригінальних розробок, так і шляхом вбудовування покупних програмних систем, а також в організації взаємодії підсистем «клієнт-сервер» та стандартизації інтерфейсів і транзакцій.

У даний час найбільш універсальними є відкриті системи ЧПК, підсистеми якої (включаючи інтерфейс оператора, Motion Control і контролер електроавтоматики SoftPLC) стали повністю програмно-реалізованими на єдиній комп'ютерній Windows-платформі. Переваги програмної реалізації підсистеми формоутворення об'єдналися з достоїнствами цифрових пошукових приводів.

Еволюція цифрового приводу призвела до створення *інтелектуальних цифрових приводів*, що забезпечують підвищені швидкість і точність. Для їх використання необхідний швидкодіючий цифровий стандартний інтерфейс, який забезпечував би можливість підключення приводів від будь-яких виробників. Усім цим вимогам відповідає SERCOS – інтерфейс (serial realtime communication system) для цифрових стежачих приво-

дів, який став базою міжнародного стандарту IEC 61491 і європейського стандарту EN 61491 для систем ЧПК.

Кожна координатна вісь управляється циклічними командами, генерованими інтерполятором системи керування. При цьому забезпечуються висока точність окремої осі і сукупна точність інтерпольованого руху. Обробка сигналів інтелектуального цифрового приводу виконується за допомогою *мікроконтролера*. Мікроконтролер здатний не тільки здійснювати традиційне керування моментом і швидкістю подачі, але і виконувати тонку інтерполяцію і позиційне керування з виключно коротким обчислювальним циклом. У порівнянні з традиційними приводами досягається максимально висока точність, причому відмінність особливо помітно при високих швидкостях подачі.

Цифрові приводи працюють циклічно, а циклом є інтерполяційний цикл системи ЧПК. У кожному циклі значення змінних оновлюються для кожного приводу. Цифровий інтерфейс повинен забезпечити синхронізацію циклів контролера і стежачих приводів. Така синхронізація здійснюється з мікросекундою точністю, оскільки впливає на взаємну координацію приводів і одночасне виконання команд. SERCOS інтерфейс здійснює синхронізацію для будь-якої кількості стежачих приводів. Окремі приводи, що стежать об'єднуються за своїми входами в «кільце» за допомогою оптоволоконного кабелю.

Для уніфікованого доступу до наступного покоління верстатів з ЧПК, що мають *Web-доступ* використовують мову ХМ, програмне забезпечення керування рухом ХМС, ОМАС-схеми (open modular architecture for controllers) і протокол SOAP (simple object access protocol). Структура такого доступу наведена на рис. 3.57.

При цьому реалізується концепція взаємодії обладнання в рамках усього життєвого циклу виробництва виробів з використанням MES-систем (manufacturing enterprise solutions).

MES-система – це автоматизована система керування та оптимізації виробничої діяльності, яка в режимі реального часу ініціює, відстежує, оптимізує і документує виробничі процеси

від початку виконання замовлення до випуску готової продукції.

Для здійснення принципу проектування і виробництво в будь-якому місці створена архітектура системи ЧПК для ОС Windows типу GNC (generative numerical control) – інтелектуальна система ЧПК.

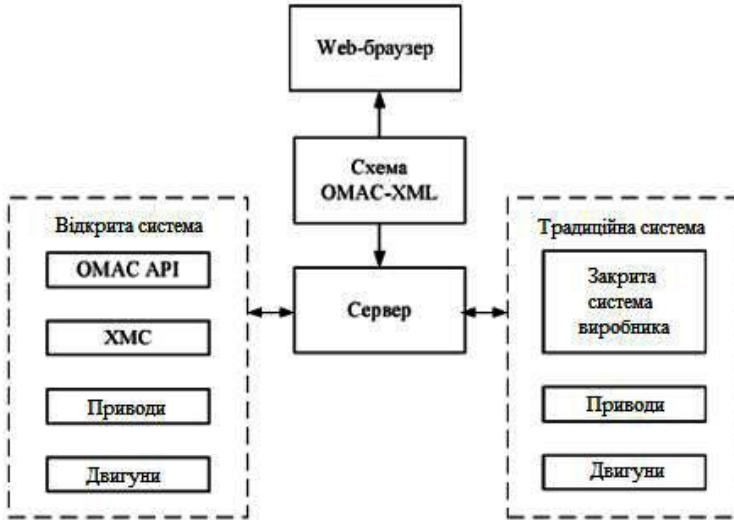


Рисунок 3.57 – Структура Web-доступу до систем з ЧПК

У ряді виробництв використовується концепція, згідно з якою верстат з ЧПК стає вузлом корпоративної Web-сітки. Найбільшу ефективність OMAC API має в Web-доміні колективно використовуваних верстатів з ЧПК. Функції OMAC API конвертуються в мову Internet. Центральним елементом у цій архітектурі є програмний компонент – Windows-розширення XMC (eXtension for motion control) для кожного конкретного верстата з ЧПК. Отже, XMC розміщується між OMAC API і верстатом з ЧПК. XMC-XML (eXtensible markup language) система використовує OMAC XML схеми і SOAP протокол, щоб створити гомогенну інформаційну структуру над системами ЧПК від різних виробників. Єдиним обмеженням служить обов'язкове викорис-

тання ОС Windows в інтерфейсі оператора.

Численні користувачі встановлюють додаткове обладнання, щоб зробити традиційні системи ЧПК відкритими. Як правило, в оновленні механічної частини верстатів немає потреби, а суттєві поліпшення можуть бути досягнуті шляхом дооснащення верстатів з ЧПК зовнішнім одноплатним комп'ютером МТІВ (machine tool interface board). Мета полягає в перетворенні системи ЧПК у вузол корпоративної мережі, який використовує ОМАС XML схеми як стандартну універсальну мову ЧПК. Система ЧПК стає Web-сервером, який отримує, поділяє і поширює інформацію по всьому підприємству. XML використовується для розповсюдження інформації в межах і за межами підприємства.

Інша тенденція у розвитку сучасних систем ЧПК полягає в створенні STEP-NC (standard for the exchange of product model data) інтерфейсу. У рамках цієї тенденції працює система ЧПК типу STEP-NC (STEP-NC-CNC), яка отримує STEP-NC дані, розпізнає їх і не потребує у додаткових інструкціях для виконання завдання.

Фаза активного розвитку STEP припадає на початок 90-х років. Для опису форматів даних була створена мова EXPRES, а для графічного представлення – мова EXPRES-G. STEP-NC успадкував використання цих мов.

Паралельно з програмною індустрією якісні зміни відбулися і в області моделювання і представлення даних. По-перше, з'явилась графічна мова моделювання UML (unified modeling language) ISO 19501, що стала стандартом для візуалізації, специфікації, конструювання та документування систем, в якій ключова роль належить програмному забезпеченню. По-друге, з'явився стандарт розмітки документів розширювана мова розмітки XML. Формат XML для комп'ютерних документів досить гнучкий, і його можливо пристосувати для найрізноманітніших сфер діяльності. XML визначає загальні правила синтаксису, використовувані для розмітки даних за допомогою простих доступних для читання тегів.

Сьогодні близько 80% розробників на фірмах, які виробляють системи ЧПК, пов'язані з програмним забезпеченням, і лише 20% займаються апаратною. Це і визначає частку програмного забезпечення в сучасній системі ЧПК.

Стандарт ISO 14649 надає системі ЧПК обширну пов'язану інформацію, що включає чотири розділи:

- опис завдань керування;
- технологічна інформація;
- опис інструменту;
- геометричний опис.

Розділ завдань являє собою логічну послідовність виконуваних блоків і типів даних. Деталі кожного кроку операції описані в розділі технологічної інформації, причому вони пов'язані відносинами з описом інструменту і геометричним описом.

Найважливішим елементом ТП служать типові форми «features», які визначають області видаляється матеріалу заготовки, а їх зовнішній вигляд є частиною зовнішнього вигляду виробу «workpiece». Типові форми задають параметрично або у вигляді сукупності утворюючої і напрямної. Особливий випадок представляють поверхні вільної форми, для яких визначають область, в межах якої поверхня вільної форми розміщується.

Системи ЧПК, що сприймають стандарт STEP-NC (ISO 14649), можуть належати до одного з трьох типів. *Перший* базується на традиційному використанні G-кодів (ISO 6983), тобто побудований на основі звичайної системи ЧПК без будь-яких внутрішніх змін. Керуючі програми ISO 14649 конвертуються у формат ISO 6983 на рівні постпроцесування. *Другий тип* має вбудований інтерпретатор ISO 14649, який інтерпретує керуючі програми самостійно. При цьому будь-які функції штучного інтелекту відсутні. *Третій тип* (з вбудованою системою штучного інтелекту) є повномасштабним варіантом STEP-NC-CNC, що має наступні можливості:

- реалізація інтелектуальних мережевих функцій системи ЧПК, що підтримують ланцюжок CAD (computer-aided design)-CAM (computer-aided manufacturing)-CNC, викона-

ний на основі моделі ISO 14649;

- повна автоматизація циклу від налагоджування до вимірювання;
- можливість автономного керування об'єктом.

Керуючі програми ISO 14649 містять найрізноманітніші дані. Використовуючи подібні дані, система ЧПК здатна генерувати траєкторії інструменту відповідно до поточної цехової ситуації, а також самостійно складати плани операції і адекватно реагувати на непередбачені події.

Сучасний верстат з ЧПК представляє собою самоврядну робочу машину, органічно пов'язану з пристроєм ЧПК, який в реальному масштабі часу перетворює дискретні сигнали інформації в дискретні сигнали управління (рис.3. 58).

До верстатів з ЧПК висувається ряд вимог. Основні вимоги, які повинні бути виконані при проектуванні верстатів з ЧПК, представлені на рис 3.59.

Верстати з ЧПК вимагають високої точності виконання команд на переміщення (1-2 мкм для більшості верстатів).



Рисунок 3.58 –Фрезерувальний верстат з ЧПК Doosan

Для прецизійної обробки на верстатах з ЧПК необхідна висока точність виготовлення всіх його деталей, вузлів і верста-

та в цілому. Точність верстата визначається точністю виготовлення його деталей і вузлів (особливо напрямних корпусних деталей, несучих інструмент і заготовлю), точністю виготовлення приводів механізмів, якістю збірки верстата, жорсткістю його елементів, зазорами в сполучених деталях, умовами тертя в напрямних при переміщенні робочих органів та інших. Жорсткість шпинделя й інших відповідальних вузлів верстата повинна перевершувати жорсткість аналогічних вузлів, призначених для традиційних верстатів.

При русанні з місця виконавчий орган починає рух не одночасно з дією керуючого сигналу, а тільки після того, як будуть обрані зазори в передачах, відбудеться деяка деформація елементів, а зусилля, що впливає на керований орган, перевершить опір сил тертя і сил різання.

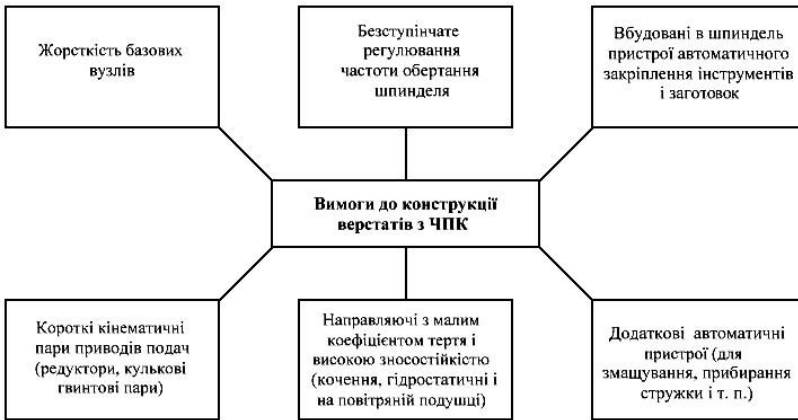


Рисунок 3.59 – Основні вимоги до конструкції верстата з ЧПК

Для зазначених факторів особливо важливо враховувати при конструюванні ходових гвинтів – останніх ланок передач до виконавчих органів більшості металорізальних верстатів з ЧПК. Саме тому у верстатах з ЧПК використовують кульково-гвинтові пари, що відрізняються високими точністю, зносостійкістю і жорсткістю завдяки застосуванню гайок з попереднім натягом і

більшому діаметру ходового гвинта. Останній жорстко кріпиться в осьовому напрямку, для чого використовують наполегливі підшипники з попереднім натягом.

У верстатах з ЧПК, в порівнянні з традиційними верстатами, кінематичні ланцюги, що передають рух від двигуна до виконавчого механізму, значно коротші завдяки застосуванню автономних приводів для всіх робочих рухів. Коробка передач токарного верстата має жорсткий шпindel з широким діапазоном частоти обертання. Ці конструктивні особливості дозволяють значно збільшити статичну і динамічну жорсткість приводу.

Верстати з ЧПК оснащуються напрямними кочення, що забезпечують високу точність переміщень виконавчих механізмів, а також беззасорими механічними передачами.

Точність переміщення робочих органів у великій мірі залежить від точності спрацьовування за часом механізмів зупину: електромагнітних муфт, електродвигунів, гальмівних пристроїв. Для зменшення часу гальмування і пуску конструктори прагнуть зменшити махові маси обертових деталей і електромеханічну постійну часу приводу.

Дискретність (ціна імпульсу) – це переміщення механізму, відповідне одному імпульсу керуючої програми. Дискретність переміщення визначає значення помилки, зумовленої поданням траєкторії руху в цифровій формі. Щоб знизити цю похибку, доцільно зменшити дискретність. Однак це призводить до збільшення керуючої частоти для забезпечення необхідної швидкості переміщення. При зростанні частоти ускладнюються ЧПК, привід подач і вимірювальні перетворювачі зворотнього зв'язку. Крім того, зниження дискретності не завжди є виправданим, оскільки система верстат-деталь може вносити істотно більші похибки. Виходячи з вимог точності і продуктивності в верстатах фрезерної і свердлильної груп у більшості випадків приймається дискретність 10 мкм, для багатоцільових, координатно-розточувальних, шліфувальних, електроерозійних різних верстатів 0,5-1 мкм. У токарних і фрезерних верстатах підвищеної точності дискретність не повинна перевищувати 1 мкм.

3.10 Промислові роботи

Найбільш універсальним устаткуванням, що забезпечує гнучкість автоматизованих виробництв, є ПР.

Промисловий робот – це автоматична машина, стаціонарна або мобільна, що складається з виконавчого пристрою у вигляді маніпулятора, що має кілька ступенів рухливості, і перепрограмувальні пристрої програмного керування для виконання рухових і керуючих функцій у виробничому процесі.

Маніпулятор (рис. 3.60) – керований пристрій для виконання рухових функцій, аналогічних функціям руки людини при переміщенні об'єктів у просторі, оснащений робочим органом, призначеним для безпосереднього виконання технологічних операції і (або) допоміжних переходів.

У даному визначенні під *перепрограмувальністю* розуміється така властивість ПР, як заміна керуючої програми автоматично або за допомогою людини-оператора. До перепрограмування відноситься зміна послідовності і (або) значень переміщень по ступеням рухливості, а також керуючих функцій за допомогою засобів керування на пульті пристрою керування.

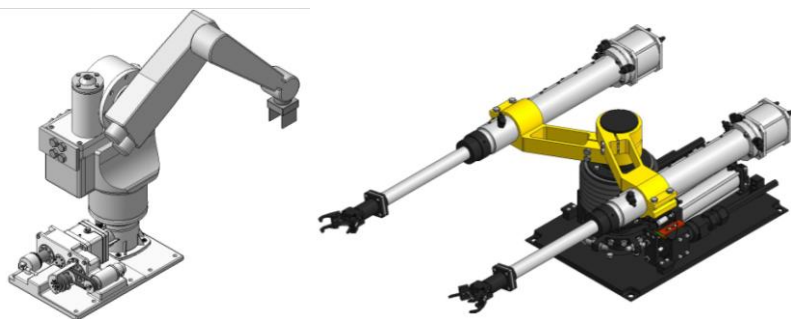


Рисунок 3.60 – Промислові роботи – маніпулятори

Структурна схема ПР, основні елементи конструкції та види рухів робочих органів наведено на рис. 3.61.

Промислові роботи є універсальним засобом автоматизації виробничих процесів в умовах великої номенклатури та частоті

зміни виробів. Вони можуть виконувати як основні, так і допоміжні операції з обслуговування технологічного обладнання.

На базі ПР створюються роботизовані ТК, що є сукупністю одиниць технологічного обладнання, ПР і засобів оснащення, які функціонують автономно і здійснюють багаторазові цикли.

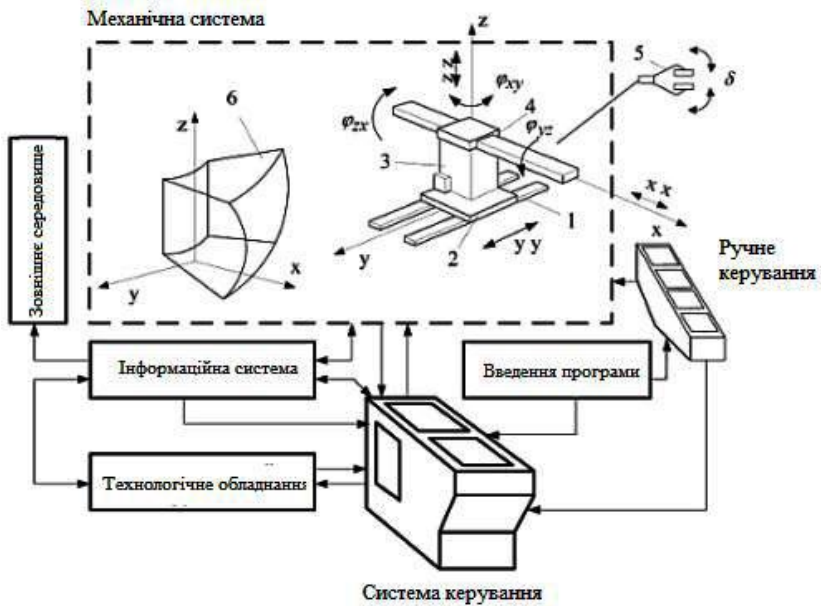


Рисунок 3.61 – Структурна схема ПР: 1 – шасі, 2 – основа, 3 – корпус, 4 – маніпулятор, 5 – захватний пристрій; 6 – робоча зона і основна система координат ПР, xx – напрямок руху маніпулятора уздовж поздовжньої осі, yy – напрямок руху корпусу робота по шасі, zz – напрямок руху маніпулятора вгору-вниз, φ_{xy} – кут повороту корпусу робота навколо вертикальної осі, φ_{zx} – кут повороту руки у вертикальній площині, φ_{yz} – кут повороту схвату відносно осі xx , δ – напрямок руху схвату деталі.

Засобами оснащення РТК можуть бути пристрої накопичення, орієнтації, поштучної видачі об'єктів виробництва та інші пристрої, що забезпечують функціонування РТК.

При обслуговуванні основного технологічного обладнання ПР здійснюють такі операції, як завантаження і розвантаження деталей, контроль, зміна інструментів, прибирання відходів, встановлення та зміна засобів контролю в автоматичному режимі. Широко поширене застосування ПР для обслуговування складського обладнання, вимоги до складського обладнанню розподіляють на технічні, економічні, експлуатаційні, організаційні та ергономічні.

Технічні вимоги поділяються на вимоги до геометричних і швидкісних характеристик устаткування. Наприклад, геометричні характеристики кранів-штабелерів повинні забезпечувати найбільш повне використання об'єму зони зберігання, а швидкісні характеристики – необхідну продуктивність.

Економічні вимоги регламентують найбільш повне використання обсягу складу.

Експлуатаційні вимоги обумовлюють таку характеристику устаткування, як точність його позиціонування щодо комірок складу.

Організаційні вимоги забезпечують умови безпеки праці обслуговуючого персоналу.

Ергономічні вимоги гарантують зручність роботи з обладнанням та його доступність для очищення та дезінфекції.

У транспортних системах ПР можуть виконувати самостійні операції з переміщення та накопичення вантажів, а також з обслуговування конвеєрних ліній.

Для досягнення надійності технологічних систем з ПР необхідно застосовувати резервування і діагностику стану окремих складових або систем в цілому.

Перед прийняттям рішення про доцільність використання конкретного ПР у цьому технологічному процесі виробляється техніко-економічний аналіз та оцінка різних варіантів застосування ПР.

При виборі ПР для включення в систему ГАВ використовується технічна класифікація ПР, в основу якої покладено розподіл ПР за функціями, особливостям елементів і груп робіт.

Класифікаційні особливості визначаються загальним виконанням, рухливістю і керуванням ПР.

Загальне виконання ПР характеризується рухливістю корпусу, вантажопідйомністю, числом маніпуляторів, системою координат, типом приводів, виконанням, точністю позиціонування і ступенем універсальності.

Рухливість корпусу визначає виконання ПР стосовно до умов роботи корпусу робота в нерухомому або рухомому стані. Роботи з нерухомими корпусами використовуються як при обслуговуванні різного устаткування, так і при виконанні основних технологічних операцій. При цьому вони можуть встановлюватися на підставках різних конструкції перед устаткуванням, що обслуговується або безпосередньо на ньому. Ці ПР зручні в експлуатації, але їх технологічні можливості обмежені межами робочої зони маніпулятора. Схема технологічної класифікації ПР представлена в табл. 3.1.

Рухливі підлогові ПР переміщуються уздовж технологічного обладнання на рейкових направляючих або на автоматичних візках – робокар. Рухливі підвісні ПР пересуваються по монорейки, розташовані над устаткуванням, що обслуговується. Рухливі ПР можуть обслуговувати кілька одиниць технологічного обладнання, розташованого вздовж траси пересування. Це розширює технологічні можливості ПР, але ускладнює умови експлуатації. Особливу групу складають ПР вертикального переміщення, що використовують захватні пристрої для покровового чи безперервного переміщення по вертикальним і похилим поверхням.

Вантажопідйомність визначає здатність ПР брати, утримувати і транспортувати предмети з регламентованою масою. Ця характеристика ПР поряд з рухливістю корпусу є одним з основних класифікаційних характеристик.

Надлегкі роботи вантажопідйомністю не вище 1 кг в основному застосовуються на допоміжних операціях і при складанні. Зазвичай вони представляють собою прості спеціалізовані пневматичні ПР, що володіють високою швидкістю.

Таблиця 3.1

Схема технологічної класифікації ПР

Групи	Загальне виконання							Точність позиціонування
	Рухливість	Вантажо-підйомність	Число маніпуляторів	Система координат	Тип проводів	Виконання		
А	Нерухомий	Надлегкі (до 1 кг)	1	Прямокутна	Пневматичний	Нормальне	Мале (нижче 1 мм)	
Б	Рухомий підлоговий	Легкі (1-1,1 кг)	2	Циліндрична	Гідрравлічний	Пилозахисне	Середня (0,1-1 мм)	
В	Рухомий підвісний	Середні (10-100 кг)	Багатоманіпуляторний	Сферична	Електро-механічний	Тепло-захисне	Висока (понад 0,1 мм)	
Г	Рухомий вертикального переміщення	Важкі (понад 100 кг)	-	Комбінована	Комбінований	Пожаро- та вибухо-безпечне	-	
Групи	Рухливість							Число зовнішніх команд
	Ступінь універсальності	Ступінь рухливості	Хід маніпуляторів	Швидкості	Тип керування	Метод програмування	Об'єм пам'яті	
А	Спеціальний	Мала (з числом ступенів до 3)	Малий (до 300 мм)	Мала (лінійна Швидкість до 0,5 м/с)	Циклове програмне	Навчанням: ручне, напівавтоматичне і автоматичне	Малий (менше 100 кадрів)	
Б	Спеціалізований	Середня (4-6)	Середній (300-1000 мм)	Середня (0,5-1 м/с)	Позиційно програмне	Аналітичний: Автоматичний Розрахунок програм	Середній (100-600)	
В	Універсальний	Висока (6 та більше)	Великий (понад 1000 мм)	Велика (понад 1 м/с)	Контурне програмне	Самонавчанням: за участі оператора, в процесі роботи	Великий (понад 600)	
Г	-	-	-	-	Адаптивне	-	-	

Легкі роботи вантажопідйомністю до 10 кг володіють середньою швидкістю і більш складною кінематикою рухів при різних типах приводів.

Середні роботи вантажопідйомністю до 100 кг бувають спеціальними, спеціалізованими і універсальними. Приводи у них зазвичай гідравлічні, електромеханічні або комбіновані, що забезпечують швидкість переміщень близько 0.5 м/с.

Важкі ПР вантажопідйомністю понад 100 кг відносяться, як правило, до групи спеціальних і спеціалізованих. Рухи реалізуються гідравлічними і електромеханічними приводами з малою швидкістю.

Число маніпуляторів наряду з швидкістю обумовлює продуктивність ПР. *Одноманіпуляторні* ПР застосовуються для здійснення транспортно-настановних операцій з високою швидкістю або для обслуговування технологічного обладнання при виконанні основної операції, що вимагає значного машинного часу. *Двухманіпуляторні* ПР використовуються для взяття, транспортування, завантаження та розвантаження виробів при обслуговуванні обладнання з малим робочим циклом. Два маніпулятора дозволяють поєднувати операції завантаження і розвантаження, що скорочує тривалість технологічного процесу. *Багатоманіпуляторні* роботи відносяться до групи спеціальних і використовуються у виробництвах, що мають можливість одночасного обслуговування декількох одиниць технологічного обладнання.

Система координат визначає технологічні можливості ПР.

Прямокутна система координат найбільш проста і забезпечує переміщення загарбного пристрою ПР у зоні, що має форму паралелепіпеда. Конструкції роботів з цією системою координат нескладні і зручні для програмування. До недоліків прямокутної системи координат відноситься деяке обмеження технологічних можливостей, так як важко брати об'єкт маніпулювання з місць зі складними підходами і подавати його у важкодоступні місця, що часто буває необхідно в процесі обробки деталі. Використання прямокутної системи координат, як прави-

ло, призводить до ускладнення технологічного оснащення для обслуговування ПР і до збільшення виробничої площі.

Циліндрична система координат забезпечує переміщення загарбного пристрою ПР у зоні, що має форму циліндра. Конструкції ПР для цієї системи координат також нескладні, а технологічні можливості дещо зростають.

Сферична система координат має найбільші технологічні можливості і забезпечує переміщення загарбного пристрою ПР у зоні, обмеженій частиною сфери. При цьому ПР в основному мають складаний маніпулятор і займають менше виробничої площі. Однак конструкції ПР з такою системою координат більш складні, так само як і способи їх програмування.

Тип приводів визначається видом енергії, що забезпечує переміщення окремих ланок ПР у потрібному напрямку. *Пневматичні приводи* застосовуються в ПР з вантажопідйомністю, як правило, до 10 кг і створюються на базі пневматичних циліндрів. Перевага подібних приводів полягає в простоті і надійності конструкції, а також дешевизні стисненого повітря як виду енергії. Їх недоліки, перш за все, пов'язані зі складністю проміжного позиціонування виконавчого механізму та керування швидкістю при переміщенні.

Гідравлічні приводи застосовуються в ПР з великою вантажопідйомністю та створюються на базі гідравлічних циліндрів і двигунів. Гідравлічні приводи компактні і здатні розвивати великі зусилля. Їх технологічні можливості розширюються за рахунок забезпечення регулювання зусиль у виконавчих механізмах і швидкостей переміщення. Недоліки даних приводів – невелика швидкохідність і підвищені вимоги до умов експлуатації, пов'язані з використанням рідини в якості робочого середовища.

Електричні приводи застосовуються в ПР з різною вантажопідйомністю та створюються на базі електродвигунів постійного і змінного струму, а також крокових двигунів. Роботи з електроприводами володіють найбільшою технологічною гнучкістю і добре стикаються з обслуговуючим обладнанням. Вони досить надійні в роботі, прості в обслуговуванні, регулюванні,

не мають трубопроводів, так як живляться електроенергією. До їх недоліків можливо віднести порівняно низькі показники питомої потужності.

Комбіновані приводи являють собою різні поєднання розглянутих типів приводів і створюються для розширення технологічних можливостей ПР.

Виконання ПР обумовлює можливість їх використання в різних умовах експлуатації.

Роботи *нормального виконання* призначені для звичайних умов експлуатації. Роботи пилозахищеного виконання використовуються при підвищеній запиленості згідно з існуючими нормами. Роботи *теплозахищеного виконання* застосовуються на виробництвах з зонами підвищеної температури. Роботи *пожежозахищеного* і *вибухозахищеного виконання* призначені відповідно для виробництв з підвищеними рівнями пожежонебезпеки і вибухонебезпечності. При цьому особлива увага приділяється обладнанню, використовуваному для запобігання аварійних ситуацій.

Роботи *комбінованого виконання* об'єднують в собі властивості, притаманні розглянутим вище в необхідному поєднанні.

Точність позиціонування забезпечує точність виходу робочого органу маніпулятора в задані точки, а також відтворення заданої траєкторії. При виконанні ПР основних технологічних операцій точність позиціонування повинна відповідати технічним вимогам для обробки або складання виробів. Необхідно враховувати, що точність позиціонування змінюється залежно від положення загарбного пристрою ПР у зоні маніпулювання. На кордонах зони зменшення точності може відбуватися, зокрема, за рахунок впливу пружної податливості ланок маніпулятора. Збільшення точності можливо досягти зменшенням швидкості переміщення ПР.

Для підвищення продуктивності і зниження вимог до точності самого ПР використовують компенсаційні елементи, що забезпечують податливість в процесі захоплення або встановлення деталі в робоче положення.

До роботів з *малою точністю позиціонування* відносять ПР з похибкою позиціонування більше 1,0 мм. Вони в основному використовуються на допоміжних операціях, рідше – на основних операціях, наприклад, при фарбуванні.

До роботів із *середньою точністю позиціонування* відносяться ПР з похибкою позиціонування від 0,1 до 1,0 мм. Вони широко використовуються, тому що в основному задовольняють вимогам, що пред'являються до обслуговування різних видів технологічного обладнання.

Роботами з *високою точністю позиціонування* є ПР з похибкою позиціонування менше 0,1 мм, використовувані зазвичай при виконанні складальних операцій.

Ступінь універсальності обумовлює необхідний рівень відповідності ПР запланованих робіт.

Спеціальні ПР призначаються зазвичай для виконання однієї операції. Вони прості, економічні і зручні в експлуатації.

Спеціалізовані ПР використовуються для виконання одностипних операцій, в межах яких володіють необхідною гнучкістю. Технологічні можливості спеціалізованих роботів, що складаються з уніфікованих модулів, розширюються шляхом варіювання компонування ПР залежно від конкретних вимог виробництва.

Універсальні ПР призначені для виконання найрізноманітніших операцій при обширній номенклатурі виробів. Мається можливість швидкого перепрограмування роботів цього типу, але вони відповідно дорожчі і складніші в експлуатації. Універсальні ПР володіють п'ятьма і більше ступенями рухливості.

Рухливість ПР характеризується ступенем рухливості, ходом маніпулятора і швидкодією.

Ступінь рухливості визначає здатність ПР до виконання складних рухів в процесі роботи. Переносні ступеня рухливості здійснюють транспортні рухи переміщення маніпулятора. Орієнтуючі ступені рухливості встановлюють транспортування предмету у потрібне положення і в задане місце. Вони реалізуються за допомогою кінцевої ланки маніпулятора та розташованих на

ній приводів настановних переміщень.

Ступені рухливості можуть бути лінійними і кутовими. Мала рухливість – з числом ступенів рухливості до 3 – характерна для спеціальних ПР. Вона спрощує конструкцію ПР, але одночасно обмежує його можливості. Середня рухливість – з числом ступенів рухливості до 6 – характерна для спеціалізованих і універсальних ПР, де вводяться орієнтуючі ступені рухливості. Висока рухливість передбачає наявність більше 6 ступенів рухливості. У промисловому виробництві доцільність використання такого числа ступенів рухливості виникає порівняно рідко.

Хід маніпулятора обумовлює переміщення маніпулятора при обслуговуванні обладнання або при виконанні основних технологічних операцій.

Маніпулятори з *малим ходом* (до 300 мм) призначені в основному для надлегких і легких спеціальних та спеціалізованих ПР.

Маніпулятори з *середнім ходом* (до 1000 мм) застосовуються для ПР з різними вантажопідйомністю та універсальністю.

Маніпулятори з *великим ходом* (більше 1000 мм) призначені для спеціалізованих і універсальних ПР, середньої і великої вантажопідйомності зі сферичною системою координат. Хід маніпулятора в поєднанні з переносними ступенями рухливості визначає зону обслуговування ПР, яка є важливим параметром при організації робочого місця. Із збільшенням ходу маніпулятора розширюється перелік обслуговуваного їм технологічного обладнання.

Швидкодія обумовлює середню швидкість переміщення предметів номінальної маси при транспортуванні. Збільшення швидкодії забезпечує скорочення часу на обслуговування технологічного обладнання і підвищення продуктивності ПР.

Швидкодія визначається швидкістю відповідних приводів маніпулятора, значення якої у свою чергу залежать від маси вантажу, ходу маніпулятора і складності траєкторії переміщення маніпулятора.

Для підбору характеристики робота по швидкодії необхід-

но знати сумарну швидкість переміщення робочого органу, що складається зі швидкостей окремих приводів.

Мала швидкодія відповідає швидкості переміщення до 0,5 м/с. Вона характерна для гідравлічних ПР з середньою і великою вантажопідйомністю.

Середня швидкодія відповідає швидкості переміщення до 1,0 м/с, притаманна ПР з різними системами приводів і широко використовується при автоматизації виробничих процесів.

Великій швидкодії відповідає швидкість переміщення вище 1,0 м/с, яка використовується дуже обмежено у зв'язку зі складністю експлуатації відповідних ПР.

Керування ПР характеризується типом керування, методами програмування, об'ємом пам'яті і числом зовнішніх команд програми.

Тип керування визначає можливості ПР з організації траєкторії руху. Керування може бути програмним і адаптивним. Програмне керування в свою чергу підрозділяється на циклове, позиційне і контурне.

Циклове програмне керування забезпечує зазвичай позиціонування за допомогою механічних упорів, розташованих в крайніх положеннях по кожному ступеню рухливості. Для збільшення числа точок позиціонування застосовують додаткові проміжні висувні упори. Циклові системи найбільш прості, дешеві і надійні в експлуатації. Їх недоліками є мала універсальність і обмежені технологічні можливості.

Позиційне програмне керування забезпечує від десятків до сотень програмованих точок траєкторії руху по кожному ступеню рухливості. У цьому випадку при програмуванні задається відповідний набір точок робочої зони, через які послідовно повинні пройти ланки маніпулятора при виконанні програми. Позиційне керування підвищує універсальність і технологічні можливості ПР, однак не дозволяє регулювати траєкторії між заданими точками.

Контурне керування дозволяє робити переміщення маніпуляторів ПР по безперервним траєкторіям і з безперервно

програмованою швидкістю руху. Системи контурного керування поділяються на аналогові і цифрові. В аналогових контурних системах керування програма записується на носій аналогової інформації, наприклад, на магнітну стрічку чи магнітний диск. Ці системи прості, але мають великий об'єм пам'яті і незручні для сполучення з ЕОМ. У цифрових контурних системах керування програма задається набором точок, а при відтворенні інтегрується в аналоговий сигнал. Цифрові системи володіють підвищеною точністю і зручністю зв'язку з ЕОМ. При розширених технологічних можливостях контурні системи складніші і дорожчі.

Комбіновані системи програмного керування створюються для оптимального поєднання циклових, позиційних та контурних типів керування.

Адаптивне керування забезпечує розширення можливостей ПР за рахунок використання систем очування на базі сенсорних пристроїв, що дозволяють визначати положення, конфігурацію та інші параметри об'єктів маніпулювання і навколишнього середовища. Відповідно до отриманих сигналів проводиться автоматична зміна керуючої програми. Адаптивні ПР можуть працювати в умовах невизначеності без спеціальних пристосувань, наприклад, для орієнтування деталей перед захопленням. При вбудовуванні розглянутих систем керування ПР у ГАВ необхідно забезпечувати їх стикування з відповідними рівнями локальної обчислювальної мережі.

Методи програмування роботи ПР забезпечують складання і введення програми для керування ПР. У програмі фіксуються послідовність здійснення рухів, положення ланок, час виконання елементів рухів, а також можуть задаватися швидкості переміщення ланок, команди на зовнішнє обладнання, і зусилля, пов'язані з виконанням операцій.

Залежно від способів введення інформації в пристрій керування ПР різняться на такі основні методи підготовки програм: програмування навчанням, автоматичне програмування та програмування самонавчанням.

Програмування навчанням здійснюється за безпосередньої участі оператора і є найбільш простим методом. Автоматичне програмування гарантує завчасну підготовку програм за допомогою автоматизованих систем.

Програмування самонавчанням може бути частковим і повним. При частковому самонавчанні автоматично створюється укрупнена програма з окремими елементами дії для визначення періодів роботи. На її основі пристрій керування ПР розробляє решту програми з урахуванням інформації, одержуваної від сенсорних пристроїв. При повному самонавчанні пристрій керування ПР на підставі завдання мети й інформації від сенсорних пристроїв формує робочі програми в реальному часі. Програмування самонавчанням застосовується в ПР з адаптивним керуванням.

Об'єм пам'яті пристрою керування ПР визначає кількість записаної керуючої інформації в процесі програмування, яка зазвичай представляється у вигляді кадрів. Кадри – це окремі елементи програми, що складаються з певної групи команд і адрес, за якими виконуються команди і забезпечується перевірка їх виконання.

Малий обсяг пам'яті (до 100 кадрів) мають ПР з цикловим позиційним керуванням з невеликим числом точок позиціонування.

Середній обсяг пам'яті (від 100 до 600 кадрів) мають ПР з позиційним і контурним керуванням.

Великий обсяг пам'яті (понад 600 кадрів) мають ПР з розвиненим контурним і адаптивним керуванням.

Кількість зовнішніх команд визначає можливості ПР за погодженням роботи із зовнішнім обладнанням. Кількість зовнішніх команд може бути малим – до 15, середнім – від 15 до 60 і більшим – понад 60 команд.

На базі розглянутих ПР створюються робототехнічні системи, серед яких можливо виділити наступні *основні класи*:

- маніпуляційні робототехнічні системи;
- мобільні робототехнічні системи;

- інформаційні та керуючі робототехнічні системи.

Маніпуляційні робототехнічні системи найбільш поширені і поділяються на три види, які включають в себе:

- автоматично діючі роботи, автоматичні маніпулятори і роботизовані ТК;
- дистанційно керовані роботи, маніпулятори та РТК;
- безпосередньо керовані оператором маніпулятори.

Мобільні робототехнічні системи являють собою рухомі платформи або шасі, переміщенням яких управляє автоматика. При цьому вони окрім програми маршруту руху мають датчики корекції маршруту, а також можуть автоматично навантажуватися і розвантажуватися. Підкласом таких систем є робототехнічні системи для переміщення по вертикальним поверхням.

Інформаційні та керуючі робототехнічні системи – це комплекси вимірювально-інформаційних і керуючих засобів, що автоматично виробляють збір, обробку та передачу інформації, а також використовують її для формування різних керуючих сигналів.

Різні класи робототехнічних систем можуть поєднуватися в одному комплексі. *Роботизація* – це проблема, що вимагає вирішення питання про спільне використання ПР різним обладнанням при єдиному управлінні від ЕОМ і вбудованих мікропроцесорів. Це завдання не тільки технічне, а й соціально-психологічне. Тому крім уміння користуватися новою технікою потрібно розуміння цього значення для майбутньої діяльності підприємства.

У складі основного технологічного обладнання ПР забезпечують автоматизацію операцій взяття заготовок з накопичувальних і орієнтувальних пристроїв, транспортування і укладання їх у тару або на проміжні пристрої для виконання подальших операцій. Використання ПР дозволяє також здійснювати переналаджування технологічного обладнання. При необхідності захоплення розосереджених деталей потрібне використання адаптивних роботів, здатних виробляти розпізнавання становища деталей.

Операції з обслуговування основного технологічного устаткування часто вимагають створення спеціальних захватних пристроїв ПР для різних типів і розмірів деталей. У засобах інструментального забезпечення ПР виробляють автоматичну зміну інструментів та інструментальних блоків у міру їх зносу або при переході до обробки нової групи деталей.

Практично всі області застосування ПР включають в себе операції транспортування та контролю. У ряді випадків для підвищення ефективності використання ПР і збільшення продуктивності ТП доцільно суміщення виконання зазначених операцій у часі. Прикладом може служити процес сортування деталей за допусками, широко поширений і здійснюваний перед подачею деталей для обробки на основне технологічне обладнання. Якщо потрібно виконати сортування деталей за габаритними розмірами, можливо використовувати ПР за схемою, що представлена на рис. 3.62.

Робот захоплює деталі, що потребують сортування, зі вхідного накопичувача і транспортує їх у напрямку прийомних накопичувачів, одночасно виробляючи контроль наявності в зоні допуску габаритного розміру деталі. За результатами контролю пристрій керування ПР організовує рух відповідно до накопичувача деталей, розміри яких знаходяться в зоні допуску, або до накопичувача деталей, розміри яких виходять за межі зони допуску. Операція контролю проводиться після затиснення деталі шарнірно-важільним механізмом з профільними губками, вигляд яких вибирається залежно від форми деталі. Оскільки положення обмежувача щодо датчика, закріпленого на вимірювальному кронштейні, обумовлене розмірами деталі, на виході датчика виробляється інформаційний сигнал, аналізований потім у пристрої керування. За результатами аналізу приймається рішення про вибір необхідної траєкторії руху ПР.

У якості датчика можливо використовувати пневматичний локаційний вимірювач, що володіє високою точністю ідентифікації положення обмежувача. Гнучкість виконання операції контролю забезпечується легкістю переналагоджування конструкції

на різні номінальні розміри деталей шляхом попередньої установки вимірювального кронштейна в положення, що визначає робочий зазор між датчиком і обмежувачем. Чутливість вимірювань регулюється зміною довжини вимірювального кронштейна. З наведеного прикладу випливає, що важливе значення при автоматизації операцій транспортування та контролю має конструкція загарбного пристрою ПР.

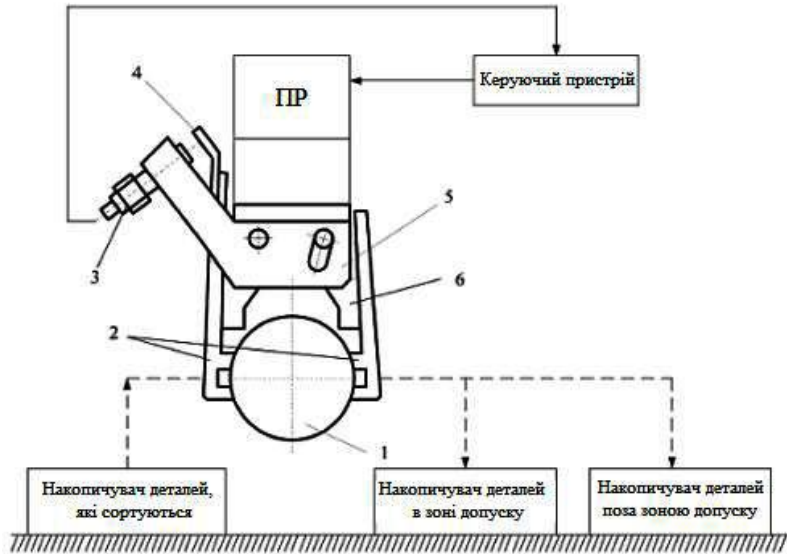


Рисунок 3.62 – Схема суміщення операцій транспортування та контролю при сортуванні деталей: 1 – контрольована деталь, 2 – профільні губки, 3 – локаційний датчик, 4 – обмежувач, 5 – вимірювальний кронштейн, 6 – шарнірно-важільний механізм

Захватні пристрої ПР служать для захоплення і утримання в певному положенні об'єктів маніпулювання. Зазвичай ПР комплектують набором типових хватних пристроїв, які можливо змінювати в залежності від вимог конкретного робочого завдання. До числа обов'язкових вимог відносяться надійність захоплення і утримання об'єкта, стабільність базування,

неприпустимість ушкоджень об'єктів, а також висока міцність при малих габаритах і масі. Додатковими вимогами є можливість захоплення деталей в широкому діапазоні маси, розмірів і форми, легкість і швидкість заміни захватних пристроїв, автоматична зміну зусилля утримання об'єкта в залежності від маси деталі, здатність захоплення неорієнтовано розташованих деталей.

Деякі додаткові вимоги можливо задовольнити, використовуючи адаптивні захватні пристрої, оснащені датчиками зовнішньої інформації про наявність об'єкта маніпулювання, його форми, розмірах, маси, стані поверхні, зусиллі утримання, ступеня можливого прослизання і про інші параметри.

На рис. 3.63 представлений загальний вигляд *антропоморфного трипального загарбного пристрою*, здатного переносити тендітні вироби невеликої маси зі значними відхиленнями форми і розмірів, наприклад лампи.

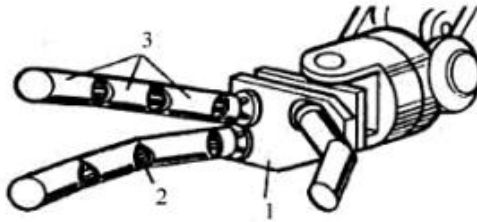


Рисунок 3.63 – Захватний пристрій з тросовим механізмом:
1 – кисть, 2 – троси, 3 – фаланги пальців.

Рух пальців здійснюється за допомогою пропущених всередині них тросів, що робить конструкцію компактною. Трипала кисть забезпечує більше десяти ступенів рухливості двигуном постійного струму, винесеним за межі загарбного пристрою.

На рис. 3.64 зображено *адаптивний захватний пристрій*, здатний зафіксувати зіткнення з об'єктом і зусилля утримання, а також орієнтувати захватне пристрій на об'єкт за допомогою локації, що дозволяє здійснювати пошук, розпізнавання і збірку об'єктів.

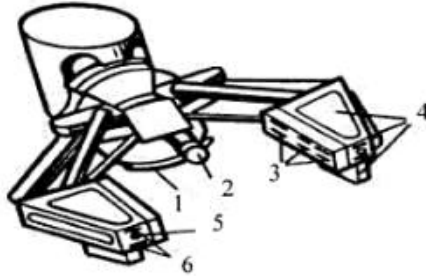


Рисунок 3.64 – Адаптивний захватний пристрій з тактильними датчиками: 1 – важіль, 2, 3, 6 – датчики тиску, 4 – тактильні датчики, 5 – фотодіод.

Зіткнення з об'єктом фіксується за допомогою шести тактильних датчиків, встановлених на зовнішніх сторонах пристрою і побудованих на основі мікроперемикачів. Зусилля утримання контролюється за допомогою потенціометричних датчиків тиску, змонтованих на губках і на важелі між ними, а локація проводиться фотодіодами.

На рис. 3.65 наведено пристрій для захоплення неорієнтовано розташованих деталей типу плоских дисків.

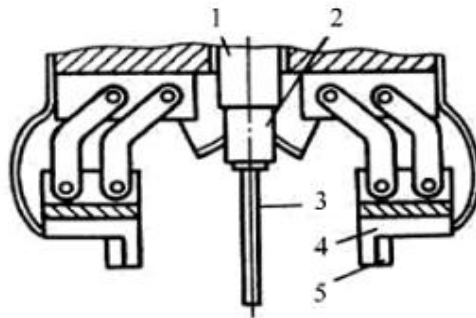


Рисунок 3.65 – Адаптивний захватний пристрій з дальномірами: 1 – висувний елемент, 2 силовий датчик, 3 – щуп, 4 – затискні губки, 5 – фотодальномір

Висувний елемент з силовим датчиком з'єднаний зі щупом, а в торцях затискних губок розміщені фотодальноміри.

При розкритих губах і висунутому щупі проводиться сканування поля розташування деталей.

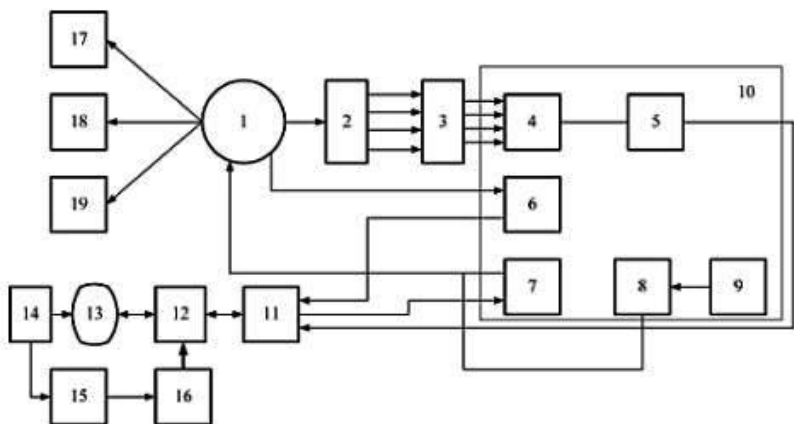
При зіткненні щупа з деталлю за допомогою датчика визначається її положення шляхом знаходження напрямку нормалі до циліндричної поверхні об'єкту. Після цього захватний пристрій виводиться на центр диска і повертається навколо поздовжньої осі маніпулятора ПР, а фотодальноміри знаходять вільні ділянки зовнішньої поверхні деталі, які можуть бути використані для її захоплення.

Розрізняють два види модулів ГАВ – апаратні і програмні. *Апаратні модулі* реалізують різні ТП, а *програмні модулі* формують програмне забезпечення системи керування ГАВ. Модульність забезпечується широким застосуванням стандартних засобів апаратурно-програмного інтерфейсу. До апаратних модулів відноситься *гнучкий виробничий модуль* – одиниця технологічного обладнання для виробництва виробів довільної номенклатури в установлених межах значень їх характеристик. Модуль має програмне керування, автономно функціонує, автоматично здійснює всі функції, що пов'язані з виготовленням виробів, може вбудовуватися в гнучку виробничу систему.

Контрольно-вимірювальна система складається з вимірювальної головки і блоку обробки даних. Вимірювальна головка має аналогову вимірювальну систему і перетворювач. Вона знаходиться в магазині верстата і за командою програми вставляється в шпиндель замість інструменту. Контроль здійснюється за допомогою контакту деталі з щупом вимірювальної головки. Сигнал вимірювання передається в блок обробки даних, що містить приймач, мікропроцесор і пристрій введення для передачі корекції в систему ЧПК. Подальша обробка вимірів і видача керуючих впливів на корекцію виробляються системою ЧПК.

У деяких випадках контрольно-вимірювальну систему доцільно реалізовувати у вигляді самостійного гнучкого модуля. Прикладом може служити автоматизація контролю листового матеріалу, заготовки з якого мають великі габарити і масу, причому їх геометричні параметри повинні вимірюватися з високою

точністю одночасно в декількох точках. Структура такого модуля наведена на рис. 3.66.



*Рисунок 3.66 – Структура контрольно-вимірювального модуля:
 1 – робот-укладальник, 2 – контрольно-вимірювальний стіл,
 3 – датчики-перетворювачі, 4 – схема аналізу ситуації,
 5, 6, 7 – оптичні розв'язки, 8 – тиристорна схема, 9 – пульт
 ручного керування, 10 – стойка керування, 11 – інтерфейс, 12 – EOM,
 13 – дисплеї, 14 – оператор, 15 – фотосчітувач; 16 – пристрій
 керування, 17 – заділ заготовок, 18 – піддон кондиційних листів,
 19 – піддон некондиційних листів.*

Метою контролю в даному випадку є сортування листового матеріалу з заділа заготовок, що знаходиться на вході модуля. На виході модуля за результатами вимірювання проводиться укладання заготовок відповідно в піддони кондиційних або некондиційних аркушів.

Робота модуля здійснюється наступним чином. Робот-укладальник захоплює верхню заготовку з стопи, що знаходиться в доробку, і поміщає її на контрольно-вимірювальний стіл в робочу зону вимірювань. На столі знаходяться датчики-перетворювачі, встановлені в необхідних за технологією точках контролю. Кожен датчик знімає інформацію про геометричні

параметри заготовки щодо поля допуску і видає результуючий сигнал на схему аналізу ситуації.

Якщо всі сигнали з датчиків показують відповідність заданим вимогам, то схема аналізу ситуації через інтерфейсну плату вводу-виводу посилає в керуючу ЕОМ повідомлення, після якого почне діяти програма укладання роботом заготовки в піддон для кондиційних аркушів з позиції на контрольно-вимірювальному столі.

Якщо хоча б один сигнал з датчиків-перетворювачів вказує на вихід контрольованого параметра за поле допуску, то реалізується програма укладання заготовки в піддон для некондиційних аркушів. Після цього цикл вимірювань повторюється для наступного заготовки.

До ПР та РТК також висувають ряд вимог, що обумовлені їх призначенням та умовами роботи.

ПР повинні забезпечувати виконання допоміжних функцій: установку заздалегідь орієнтованих заготовок в пристосування верстата, зняття деталі з верстата і розкладку їх у тару або укладання в магазин (транспортёр), кантування деталей на 90°, 180°, видачу технологічних команд, міжстаночне транспортування.

ПР як обладнання автоматизації повинні мати:

- конструктивно-технологічні параметри, відповідні технічним параметрам: вантажопідйомність, швидкість переміщення, точність позиціонування, розміри робочої зони;
- можливість покращувати техніко-економічні показники: продуктивність не менш, ніж на 20 %, підвищувати коефіцієнт завантаження ТО в 2-2,5 рази і т. д.;
- мінімальне число ступенів рухливості за умови забезпечення необхідних переміщень;
- достатній ступінь універсальності для можливості переходу устаткування з випуску одного виробу на інше з мінімальними витратами часу;
- високу надійність, жорсткість, вібростійкість всіх робочих органів. Напрацювання на відмову повинна бути не менше

100 год;

- зону, що забезпечує можливість спостереження за процесом обробки і втручання в процес у разі аварійної ситуації із забезпеченням при цьому умов безпеки обслуговуючого персоналу.

Роботи, що входять до складу РТК, повинні додатково забезпечувати :

- спільну роботу всіх пристроїв, що входять в РТК, на основі механічних і електричних зв'язків (ЧПК, основного технологічного обладнання, засобів оснащення, пристроїв керування ПР і мікропроцесорів виконавчих механізмів), узгодження взаємних команд, а також автоматизоване або автоматичне перепрограмування;
- вільний доступ в зону установки і зняття деталей з верстата, в зону переміщення загарбного пристрої, технологічного оснащення та інших систем, а також можливість маніпулювання предметами праці між машинами і механізмами РТК;
- автоматизовану або автоматичну зміну інструменту, оснащення та робочих органів ПР.

Застосування ПР як засобів автоматизації верстатів може здійснюватися в двох напрямках:

- створення однопозиційних РТК, де робот обслуговує один верстат. При цьому ПР може бути автономним або вбудованим у верстат. Автономні ПР більш універсальні і можуть обслуговувати гаму верстатів з схожими зонами завантаження. Вбудовані ПР створюються, як правило, для певної моделі і кріпляться до певної частини корпусу;
- створення багатопозиційних і групових ТК на основі ПР, обслуговуючих групу верстатів (від 2 до 6). У таких РТК ПР, крім операцій завантаження, ТО виконує міжстаночне транспортування деталей, їх переорієнтацію, а також функції керування (узгодження послідовності роботи) верстатами. Групові комплекси створюються на основі ПР з ЧПК, що володіє великим об'ємом пам'яті і здатним

обслуговувати різнотипні верстати, що мають подібні схеми завантаження та характеристики оброблюваних деталей.

3.11 Автоматичні транспортні системи

Автоматичні транспортні системи (АТС) разом з автоматичними складами утворюють єдину автоматичну транспортно-накопичувальну систему (АТНС). Робота АТНС визначається якісними характеристиками виробництва та його функціональної спрямованістю.

Структура АТНС може бути підрозділена на міжцехові, цехові і локальні рівні (рис. 3.67).

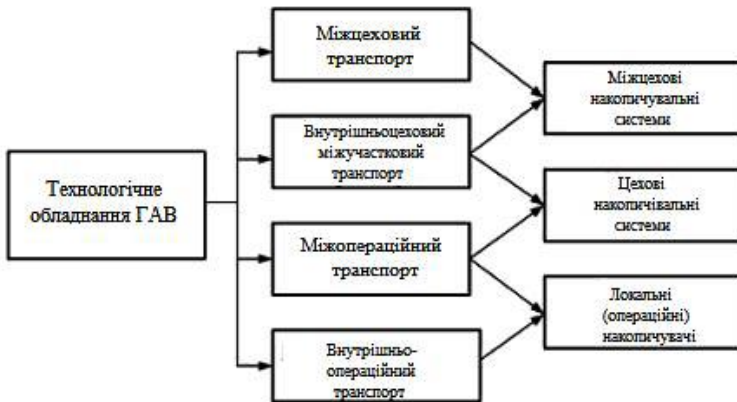


Рисунок 3.67 – Транспортно-накопичувальні системи

Транспортні зв'язки охоплюють міжцехові, міжчасткові і міжопераційні вантажопотоки, а також всі елементи переміщень, включаючи орієнтацію і установку заготовки, з'їм виробів та їх касетування.

Автоматичні склади, комори та операційні накопичувачі виконують функції буферних пристроїв, що згладжують порушення ритму роботи технологічного обладнання.

Місцеві накопичувачі або склади містять інструмент,

оснастку, заготовки і тару. Оптимальний режим роботи обробної комірки задається багаторівневою системою керування ГАВ, що узгоджує роботу основного технологічного обладнання, накопичувачів і транспорту. Готові вироби, замінені або інструмент і оснастка, що вийшли з ладу, а також відходи по командах системи керування транспортуються в накопичувачі. При цьому можуть бути передбачені зворотні вантажопотоки багатооборотної технологічної тари і оснащення.

Вантажопотоки промислового підприємства мають безліч взаємно пересічних і розгалужених зв'язків (рис. 3.68).

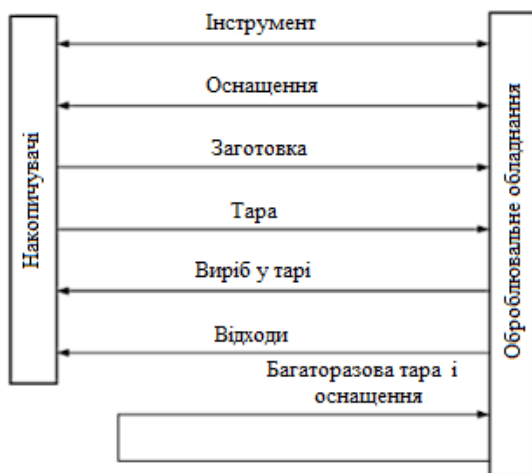


Рисунок 3.68 – Вантажопотоки промислового підприємства

Вантажопотоки визначають вибір транспортних засобів. *Вантажі* в загальному випадку діляться на шість класів:

- сипучі;
- штучні довгомірні;
- штучні короткомірні;
- штучно-масові;
- газоподібні;
- наливні.

Виходячи з транспортно-технологічних характеристик вантажі класифікуються за масою, розміром, формою, способом завантаження, виглядом і властивостями матеріалу.

Класифікація виробів, що транспортуються, *за масою* (кг) наведена нижче:

- мініатюрні (до 0.01 кг);
- легкі (до 0,5 кг);
- середні (до 16 кг);
- перехідної маси (до 125 кг);
- важкі (понад 125 кг).

За способом завантаження вантажі діляться на вантажі в тарі, без тари, орієнтовані, касетовані, в пакетах, на супутниках або транспортовані навалом.

За формою вантажі бувають:

- у вигляді тіл обертання;
- корпусні;
- дископодібні;
- спіцеобразні і т. д.

За видом матеріалу вантажі поділяються на:

- металеві (сталь, кольорові метали, сплави);
- неметалеві (кераміка, пластмаса, скло, дерево і т. д.).

За властивостями матеріалу вантажі діляться на:

- тверді;
- крихкі;
- пластичні;
- магнітні.

Вантажопотоки поділяються на безперервні і дискретні, які, у свою чергу, можуть бути відгалуженими і прямоструминними, зворотними, або володіють тими і іншими ознаками.

На основі аналізу вантажопотоків вибирається відповідна структура АТНС. При багаторядному розташуванні обладнання найбільш доцільна структура автоматичного розвантаження з розгалуженням траси, що дозволяє реалізувати декілька функцій одним транспортним засобом (рис. 3.69).

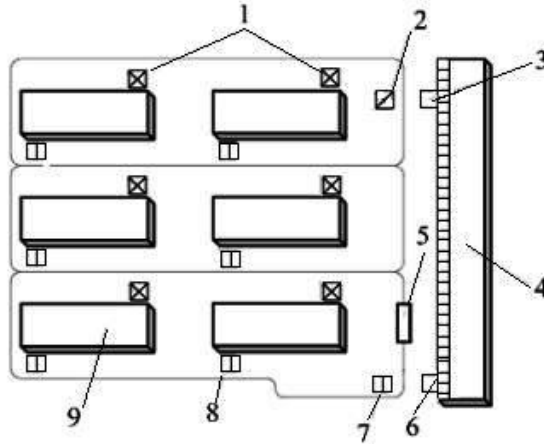


Рисунок 3.69 – АТНС з розгалуженою трасою: 1 – накопичувачі, 2 – система контролю розмірів, 3 – перевантажувальний стіл, 4 – автоматичний склад, 5 – візок, 6 – приймальний стіл, 7 – стіл для піддонів, 8 – піддони для відходів, 9 – технологічне обладнання.

З автоматичного складу заготовки в маркованій тарі за допомогою автоматичного штабелера подаються на перевантажувальний стіл, який служить приймальною станцією візків, забезпеченою пристроєм для завантаження і розвантаження. Цей пристрій передає заготовки на накопичувачі, а готові вироби забирає з них у міру необхідності і відповідно до пріоритету в обслуговуванні.

Така схема забезпечує гнучкість в керуванні передачею заготовок з обладнання при наявності контролю їх розмірів. У візку також переміщуються порожні піддони для відходів. Для складування піддонів призначений спеціальний стіл. Вироби в тарі подаються на приймальний стіл, звідки автоматичним штабелером завантажуються у вільні комірки складу.

Число *транспортних зв'язків* можливо зменшити шляхом раціонального компонування накопичувачів в зоні розташування технологічного обладнання. За рахунок роздільного застосування складів заготовок і виробів спрощуються вантажопотоки

оброблюваних деталей. Завдяки розміщенню інструментального складу та системи контролю поблизу технологічного обладнання скорочується обсяг транспортування інструменту і оснащення. Відходи передаються в централізовану систему видалення відходів, яка може бути незалежною від транспортних засобів.

Для підвищення надійності роботи гнучкого автоматизованого виробництва складання АТНС можуть включати кілька видів накопичувачів або складів і кілька типів транспорту.

Накопичувачі призначені для створення страхових або технологічних заділів і забезпечені пристроями автоматичного завантаження. Міжопераційне перевантаження виконуються підвісним роботом, а зв'язок між модулями збірки і складом комплектуючих виробів здійснюється автоматичним візком.

Економія виробничих площ досягається при об'ємному компонуванні комірок ГАВ. При короткочасному зберіганні мініатюрних і легких виробів радіоелектронного приладобудування в супутниках з фіксацією економічні підвісні накопичувачі.

Склад технічних засобів АНТС включає основні і допоміжні засоби (рис. 3.70).



Рисунок 3.70 – Склад технічних засобів АНТС

До *основного обладнання* АТНС відносяться конвеєри, транспортні роботи, пристрої пневмо- і гідротранспорту, склади, стелажі, штабелери, ПР, а також ЕОМ, мікропроцесори, датчики і пульти керування.

До *допоміжного обладнання* АТНС відносяться орієнтатори, адресователі, штовхачі, скидачі, накопичувачі, підйомні і поворотно-координатні столи, підйомники, вібробункера, перевантажувальні візки, живильники і тара.

Кожен з перерахованих технічних засобів АТНС підрозділяється на різні типи залежно від призначення. Класифікація основних типів конвеєрів представлена на рис. 3.71.

Стрічкові, пластинчасті і роликові конвеєри забезпечують високу надійність транспортних зв'язків. Вони дешеві і прості у виконанні. Для транспортування відходів використовують скребкові, пластинчасті і гвинтові конвеєри.

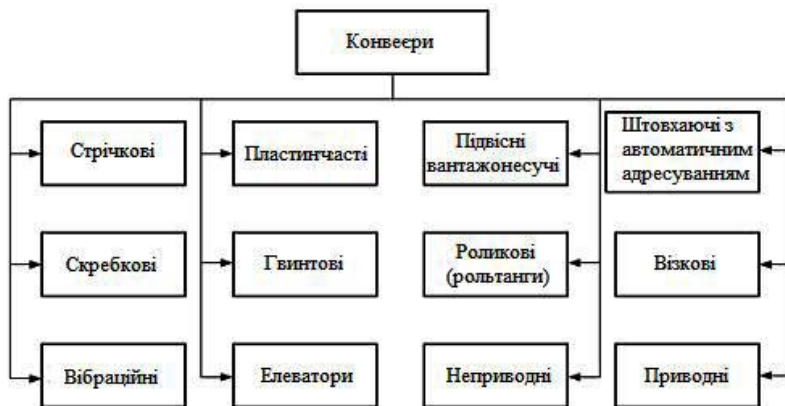


Рисунок 3.71 – Класифікація основних типів конвеєрів

Скребкові конвеєри дозволяють підвищити ефективність виконання операції транспортування за рахунок одночасного подрібнення відходів нерухожими ножами, зуби яких спрямовані проти ходу тягового органу під кутом. Після цього відходи пересуваються шкребками до кінцевої ділянки конвеєра, де провалюються у прийомні конвеєри через безліч різних отворів,

розташованих у шаховому порядку, що дозволяє сортувати відходи по фракціях.

У АТНС застосовуються *монорейкові дороги* (монорельси), що виконуються у вигляді підвісних доріг і обслуговуючі міжцехові та внутрішньоцехові вантажопотоки. Їх переваги – висока економічність, великий діапазон швидкостей, можливості скорочення виробничих площ, автоматичного адресування і використання програмного керування.

По складності схеми доріг поділяються на елементарні, прості і складні. Елементарна схема не має відгалужень, проста схема має до п'яти стрілочних переводів, а складна схема може мати безліч стрілочних переводів, поворотних кіл та міжповерхових підйомників. Максимальна вантажопідйомність монорейкових доріг досягає 20 т.

Монорельс можливо кріпити безпосередньо до несучих частин виробничих будівель, застосовуючи проміжні балки. Існують гнучка і жорстка форми підвісних шляхів. Гнучка форма дозволяє балці вільно повертатися і зміщуватися. Керування рухомим складом монорейки включає операції з переказу стрілок, зміни швидкості руху, аррестори та узгодження з роботою накопичувальних і передавальних пристроїв.

До недоліків монорейкових доріг, так само, як і конвеєрів, можливо віднести складність зміни довжини і напрямку траси, переходу на велику вантажопідйомність і досягнення високої точності позиціонування.

Важливу роль у створенні АТНС грають *транспортні роботи*. Вони є гнучким засобом реалізації міжчасткових і міжопераційних зв'язків. Переваги транспортних роботів полягають у малих габаритах, великому діапазоні регулювання продуктивності, автономності та можливості звільнення проїздів після закінчення роботи для інших видів транспорту.

На рис. 3.72 показана класифікація транспортних роботів.

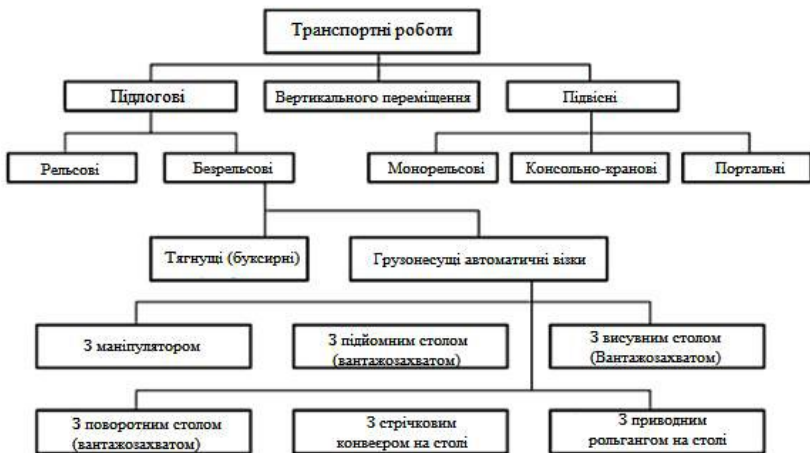


Рисунок 3.72 – Класифікація транспортних робіт

Всі транспортні роботи діляться на підлогові, вертикального переміщення і підвісні. Підлогові транспортні роботи можуть бути рейковими і безрейковими, а підвісні монорейковими, консольно-крановими і портальними. Роботи вертикального переміщення можуть бути з дискретним і безперервним рухом.

У АТНС ГАВ широко застосовуються підлогові безрейкові автоматичні візки, які можуть бути грузонесучими і тягнучими. До останніх відносяться тягачі та буксири з причепами. Безрейкові грузонесучі автоматичні візки мають широкі можливості за рахунок простоти створення нових транспортних шляхів і оснащення їх пристроями автоматизації вантажно-розвантажувальних операцій, зазначених у класифікації.

Транспортні роботи можливо обладнати підйомними, підйомно-поворотними столами і висувними штангами для підйому і фіксації на потрібній висоті піддонів з вантажами або касет із заготовками.

У корпусі автоматичного візка монтуються електроприводи руху та повороту, що живляться від акумулятора, і пристрій керування рухом і підйомом на основі бортової ЕОМ, пристрій

маршрутостеження, наприклад оптоелектронного типу, і датчики контролю за станом вузлів. Для забезпечення безпеки експлуатації застосовується механічна система відключення приводу від дуги безпеки, що спрацьовує в разі дотику до перешкоди. Відлік пройденого шляху проводиться за допомогою датчика, що працює від колеса візка. Інформацію про маршрут руху візок отримує на станціях зупину, розміщених біля складу і технологічного устаткування, за допомогою оптоелектронної системи обміну інформацією без електричного контакту. Маршрутостеження здійснюється по світловідбиваючій смузі, проведеної вздовж траси руху. Візок в автоматичному режимі може підходити до станції підзаряду акумуляторів після закінчення роботи.

Безрельсовий автоматичний транспорт може використовуватися в технологічних лініях збірки, коли заготовка на візку по ходу руху оснащується вузлами і деталями аж до виходу готового виробу. У виробництві мініатюрних і легких виробів радіопромисловості кілька автоматичних візків з автоматичним адресуванням можуть обслуговувати підвісну транспортну систему. При цьому просторова компоновка траси включає в себе горизонтальні і вертикальні ділянки, а також майданчики стрілочних переходів. У межах кожного етапу траса утворює замкнуту кільцеву лінію, рух по якій здійснюється в одному напрямку. На кожному поверсі міжповерхових ділянок траси мають поворотні пристрої для замикання внутрішньовантажного контуру траси і підведення візків на вертикальні треки в залежності від адреси.

Для міжопераційного транспортування виробів можливо застосовувати *монорейкові транспортні роботи*. Вони складаються, як правило, з електровізків, що переміщується по монорельсу, і встановленого на ній ПР. Такі транспортні роботи відрізняються від монорейкових підвісних доріг з візками автоматичного адресування тим, що мають пристрій для маніпулювання виробами і тарою. Це дозволяє виконувати різні елементи технологічних операцій, такі, як орієнтація, укладання, перенесення і перестановка виробів і тари за програмованою траєкторією.

єю, завантаження і розвантаження підвісок грузонсучіх конвеєрів, а також завантаження технологічного обладнання.

Системи керування транспортно-накопичувальними системами в загальному випадку мають ієрархічну структуру обробки інформаційних потоків, що складається з нижнього і верхнього рівнів.

Нижній рівень системи керування АТНС включає локальні пристрої автоматизації і керування транспортним устаткуванням, штабелерами і транспортними роботами. На цьому рівні забезпечується:

- керування приводами транспортних систем;
- точне позиціонування транспорту біля робочого місця;
- зупинка транспорту при аварійних ситуаціях;
- завантаження і розвантаження накопичувачів;
- вироблення і передача сигналу для контролю та діагностики.

Верхній рівень системи керування АТНС здійснює:

- завдання маршрутів руху транспорту (адресування);
- контроль і діагностику несправностей;
- облік руху вантажу.

У комплекс технічних засобів системи керування нижнього рівня зазвичай входять датчики, призначені для визначення наявності або відсутності вантажу, а також датчики положення транспорту, рівнів для накопичувальних систем, зусиль, безпеки та інші вимірювальні прилади. Використання ЕОМ дозволяє реалізувати логічні функції керування (адресування, блокування, перемикання режимів роботи приводів, керування приводами) не апаратним, а програмним шляхом. ЕОМ забезпечує зв'язок з верхнім рівнем керування і додає системі гнучкість і модульність. Зв'язок ЕОМ з датчиками і виконавчими механізмами здійснюється за допомогою пристроїв введення-виведення.

До пристроїв керування і автоматизації нижнього рівня ставляться вимоги повної автоматизації транспортного процесу, сполучення з системою керування верхнього рівня, адаптованості до зміни транспортних потоків, модульності побудови, висо-

кої надійності пристроїв автоматики (напрацювання на відмову не менше 5000 год.), наявності на виході уніфікованого сигналу, контролю правильності роботи.

Система автоматичного контролю (САК) та діагностики роботи АТНС призначається для забезпечення безперебійного функціонування обладнання вантажопереробки і його експлуатаційної надійності шляхом оперативного виявлення критичних і аварійних ситуації. Система контролю та діагностики здійснює збір інформації про стан найбільш відповідальних вузлів АТНС та елементів системи керування, обробляє цю інформацію за заданим алгоритмом, приймає рішення про можливість подальшого функціонування складових елементів АТНС і виводить інформацію про несправності на пульт керування й індикації. Система функціонує в режимах діагностування початкового стану АТНС і систем управління, тестової діагностики та діагностування поточного стану обладнання АТНС.

У режимі діагностування початкового стану обладнання АТНС і систем керування визначається готовність всього комплексу обладнання до початку роботи. У цьому режимі проводиться контроль кіл електроживлення та керування, вихідного стану окремих вузлів АТНС, правильності вихідних сигналів від датчиків положення і адресації. Діагностування проводиться на початку кожного робочого дня перед пуском транспортно-накопичувального комплексу.

Завданнями режиму тестової діагностики є перевірка працездатності основних складових АТНС при впливі на них тестових програм, а також профілактичне виявлення несправних вузлів системи, параметри яких близькі до відмови. Програма включає контроль за проходженням технологічних команд на елементи АТНС з вимірюванням рівня відповідних сигналів і перевіркою послідовності і часу їх отримання. У результаті відпрацювання тестової програми на пульті оператора висвічуються номери вузлів підсистем, режими яких не відповідають заданим значенням за критеріями працездатності і прогнозування. Дана перевірка проводиться перед початком роботи комплексу

після діагностики його стану.

У режимі діагностування поточного стану обладнання АТНС контролюється правильністю виконання керуючих програм в найбільш інформативних вузлових точках. На згадку діагностичного пристрою вводиться програма, що містить інформацію про задані стани обладнання системи і елементи системи керування, відповідні кожному кроку керування. У момент переходу до наступного кроку відбувається порівняння поточних і заданих параметрів з одночасним виміром часу відпрацювання даного кроку.

Контрольні питання до розділу 3

- 1. Що являє собою технологічна система?*
- 2. Які ієрархічні рівні виділяють у сучасних ТС?*
- 3. Які види ТС розрізняють та в чому полягають особливості кожного з них?*
- 4. Що відносять до показників надійності ТС?*
- 5. В чому полягає сутність метода параметричної рандомізації?*
- 6. Що таке автоматична потокова лінія?*
- 7. Поясніть структурний склад автоматизованого виробничого підрозділу.*
- 8. Які розрахунки проводяться при проектуванні АПЛ?*
- 9. Що таке засоби автоматизації, на які підвиди вони розподіляються?*
- 10. Що відносять до технічних засобів автоматизації?*
- 11. Яка саме модель побудови є найбільш характерною для сучасних АСУ ТП та чому?*
- 12. Що таке автоматичний регулятор?*
- 13. Які типи АСР розрізняють?*
- 14. Що розуміють під стійкістю АСР?*
- 15. Що називають статичною характеристикою об'єкта?*
- 16. Що розуміють під технічним контролем?*
- 17. Поясніть типову структуру САК.*

18. *Що відносять до технічних засобів контролю на сучасних виробництвах радіоелектронного приладобудування?*
19. *Що таке засоби вимірювань та їх типи розрізняють за функціональним призначенням?*
20. *Які переваги надало застосування мікропроцесорних засобів автоматизації?*
21. *Що включає до себе мікропроцесорна система?*
22. *В чому полягає сутність модульного принципу?*
23. *Що називають системою ЧПК?*
24. *Що таке промисловий робот та що може виступати прикладами його застосування у зазначеній галузі?*
25. *Що включає до себе поняття автоматичної транспортно-накопичувальної системи?*

1. РОЗРАХУНОК ОДНОПРЕДМЕТНОЇ БЕЗПЕРЕРВНО-ПОТОВОКОВОЇ ЛІНІЇ

Організація *однопредметної безперервно-потокової лінії* (ОБПЛ) – найбільш досконала форма організації потокового виробництва, при якій:

- норми часу виконання операцій рівні або кратні такту (ритму);
- предмети праці переміщуються з одного робочого місця на інше без пролежування (паралельний вид руху);
- кожна операція закріплена за певним робочим місцем (вузька спеціалізація робочих місць);
- робочі місця розташовані в порядку послідовності робочого процесу (принцип точності).

Якщо тривалість кожної операції дорівнює такту (при поштучній передачі) або ритму (при передачі партіями), то на кожній операції досить одного робочого місця і вироби через один і той же інтервал часу будуть передаватися з попередньої операції на наступну. Якщо ж тривалість операції кратна такту, то на паралельно працюючих робочих місцях кожної операції буде оброблятися одночасно кілька виробів, що надходять в певній послідовності.

Основними *календарно-плановими нормативами* однопредметних безперервно-потокових ліній є:

- такт або ритм потоку;
- число робочих місць по операціях і по всій потокової лінії;
- період конвеєра і система адресування;
- довжина стрічки конвеєра;
- швидкість руху стрічки конвеєра і пропускна здатність потокової лінії;
- величина заділів і незавершене виробництво;

- потужність, споживана конвеєром;
- тривалість виробничого циклу.

Для розрахунку *такту (ритму) потоку поточної лінії* перш за все повинні бути визначені:

- програма запуску продукції на лінію за період, який розраховується (місяць, добу, зміна);
- фактичний (ефективний) фонд часу роботи обладнання за цей же період;
- норми часу на виконання кожної операції.

Програма запуску розраховується для того, щоб врахувати відсів продукції на технологічні втрати (виготовлення пробних деталей при налагодженні обладнання) або через брак.

Розрахунок *програми запуску* (N_3) проводиться за програмою випуску (N_6):

$$N_3 = \frac{N_6 \cdot 100}{100 - \alpha}, \quad (D1.1)$$

де N_6 – програма випуску виробів, шт.;

α – відсоток втрат з технологічних причин або через брак.

Фактичний (ефективний) фонд часу роботи обладнання (F_{ef}) розраховується за формулою:

$$F_{ef} = F_n \cdot K_{зм} \cdot \left(1 - \frac{\alpha_p - \alpha_n}{100} \right), \quad (D1.2)$$

де F_n – номінальний фонд часу роботи обладнання за який розраховується період часу, хв або г;

$K_{зм}$ – число робочих змін на добу;

α_p – витрати робочого часу на проведення всіх видів планових ремонтів, обслуговування, налаштування і налагодження обладнання, %;

α_n – витрати робочого часу на регламентовані перериви для відпочинку робітників-операторів, %.

Номинальний фонд часу роботи обладнання визначається за формулою:

$$F_n = t_{зм} \cdot D_p - t_n \cdot D_n, \quad (Д1.3)$$

де $t_{зм}$ – тривалість однієї робочої зміни, хв або г;

D_p – число робочих днів у плановому періоді;

t_n – тривалість неробочого часу в передсвяткові дні, хв або г;

D_n – число передсвяткових днів.

Для ОБПЛ *такт* ($r_{н.л.}$ хв/шт.) та *ритм* ($R_{н.л.}$ хв/партію) розраховуються за формулами:

$$r_{н.л.} = \frac{F_{ef}}{N}; \quad (Д1.4)$$

$$R_{н.л.} = r_{н.л.} \cdot \rho, \quad (Д1.5)$$

де ρ – число виробів у транспортній партії, шт.

Число робочих місць (одиниць обладнання) для ОБПЛ по кожній операції визначається за формулою:

$$C_{pi} = \frac{t_{ум.i}}{r_{н.л.}}, \quad (Д1.6)$$

де $t_{ум.i}$ – норма штучного часу на виконання i -ї операції з урахуванням коефіцієнта виконання норм, хв.

Якщо норми часу на операціях рівні або кратні такту, то при розрахунку кількість робочих місць дорівнює цілому числу. Якщо ж процес не повністю синхронізований, то в результаті розрахунку число робочих місць виходить дробовим. Після відповідного аналізу його необхідно округлити в більшу або меншу сторону до цілого числа. Це буде прийняте число робочих місць на кожній i -й операції ($C_{пр.i}$). Перевантаження допускається в

межах 5-6%.

Розрахунок *потрібного числа робочих місць* (одиниць обладнання) по всій ОБПЛ (C_l), як правило, проводиться в табличній формі (табл. Д1.1) або за формулою:

$$C_l = \sum_{i=1} C_{np.i}, \quad (Д1.7)$$

Таблиця Д1.1

Розрахунок потрібного числа робочих місць (одиниць обладнання) на ОБПЛ

Найменування операцій	Норма штучного часу ($t_{шт}$), хв	Коеф. виконання норм часу ($K_в$)	Норма штучного часу з урахуванням $K_в$, хв	Такт (ритм) поточної лінії, хв/шт.	Кількість робочих місць (обладнання)		Коеф. завантаження обладнання ($K_з$)
					Розрахункове (C_p)	Прийняте (C_{np})	
Заготовча	5,45	1,1	4,95	4,92	1,006	1	1,0
Токарна	9,73	1,1	8,85	4,92	1,799	2	0,9
І т.д.							
Разом					2,805	3	0,94

Коефіцієнт завантаження робочих місць (устаткування) при виконанні i - i операції визначається за формулою:

$$K_{з.i} = \frac{C_{p.i}}{C_{np.i}}, \quad (Д1.8)$$

Середній коефіцієнт завантаження робочих місць по потокової лінії розраховується за формулою:

$$K_{з.ср.л} = \frac{\sum_{i=1}^m C_{p.i}}{\sum_{i=1}^m C_{np.i}}, \quad (Д1.9)$$

де m – число операцій технологічного процесу; $i = 1, 2, \dots, m$.

Визначення періоду конвеєра і системи адресування. При

організації безперервно-потокового виробництва строго повинен витримуватися режим, що полягає в подачі виробів на робочі місця рівними партіями через рівні проміжки часу. Ця умова виконується в тому випадку, якщо в якості транспортних засобів використовуються транспортні, робочі і розподільні конвеєри.

У випадку застосування розподільного конвеєра операції виконуються на стаціонарних робочих місцях. Вироби знімаються з конвеєра і після закінчення операції повертаються на нього. Робочі місця розташовуються уздовж конвеєра з одного або двох його сторін. Вироби рівномірно розміщуються на несучій частини конвеєра на ділянках стрічки, зазначених знаками, наприклад кольоровими прапорцями, літерами або цифрами. Мінімальний комплект розмічальних знаків на лінії відповідає найменшому спільному кратному (НОК) числа робочих місць на всіх операціях лінії і називається *періодом розподільного конвеєра* (Π):

$$\Pi = \text{НОК} [C_1, C_2, C_3, \dots, C_n], \quad (Д1.10)$$

Наприклад, $C_1=1, C_2=3, C_3=2, C_4=1$ тоді $\Pi = \text{НОК} [1, 3, 2, 1]$ (рис. Д1.1).

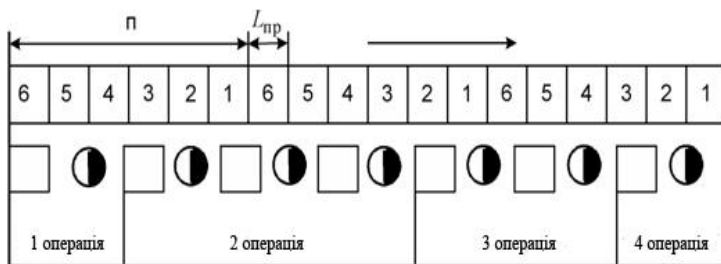


Рисунок Д1.1 – Схема планування ОБПЛ з розподільним конвеєром

Період конвеєра використовується для адресування виробів на робочі місця. Стрічка розмічається так, щоб період в загальній довжині стрічки укладався ціле число раз. Кожен розмічальний знак проходить повз кожного робочого місця через

один і той же інтервал часу, рівний такту ($r_{н.л.}$), помноженому на число, розмічальних знаків у періоді (Π), тобто:

$$T_{\Pi} = r_{н.л.} \cdot \Pi. \quad (Д1.11)$$

Після розмітки стрічки конвеєра розмічальні знаки закріплюються за робочими місцями. Це проводиться відповідно до тривалості виконання кожної операції. Порядок закріплення номерів розмітки за наведеним вище прикладом показаний в табл. Д1.2.

Найбільш зручні періоди 6, 12, 24, 30. При великих періодах рекомендується вводити дворядну (диференційовану) розмітку, застосовуючи два комплекти розмічальних знаків (наприклад, цифровий і кольоровий), кожен з яких діє не для всіх операцій, а тільки для певної їх групи.

Таблиця Д1.2

Порядок закріплення номерів розмічальних знаків за робочими місцями розподільного конвеєра

Номер операції	Число робочих місць на операції	Номер робочого місця	Число закріплених знаків за робочим місцем	Послідовність знаків, що закріплюються за кожним робочим місцем
1	1	1	6	1, 2, 3, 4, 5, 6
		2	2	1, 4
2	3	3	2	2, 5
		4	2	3, 6
3	2	5	3	1, 3, 5
		6	3	2, 4, 6
4	1	7	6	1, 2, 3, 4, 5, 6

Після розрахунку періоду конвеєра, розмітки стрічки та закріплення розмічальних знаків за робочими місцями визначають робочу і повну довжину стрічки конвеєра.

Робоча довжина стрічки розподільного конвеєра (L_p , м) визначається за формулою:

$$L_p = L_{np} \cdot \sum_{i=1}^m C_{np.i}, \quad \text{або} \quad L_p = L_{np} \cdot C_l, \quad (\text{Д1.12})$$

де L_{np} – крок конвеєра, м, тобто відстань між осями суміжних виробів, рівномірно розташованих на конвеєрі (1-1,2 м);

$C_{np.i}$ – прийняте число робочих місць (одиниць обладнання) на i -й операції.

Повна (загальна) довжина стрічки розподільного конвеєра (L_{Π} , м) повинна бути трохи більше подвійної робочої довжини стрічки (L_p) і узгоджена з умовами розподілу. Її величина розраховується за формулою:

$$L_{\Pi} = 2 \cdot l_p + \pi \cdot D \leq K \cdot \Pi \cdot L_{np}, \quad (\text{Д1.13})$$

де π – постійне число, що дорівнює 3,14;

D – діаметр натяжного і приводного барабанів, м;

K – кількість повторень періоду на повній довжині стрічки конвеєра (завжди ціле число);

Π – число розмічальних знаків у періоді.

Число повторень періоду (округляється до цілого числа):

$$K = \frac{L_{\Pi}}{\Pi \cdot L_{np}}. \quad (\text{Д1.14})$$

Якщо обидві умови не задовольняються, то коригується крок конвеєра (L_{np}).

На ОБПЛ робочі зобов'язані виконувати свою операцію у встановлений час, що дорівнює такту або кратне йому. Це забезпечується жорсткою регламентацією роботи транспортних засобів, зокрема, встановленням для конвеєрів певної швидкості. При безперервному русі конвеєра і поштучної передачі виробів йому надається *швидкість* (V , м/хв), що визначається за формулою

$$V = \frac{L_{np}}{r_{н.л}}. \quad (Д1.15)$$

При передачі виробів транспортними партіями (p) швидкість конвеєра розраховується за формулою:

$$V = \frac{L_{np}}{p \cdot r_{н.л}}. \quad (Д1.16)$$

При пульсуючому русі конвеєра або при використанні транспортних засобів дискретної дії виробу передаються через проміжки часу, рівні такту (ритму). Швидкість конвеєра визначається за формулою

$$V = \frac{L_{np}}{t_{mp}}. \quad (Д1.17)$$

де t_{mp} – час транспортування виробу на один крок конвеєра, хв.

Швидкість конвеєра повинна забезпечувати не тільки задану йому пропускну здатність, але і зручність, і безпеку праці. Діапазон найбільш раціональних швидкостей – 0,5-2,5 м/хв (конвеєрів з безперервним рухом), 20-40 м/хв (стрічкових конвеєрів пульсуючого дії) і 0,1-4 м/хв (конвеєрів з безперервним рухом при передачі виробів транспортними партіями).

Пропускна здатність ОБПЛ визначається через величину зворотну такту (ритму) потоку, звану темпом. *Темп* – це кількість виробів, що сходять з лінії за одиницю часу. *Годинна продуктивність* (пропускна здатність) ОБПЛ (p , шт./г і q , кг/г) розраховується за формулами:

$$r = \frac{1}{r_{н.л}}; \quad (Д1.18)$$

$$q = p \cdot Q. \quad (Д1.19)$$

де Q – середня маса одиниці виробу, що обробляється (зібраного) на потокової лінії, кг.

Потужність приводного двигуна конвеєра ($P_{уст.к}$ к·кВт) визначається за формулою:

$$P_{уст.к} = 0,736 \cdot W, \quad (Д1.20)$$

де W – споживана конвеєром потужність вимірюється в кінських силах (к.с.),

$$W = 1,2 \cdot \left(\frac{0,16 \cdot L_{\Pi} \cdot V \cdot Q_K}{36} + \frac{0,16 \cdot L_{\Pi} \cdot q}{270} \right), \quad (Д1.21)$$

де Q_K – маса стрічки (ланцюга) конвеєра (в розрахунку можливо прийняти в межах 4-8 (кг / м)).

На ОБПЛ створюються заділи трьох видів: технологічні, транспортні та резервні (страхові).

Технологічний заділ (Z_{mex} , шт.) відповідає тому числу виробів, яке в кожен даний момент часу знаходиться в процесі обробки на робочих місцях. При поштучній передачі виробів він відповідає числу робочих місць на лінії:

$$Z_{mex} = \sum_{i=1}^m C_{np.j}. \quad (Д1.22)$$

При передачі виробів транспортними партіями (p , шт.):

$$Z_{mex} = p \cdot \sum_{i=1}^m C_{np.j}. \quad (Д1.23)$$

Транспортний заділ (Z_{mp} , шт.) складається з такого числа виробів, яке в кожен момент часу знаходиться в процесі транспортування на конвеєрі. *При поштучної передачі виробів:*

$$Z_{mp} = C_L - 1. \quad (Д1.24)$$

При передачі виробів транспортними партіями (p):

$$Z_{mp} = (C_{\text{Л}} - 1) \cdot p. \quad (\text{Д1.25})$$

На ОБПЛ із застосуванням пульсуючого або робочого конвеєра транспортний заділ збігається з технологічним.

Резервний (страховий) заділ створюється на найбільш відповідальних і нестабільних за часом виконання операціях, а також на контрольних пунктах. Цей доробок знаходиться в тій стадії технологічної готовності, яка відповідає даній операції, і повинен заповнювати недолік деталей при відхиленні від заданого такту на кожній операції. Величина цього доробку ($Z_{\text{рез}}$, шт.) встановлюється на основі аналізу ймовірності відхилення від заданого такту роботи на даному робочому місці (середньому 4-5% змінного завдання) або може бути розрахована за виразом:

$$Z_{\text{рез}} = \frac{\sum_{i=1}^m t_{\text{рез},i}}{r_{\text{н.л}}}, \quad (\text{Д1.26})$$

де $t_{\text{рез},i}$ – час, на який створюється резервний запас предметів праці на i -й операції (для обладнання потокової лінії, яке може вийти з ладу величина $t_{\text{рез},i}$ приймається рівної тривалості циклу їх ремонту), хв.

Загальна величина заділу на ОБПЛ ($Z_{\text{заг}}$, шт.) Визначається за формулою:

$$Z_{\text{заг}} = Z_{\text{мех}} + Z_{\text{мп}} + Z_{\text{рез}}. \quad (\text{Д1.27})$$

Величина незавершеного виробництва на ОБПЛ в нормо-годинах (без урахування витрат праці в попередніх цехах) розраховується за формулою:

$$H_{\text{е}} = \frac{\sum_{i=1}^m t_{\text{ум},i}}{2} + Z_{\text{заг}}, \quad (\text{Д1.28})$$

де $\sum_{i=1}^m t_{um.i}$ – сумарна норма часу по всіх операціях технологічного процесу, нормо-год.

Середня величина незавершеного виробництва на ОБПЛІ в нормо-годину (з урахуванням витрат праці в попередніх цехах) визначається за формулою

$$H_{\text{в}} = Z_{\text{заг}} \cdot \left[t_{\text{нопер}} + \frac{\sum_{i=1}^m t_{um.i}}{2} \right] +, \quad (\text{Д1.29})$$

де $t_{\text{нопер}}$ – сумарні витрати праці в попередніх цехах на одиницю виробу, нормо-год.

Величина незавершеного виробництва в грошовому вираженні визначається за формулою

$$H_{\text{з}} = Z_{\text{заг}} \cdot C_{\text{з}}, \quad (\text{Д1.30})$$

де $C_{\text{з}}$ – цехова собівартість виробу, що знаходиться в доробку, грн. Величина становить:

$$C_{\text{з}} = C_{\text{нопер}} + \frac{C_{\text{ц}}}{2}, \quad (\text{Д1.31})$$

де $C_{\text{нопер}}$ – витрати на одиницю продукції в попередніх цехах, грн.;

$C_{\text{ц}}$ – цехова собівартість виробу, грн.

Для складальних цехів $C_{\text{з}}$ можливо прийняти 0,85, для механічних – 0,7.

2. РОЗРАХУНОК ВИРОБНИЧОГО ЦИКЛУ СКЛАДАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ

Загальна тривалість скоординованих у часі простих процесів, що входять у складний процес виготовлення виробів або його партій, являє собою *виробничий цикл складного складального процесу*. Він охоплює виробничі цикли виготовлення всіх деталей, складання всіх складальних одиниць, складання виробу в цілому, його регулювання, налагоджування, випробування та контроль, остаточне приймання. У складному виробничому процесі можуть використовуватися всі розглянуті види руху предметів праці по операціям: послідовний, паралельний та паралельно-послідовний. В умовах одиничного виробництва в єдиному циклі, як правило, поєднуються процеси не тільки виготовлення й складання, а й проектування виробу та підготовки його виробництва.

Складний виробничий процес будується на великій кількості складальних, монтажних, регульовально-налагоджувальних операцій та операцій простих процесів, тому визначення й оптимізація виробничого циклу потребує багатьох варіантів розрахунків, що неможливо здійснити без спеціальних прикладних комп'ютерних програм та без застосування обчислювальної техніки.

Побудова складного виробничого процесу в часі провадиться для того, щоб визначити виробничий цикл, скоординувати окремі прості процеси, отримати вихідну інформацію для оперативного-календарного планування виробництва і розрахунку операцій запуску-випуску предметів праці.

Метою координації виробничих процесів, що формують складний процес, є забезпечення комплектності і безперервності виробництва при повному завантаженні устаткування, робочих місць та самих робітників.

Структура виробничого циклу складного процесу визначається складом операцій і зв'язками між ними. Склад операцій

залежить від номенклатури деталей, складальних одиниць і технологічних процесів виготовлення та складання. Взаємний зв'язок операцій та процесів визначається *схемою складання* виробу і виробничими умовами. Складальна схема являє собою віяльну діаграму, на якій відображено комплектація окремих вузлів і виробів у цілому (рис. Д2.1), а також які вузли, підвузли або дрібні складальні одиниці можливо виготовляти паралельно незалежно один від одного, а які – тільки послідовно.

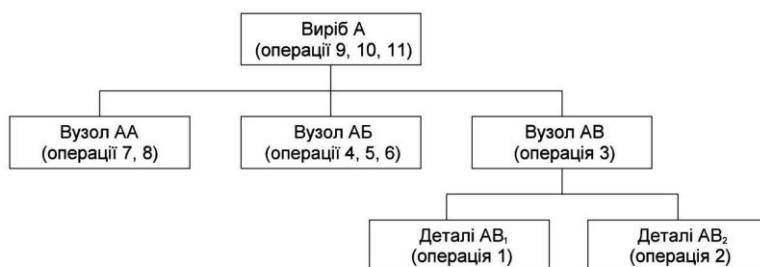


Рисунок Д2.1 – Складальна схема виробу А

Особливість розрахунку виробничого циклу складних виробів полягає в тому, що вони запускаються на складання партіями. *Партійний метод* забезпечує зростання продуктивності праці і зниження собівартості виготовлення продукції за рахунок:

- застосування найпродуктивнішого процесу;
- скорочення витрат ресурсів;
- зменшення підготовчо-завершального часу на одиницю продукції;
- швидкого опанування робітниками раціональних прийомів і методів складальних робіт;
- спрощення календарного планування виробництва.

Для забезпечення точності розрахунку виробничого циклу використовуються *календарно-планові нормативи*:

- розмір партії;
- кількість партій, що запускаються;
- ритм.

Використовуючи нормативні дані, послідовно визначають:

- час операційного циклу партій виробів за складальними одиницями;
- необхідну кількість робочих місць;
- цикловий графік складання виробів без урахування завантаження робочих місць;
- закріплення операцій за робочими місцями;
- стандарт-план складання виробу;
- уточнений цикловий графік з урахуванням завантаження робочих місць;
- тривалість виробничого циклу;
- випередження запуску-випуску за складальними одиницями.

В одиничному та серійному виробництвах важливо спочатку встановити економічно оптимальний розмір партії виробів, який є базовим для розрахунку інших нормативів. Відомо, що необмежене збільшення розміру партії порушує *принцип безперервності*, оскільки зростають, з одного боку, час пролежування кожної складальної одиниці i , відповідно, тривалість виготовлення партії, а з іншого – незавершене виробництво і додаткові площі для збереження цих складальних одиниць.

На практиці використовують *спрощений метод розрахунку оптимального розміру партії*. Для цього використовується відповідна таблиця.

Наприклад, на підприємстві місячна програма випуску виробу А становить $N_{\text{вип}}=700$ шт. Кількість робочих днів у місяці $D_p=21$, режим роботи дільниці $K_{\text{зм}}=2$ зміни. Утрати часу на планові ремонти $A_p = 2\%$ номінального фонду часу. У табл. Д2.1 наводяться норми часу на виконання операцій з виготовлення деталей та складання виробів, підготовчо-завершальний час, розмір подач складальних одиниць на операції. Графи 6-8 таблиці заповнюються після розрахунку показників. Послідовність розрахунку наступна.

1. Установлення межі нормального розміру партії (n_H) виробів:

$$n_{\min} \leq n_n \leq n_{\max} \cdot \quad (Д2.1)$$

Для цього визначається розмір мінімальної партії, виходячи з затрат часу на переналагодження і поточний ремонт робочих місць ($\alpha_{об}$). Для серійного виробництва $\alpha_{об} = 0,2 - 0,1\%$, дрібносерійного і одиничного $\alpha_{об} = 2 - 10\%$. Розрахунок мінімальної величини партії проводиться за формулою:

$$n_{\min} = \frac{(100 - \alpha_{об}) \sum_{i=1}^m T_{n-3_i}}{\alpha_{об} \sum_{i=1}^m T_{ум_i}}, \quad (Д2.2)$$

де T_{n-3_i} – сумарний час підготовчо-завершального часу на i -і операції виготовлення партій складальних одиниць;

$T_{ум_i}$ – сумарний штучний час на i -і операції.

Використовуючи дані табл. Д2.1, проведемо розрахунок мінімальної величини партії:

$$n_{\min} = \frac{(100 - 2) \cdot 200}{2 \cdot 113,2} = 86 \text{ шт.}$$

Місячна програма випуску виробів (складальних одиниць) зазвичай вважається як максимальна величина партії (у нашому прикладі $n_{\max} = 700$ шт.). Коригування граничного розміру партії виробів здійснюється, виходячи з мінімального його значення. Спершу встановлюється зручний для планування ритм ($R_{пл}$) періоду черговості партій виробів за таких умов: якщо в місяці 20 робочих днів, ритмами будуть 20, 10, 5, 4, 2, 1; якщо 21 день, ритмами будуть 21, 7, 2, 1; якщо 22 дня, то відповідно – 22, 11, 2, 1.

Період чергування партій виробів розраховується за формулою:

$$R_{nl} = \frac{D_p \cdot n_{\min}}{n_{\max}}, \quad (\text{Д2.3})$$

де D_p – кількість робочих днів у місяці.

Виходячи з наведеного прикладу, цей період дорівнюватиме:

$$R_{nl} = \frac{21 \cdot 86}{700} = 2,58 \text{ дня.}$$

У разі отримання нецілого числа вибирають із зручних для планування ритмів найближче ціле число, яке і буде прийнятим *періодом чергування партій* (R_{np}). У даному випадку $R_{np} = 3$ дні (з ритмів 21, 7, 3, 1).

Потім відповідно до прийнятого періоду чергування, коригуючи параметри, визначаємо розмір *нормальної (оптимальної) партії* за формулою:

$$n_n = \frac{R_{np} \cdot n_{\max}}{D_p}, \quad (\text{Д2.4})$$

$$n_n = \frac{3 \cdot 700}{21} = 100 \text{ шт.}$$

Отже, виконується умова $86 < 100 < 700$. Нормальний розмір партії має бути кратним місячній програмі випуску (запуску) виробів.

Кількість партій у місяці (X) визначається таким чином:

$$X = \frac{n_{\max}}{n_n}; \quad (\text{Д2.5})$$

$$X = \frac{700}{100} = 7 \text{ партій.}$$

Результати розрахунку оптимального розміру партії заносимо в гр. 6 табл. Д2.1.

Таблиця Д2.1

Технологічний процес складання виробу А

Познач. складальних одиниць	№ операції	Штучний час на операцію (t_i), хв	Підготовчо-завершальний час (t_{n-3i}), хв	Подача складальної одиниці до операції	Розмір партії виробу (n_i), шт.	Тривалість операційного циклу партії / виробів, год	Тривалість операційного циклу партії складальної одиниці, год
1	2	3	4	5	6	7	8
АВ ₁	1	7,0	20	3	100	12	12
АВ ₂	2	16,5	30	3	100	28	18
АВ	3	4,7	10	11	100	8	8
АБ	4	15,9	30	5	100	27	56
	5	12,4	20	6	100	21	
	6	4,7	10	10	100	8	40
АА	7	7,0	20	8	100	12	
	8	16,6	20	9	100	28	48
А	9	11,3	10	11	100	19	
	10	7,6	20	11	100	13	192
	11	9,5	10	-	100	16	
Усього	113,2	200	-	-	192	192	192

2. Тривалість операційного циклу партій виробів за кожною операцією (t_{in}) розраховується за формулою:

$$t_{in} = t \cdot n_n + \frac{T_{n-3i}}{60}. \quad (\text{Д2.6})$$

Для складальної одиниці АВ₁:

$$t_{in} = 7 \cdot 100 + \frac{20}{60} = 12 \text{ год.}$$

Розрахунки записуються в гр. 7 табл. Д2.1.

3. Тривалість операційного циклу партії виробів за складальними одиницями визначається за формулою:

$$T_{о_{ск.од}} = \sum_{i=1}^k t_{in}, \quad (Д2.7)$$

де k – кількість операцій, що входить у складальну одиницю.
Для складальної одиниці АБ:

$$T_{о_{ск.од}} = 27 + 21 + 8 = 56 \text{ год.}$$

Аналогічно здійснюються розрахунки і за іншими складальними одиницями, результати яких записуються в гр. 8 табл. Д2.1.

4. Необхідну кількість робочих місць для складання виробу розраховують за наступним виразом:

$$PM_{np} = \frac{\sum t_{i.ум}}{T_{зм} \cdot S \cdot R_{np}}. \quad (Д2.8)$$

У нашому прикладі:

$$PM_{np} = \frac{192}{8 \cdot 2 \cdot 3} = 4 \text{ робочих місця.}$$

5. Кількість робітників визначається за формулою:

$$Ч_{р.ск} = PM_{np} \cdot K_{зм} \cdot K_{сн}, \quad (Д2.9)$$

де $K_{зм}$ – коефіцієнт змінності;

$K_{сн}$ – коефіцієнт, що враховує спискову чисельність (можливо прийняти $K_{сн} = 1,1$).

У даному прикладі:

$$Ч_{р.ск} = 4 \cdot 2 \cdot 1,1 = 9 \text{ осіб.}$$

Побудова циклового графіка складання виробу А (рис. Д2.2) здійснюється на основі складальної схеми (рис. Д2.1),

тривалості циклів виготовлення та складання кожної складальної одиниці (гр. 7, 8 табл. Д2.1) без урахування завантаження робочих місць. Графік формується у зворотному порядку ходу технологічного процесу, враховуючи час завершення операцій, з яких здійснюється поставка оброблених деталей або складальних одиниць.

Наступним кроком є побудова стандарт-плану складання виробу А, який має назву циклового графіка з урахуванням завантаження робочих місць. У стандарт-плані цикли окремих операцій проєкціюються на відповідні робочі місця (рис. Д2.2, б).

Принцип пропорційності полягає в рівномірному завантаженні робочих місць і робітників. Для його дотримання здійснюється розподіл обсягу робіт по робочих місцях таким чином, щоб тривалість операційного циклу кожної з них не перевищувала їх пропускну спроможність протягом прийнятого періоду чергування партій (табл. Д2.2).

Таблиця Д2.2

Розрахункові параметри циклу

№ робочого місця	№ операції, що закріплена за робочим місцем	Умовне позначення складальної одиниці	Сумарна тривалість операційного циклу, год	Пропускна спроможність робочого місця за 48 год	Коефіцієнт завантаження робочого місця
4	9, 10, 11	А	48	48	1
3	6, 7, 8	АА, АБ	48	48	1
2	4, 5	АБ	48	48	1
1	1, 2, 3	АВ, АВ ₁ , АВ ₂	48	48	1

Зміщення початку виконання робіт зазвичай пов'язане з завантаженістю робочих місць. Так, зсув початку здійснення операцій 4, 5, 6, 1 (рис. Д2.2, б) збільшив тривалість виробничого циклу, спричинивши пролежування складальних одиниць.

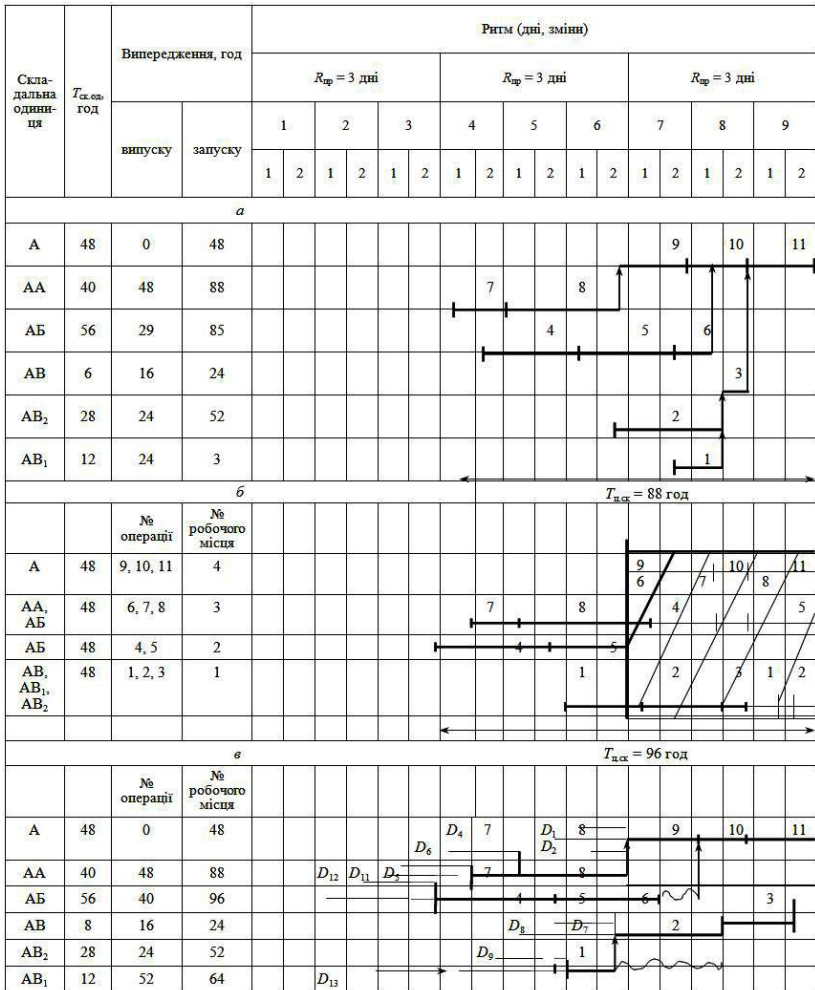


Рисунок Д2.2 – Цикловий графік складання виробу А

Завдання полягає в організації виробництва другої, третьої та наступної партій виробів за термінами таким чином, щоб повністю заповнити період чергування цих партій. Після цього графік називатиметься *стандарт-планом*. У ньому показані

стандартні повторювальні терміни проведення окремих операцій складання кожним робітником.

Побудова уточненого циклового графіка складання виробу (рис. Д2.2, в) дає змогу визначити фактичну тривалість виробничого циклу, яка звичайно більша мінімальної тому, що виконання окремих операцій зсунуто на більш ранні терміни. Як показано на рис. Д2.2, фактична тривалість виробничого циклу складання виробу збільшилася до 96 год. Хвильова лінія показує зміщення запуску відповідних складальних одиниць АБ та АВ₁.

Для планування й організації виробництва важливим календарно-плановим нормативом є випередження запуску-випуску складальних одиниць виробів. У нашому випадку його розрахунок здійснюється безпосередньо на самих графіках (рис. Д2.2, а, в). Зсув запуску складальних одиниць АБ та АВ₁ на раніші терміни (рис. Д2.4, в) змінив випередження їх запуску-випуску. При цьому тривалість виробничого циклу стала на 8 годин більшою, ніж на початковому графіку.

Для визначення повного виробничого циклу виготовлення готового виробу до циклового графіка складання додають графіки заготівельних та обробних процесів виготовлення деталей (рис. Д2.3).

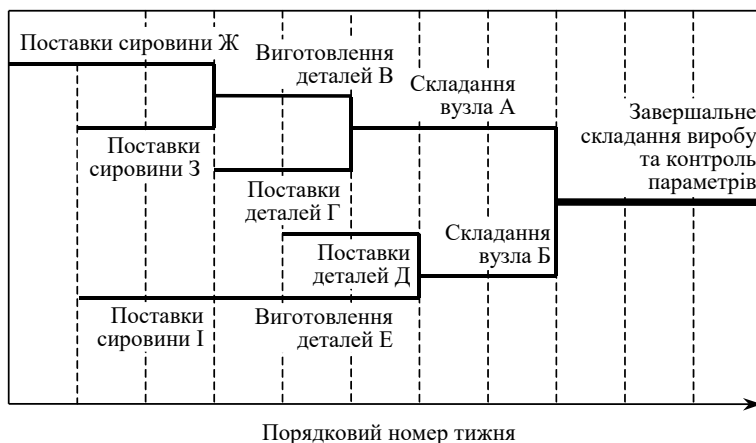


Рисунок Д2.3 – Циклограма виготовлення складного виробу

Виробничий цикл складного виробу дорівнює найтривалішому ланцюжку взаємопов'язаних робіт, що послідовно виконуються (тривалості виготовлення найбільш трудомісткої деталі з урахуванням партійності, складання найбільш трудомісткого вузла і тривалості загального складання виробу).

Іншими словами, виробничий цикл складного виробу визначається найбільшою сумою циклів послідовно пов'язаних простих процесів і міжциклових перерв:

$$T_{ц,скл} = \left(\sum_{i=1}^{m^1} T_{ц_i} \right) + \sum_{i=1}^{m^1} T_{мц_i}, \quad (Д2.10)$$

де m^1 – кількість послідовно пов'язаних між собою процесів виготовлення деталей і складальних процесів;

$T_{ц_i}$ – тривалість циклу виготовлення деталей або виконання складальних процесів;

$T_{мц_i}$ – тривалість міжциклових перерв.

Цикловий графік дає можливість визначити термін запуску деталей у виробництво. При цьому запускаються деталі не всі одночасно, а виходячи з термінів подачі їх на складання й тривалості виробничого циклу та термінів випередження запуску порівняно з випуском.

При виготовленні складної продукції застосовуються сітвові методи планування, і тривалість виробничого циклу визначається довжиною критичного шляху.

3. РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ

Оптимальний розподіл ресурсів при виробництві радіоелектронних приладів являє собою одну з позачергових задач, що забезпечують ефективне функціонування підприємств відповідної галузі.

При заданому значенні початкової кількості коштів x_0 , які необхідно розподілити протягом n років між m підприємствами. Якщо x_{ij} кількість коштів, що виділяється у i -му році j -му підприємству, то це підприємство приносить дохід в розмірі $f_{ij}(x_{ij})$ і до кінця року повертає кошти в кількості $\varphi_{ij}(x_{ij})$ для подальшого розподілу. Для вирішення приведеної задачі необхідним є визначення такого способу розподілення коштів між підприємствами, що дозволить отримати максимальний дохід за вказаний проміжок часу. Знаходження відповідного способу досягається шляхом побудови *ефективної математичної моделі* з дотриманням загальної обчислювальної схеми, що складається з де-кількох етапів.

1. За перший етап береться 1 рік. Таким чином мається n етапів ($i=1,2,\dots,n$).
2. За умовами задачі x_{ij} – кількість коштів, що виділяється у i -му році j -му підприємству. Тоді x_{ij} – керування. Розглянемо стан системи на кожному етапі:

$$\begin{aligned} S_0 &= x_0, S_1 = S_0 - \sum_{j=1}^m x_{1j} + \sum_{j=1}^m \varphi_{1j}(x_{1j}), \\ S_2 &= S_1 - \sum_{j=1}^m x_{2j} + \sum_{j=1}^m \varphi_{2j}(x_{1j}), \dots, \\ S_n &= S_{n-1} - \sum_{j=1}^m x_{n1j} + \sum_{j=1}^m \varphi_{nj}(x_{1j}). \end{aligned} \quad (ДЗ.1)$$

3. На кожному етапі керування вибирається з умови:

$$0 \leq x_{ij} \leq S_{i-1}. \quad (\text{Д3.2})$$

4. За умовами задачі показник ефективності на i -му етапі буде визначатися прибутком $f_{ij}(x_{ij})$.
5. Сумарний дохід за n років буде визначатися за виразом:

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m f_{ij}(x_{ij}). \quad (\text{Д3.3})$$

6. Умовні максимуми будуть мати вигляд:

$$Z_i^*(S_{i-1}) = \max_{0 \leq x_{ij} \leq S_{i-1}} \sum_{k=i+1}^n \sum_{j=1}^m f_{kj}(x_{kj}). \quad (\text{Д3.4})$$

7. Запишемо рівняння Р. Беллмана:

$$\left\{ \begin{array}{l} Z_i^*(S_{i-1}) = \max_{0 \leq \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq S_{i-1}} \left\{ \sum_{j=1}^m f_{ij}(x_{ij}) + Z_{i+1}^*(S_i) \right\}, \\ Z_n^*(S_{n-1}) = \max_{0 \leq x_{nj} \leq S_{n-1}} \left\{ \sum_{j=1}^m f_{nj}(x_{nj}) \right\}. \end{array} \right. \quad (\text{Д3.5})$$

У результаті обчислень отримаємо послідовність умовних максимумів (умовні максимальні доходи):

$$Z_n^*(S_{n-1}) \rightarrow Z_{n-1}^*(S_{n-2}) \rightarrow \dots \rightarrow Z_2^*(S_1) \rightarrow Z_1^*(S_0). \quad (\text{Д3.6})$$

І послідовність умовних максимальних управлінь:

$$x_{n,j}^*(S_{n-1}) \rightarrow x_{n-1,j}^*(S_{n-2}) \rightarrow \dots \rightarrow x_{2,j}^*(S_1) \rightarrow x_{1,j}^*(S_0). \quad (\text{Д3.7})$$

Це перший етап обчислень, який є *умовною оптимізацією*. Другий етап є *безумовною оптимізацією*. На цьому етапі знаходимо максимальне значення цільової функції $\max Z = Z_1^*(S_0)$ і оптимальні керування $x_{1,j}, x_{2,j}, \dots, x_{n,j}$.

Для більш детального розбору наведеної методики розглянемо наступний приклад. Планується робота двох підприємств

протягом п'яти років. Початкові кошти складають 100 млн. грн. Кошти, вкладені в перше підприємство до кінця року, дають дохід в розмірі 40% від вкладених коштів і повертаються для подальшого розподілу в розмірі 50% від вкладених коштів. Кошти, вкладені в другу підприємство до кінця року, дають дохід в розмірі 30% від вкладених коштів і повертаються для подальшого розподілу в розмірі 80% від вкладених коштів. Після закінчення року всі кошти, що залишилися, заново перерозподіляються між підприємствами, нових засобів не надходить і дохід у виробництво не вкладається. Потрібно знайти такий спосіб розподілу коштів, щоб сумарний дохід за п'ять років був максимальним.

Вирішення даної задачі також полягає у побудові ефективної математичної моделі з дотриманням етапів обчислювальної схеми.

1. За перший етап приймемо 1 рік. Таким чином, мається п'яти етапна ($i=1,2,3,4,5$) задача динамічного програмування.
2. Позначимо через x_{i1} кількість коштів, що виділяється у i -му році першому підприємству, а через x_{i2} кількість коштів, що виділяється у i -му році другому підприємству. Тоді $x_{ij}(i=1,2,3,4,5; j=1,2)$ – керування завдання, тобто на кожному етапі маємо дві змінні. Зведемо рішення задачі на кожному етапі до однієї змінної x_{i1} . Якщо на i -му етапі розподіляється S_{i-1} і перше підприємство отримує x_{i1} коштів, то друге підприємство отримає коштів в кількості $x_{i2} = S_{i-1} - x_{i1}$. З умови задачі визначимо розмір коштів, які вкладає кожне підприємство в кінці етапу. Це – $\varphi_{i1}(x_{i1})=0,5x_{i1}$, $\varphi_{i2}(x_{i2})=0,8x_{i2} = 0,8(S_{i-1} - x_{i1})$.

Розглянемо тепер стан системи для кожного проміжку:

$$\begin{aligned} S_i &= S_{i-1} - (x_{i1} + x_{i2}) + 0,5x_{i1} + 0,8x_{i2} = \\ &= S_{i-1} - (x_{i1} + S_{i-1} - x_{i1}) + 0,5x_{i1} + 0,8(S_{i-1} - x_{i1}) = \\ &= 0,8S_{i-1} - 0,3x_{i1}. \end{aligned}$$

Розпишемо стану системи для кожного етапу:

$$S_0 = 100000, \quad S_1 = 0,8S_0 - 0,3x_{11}, \quad S_2 = 0,8S_1 - 0,3x_{21}, \\ S_3 = 0,8S_2 - 0,3x_{31}, \quad S_4 = 0,8S_3 - 0,3x_{41}, \quad S_5 = 0,8S_4 - 0,3x_{51}.$$

3. На кожному кроці управління вибирається з умови:

$$0 \leq x_{i1} \leq S_{i-1}.$$

4. За умовою завдання показником ефективності на першому кроці буде визначатися прибутком $f_{i1}(x_{i1})=0,4x_{i1}$, на другому $-f_{i2}(x_{i1})=0,3x_{i2}=0,3(S_{i-1} - x_{i1})$. Так як показники ефективності задані безперервними функціями, то маємо безперервну задачу динамічного програмування. Це означає, що на кожному етапі будемо вирішувати завдання на знаходження найбільшого значення на заданому проміжку.

5. Сумарний дохід за п'ять років буде визначатися рівністю:

$$Z = \sum_{i=1}^5 (0,4x_{i1} + 0,3(S_{i-1} - x_{i1})) = \sum_{i=1}^5 (0,3S_{i-1} + 0,1x_{i1}).$$

6. Умовні максимуми будуть мати вигляд:

$$Z_i^*(S_{i-1}) = \max_{0 \leq x_{i1} \leq S_{i-1}} \sum_{k=i+1}^5 (0,3S_{k-1} + 0,1x_{k1}).$$

7. Запишемо рівняння Р. Беллмана:

$$\begin{cases} Z_i^*(S_{i-1}) = \max_{0 \leq x_{i1} \leq S_{i-1}} \{0,3S_{i-1} + 0,1x_{i1} + Z_{i+1}^*(S_i)\}, \\ Z_5^*(S_4) = \max_{0 \leq x_{51} \leq S_4} \{0,3S_4 + 0,1x_{51}\}. \end{cases}$$

Розрахунки будемо проводити в два етапи. Проведемо *перший етап – умовну оптимізацію*. Для цього розпишемо ітераційний процес навпаки для рівнянь Р. Беллмана по кроках.

П'ятий етап.

$$Z_5^*(S_4) = \max_{0 \leq x_{51} \leq S_4} \{0,3S_4 + 0,1x_{51}\}. \text{ Функція в фігурних дужках}$$

$Z_5(x_{51})=0,3S_4 + 0,1x_{51}$ лінійна щодо змінної x_{51} , отже, найбільше значення досягається на кінцях проміжку $x_{51} \in [0, S_4]$. Знайдемо ці значення: $Z_5(0)=0,3S_4$, а $Z_5(S_4)=0,4S_4$. Виберемо максимальне значення з цих виразів, тобто

$$Z_5^*(S_4) = \max_{0 \leq x_{51} \leq S_4} \{0,3S_4, 0,4S_4\} = 0,4S_4.$$

Таким чином, в результаті виконання п'ятого етапу отримаємо:

$$\begin{cases} x_5^*(S_4) = S_4, \\ Z_5^*(S_4) = 0,4S_4. \end{cases}$$

Четвертий етап.

$$Z_4^*(S_3) = \max_{0 \leq x_{41} \leq S_3} \{0,3S_3 + 0,1x_{41} + Z_5^*(S_4)\} = \max_{0 \leq x_{41} \leq S_3} \{0,3S_3 + 0,1x_{41} + 0,4S_4\}$$

Функція в фігурних дужках

$$Z_4(x_{41}) = 0,3S_3 + 0,1x_{41} + 0,4(0,8S_3 - 0,3x_{41})$$

лінійна щодо змінної x_{41} , отже, найбільше значення досягається на кінцях проміжку $x_{41} \in [0, S_3]$. Знайдемо ці значення: $Z_4(0) = 0,62S_3$, а $Z_4(S_3) = 0,6S_3$. Виберемо максимальне значення з цих виразів, тобто

$$Z_4^*(S_3) = \max_{0 \leq x_{41} \leq S_3} \{0,62S_3, 0,6S_3\} = 0,62S_3.$$

Таким чином, в результаті виконання четвертого етапу отримаємо:

$$\begin{cases} x_4^*(S_3) = 0, \\ Z_4^*(S_3) = 0,62S_3. \end{cases}$$

Третій етап.

$$Z_3^*(S_2) = \max_{0 \leq x_{31} \leq S_2} \{0,3S_2 + 0,1x_{31} + Z_4^*(S_3)\} = \max_{0 \leq x_{31} \leq S_2} \{0,3S_2 + 0,1x_{31} + 0,62S_3\}.$$

Функція в фігурних дужках

$$Z_3(x_{31}) = 0,3S_2 + 0,1x_{31} + 0,62(0,8S_2 - 0,3x_{31})$$

лінійна щодо змінної x_{31} , отже, найбільше значення досягається на кінцях проміжку $x_{31} \in [0, S_2]$. Знайдемо ці значення: $Z_3(0) = 0,796S_2$, а $Z_3(S_2) = 0,71S_2$. Виберемо максимальне значення з цих виразів, тобто

$$Z_3^*(S_2) = \max_{0 \leq x_{31} \leq S_2} \{0,796S_2, 0,71S_2\} = 0,796S_2.$$

Таким чином, в результаті виконання третього етапу отримаємо:

$$\begin{cases} x_3^*(S_2) = 0, \\ Z_3^*(S_2) = 0,796 S_2. \end{cases}$$

Другий етап.

$$Z_2^*(S_1) = \max_{0 \leq x_{21} \leq S_1} \{0,3 S_1 + 0,1 x_{21} + Z_3^*(S_2)\} = \max_{0 \leq x_{21} \leq S_1} \{0,3 S_1 + 0,1 x_{21} + 0,796 S_2\}.$$

Функція в фігурних дужках

$$Z_2(x_{21}) = 0,3 S_1 + 0,1 x_{21} + 0,796(0,8 S_1 - 0,3 x_{21})$$

лінійна щодо змінної x_{21} , отже, найбільше значення досягається на кінцях проміжку $x_{21} \in [0, S_1]$. Знайдемо ці значення: $Z_2(0) = 0,9368 S_1$, а $Z_2(S_1) = 0,798 S_1$. Виберемо максимальне значення з цих виразів, тобто

$$Z_2^*(S_1) = \max_{0 \leq x_{21} \leq S_1} \{0,9368 S_1, 0,798 S_1\} = 0,9368 S_1.$$

Таким чином, в результаті виконання другого етапу отримаємо:

$$\begin{cases} x_2^*(S_1) = 0, \\ Z_2^*(S_1) = 0,9368 S_1. \end{cases}$$

Перший етап.

$$Z_1^*(S_0) = \max_{0 \leq x_{11} \leq S_0} \{0,3 S_0 + 0,1 x_{11} + Z_2^*(S_1)\} = \max_{0 \leq x_{11} \leq S_0} \{0,3 S_0 + 0,1 x_{11} + 0,9368 S_1\}.$$

Функція в фігурних дужках

$$Z_1(x_{11}) = 0,3 S_0 + 0,1 x_{11} + 0,9368(0,8 S_1 - 0,3 x_{11})$$

лінійна щодо змінної x_{11} , отже, найбільше значення досягається на кінцях проміжку $x_{11} \in [0, S_0]$. Знайдемо ці значення: $Z_1(0) = 1,04944 S_0$, а $Z_1(S_0) = 0,8684 S_0$. Виберемо максимальне значення з цих виразів, тобто

$$Z_1^*(S_0) = \max_{0 \leq x_{11} \leq S_0} \{1,04944 S_0, 0,8684 S_0\} = 1,04944 S_0.$$

Таким чином, в результаті виконання першого етапу отримаємо:

$$\begin{cases} x_1^*(S_0) = 0, \\ Z_1^*(S_0) = 1,04944 S_0. \end{cases}$$

Проведемо другий етап – безумовну оптимізацію.

$$S_0 = 100000000, \quad x_{11} = x_{11}^*(S_0) = x_{11}^*(100000000) = 0,$$

$$\text{тоді } x_{12} = S_0 - x_{11} = 100000000,$$

$$\text{знайдемо } S_1 = 0,8S_0 - 0,3x_{11} = 80000000,$$

$$x_{21} = x_{21}^*(S_1) = x_{21}^*(80000000) = 0, \text{ тоді}$$

$$x_{22} = S_1 - x_{21} = 80000000,$$

$$\text{знайдемо } S_2 = 0,8S_1 - 0,3x_{21} = 64000000,$$

$$x_{31} = x_{31}^*(S_2) = x_{31}^*(64000000) = 0, \text{ тоді}$$

$$x_{32} = S_2 - x_{31} = 64000000,$$

$$\text{знайдемо } S_3 = 0,8S_2 - 0,3x_{31} = 51200000,$$

$$x_{41} = x_{41}^*(S_3) = x_{41}^*(51200000) = 0, \text{ тоді}$$

$$x_{42} = S_3 - x_{41} = 51200000,$$

$$\text{знайдемо } S_4 = 0,8S_3 - 0,3x_{41} = 40960000,$$

$$x_{51} = x_{51}^*(S_4) = x_{51}^*(40960000) = 40960000, \text{ тоді}$$

$$x_{52} = S_4 - x_{51} = 0,$$

максимальне значення цільової функції складе

$$\max Z = Z_1^*(S_0) = 1,04944 S_0 = 104944000.$$

Запишемо змістовну відповідь завдання в табл. ДЗ.1.

Таблиця ДЗ.1

Результати розрахунків

Підприємства	Роки				
	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	40960000
2	100000000	80000000	64000000	51200000	0

Сумарний прибуток двох підприємств за п'ять років становить 104944000 гривень.

4. ВИБІР РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОДУКЦІЇ

Технологічний процес виготовлення виробу (деталі, вузла) являє собою строго певну сукупність виконаних в заданій послідовності технологічних операцій. Ці операції змінюють форму, розмір та інші властивості деталі, а також її стан, або взаємне розташування окремих елементів. Одна і та ж операція може проводитися багатьма способами на різному устаткуванні. Тому вибір ресурсозберігаючого технологічного процесу полягає в *оптимізації кожної операції* по мінімуму споживання матеріальних, трудових, енергетичних ресурсів.

Важливим показником економічності названих ресурсів є зниження *собівартості* (економія ресурсів), пов'язане із застосуванням кращого технологічного процесу.

Для визначення зниження собівартості (економії) необхідний розрахунок собівартості для кожного з порівнюваних варіантів технологічного процесу. Розрахунок повної собівартості продукції при застосуванні кожного з варіантів складний, вимагає великої кількості вихідних даних і часу. Для спрощення розрахунків економії надається можливість без шкоди для точності визначати і зіставляти не повну, а так звану технологічну собівартість, яка включає тільки ті елементи витрат на виготовлення виробу, величина яких різна для порівнюваних варіантів. Елементи собівартості, які для цих процесів однакові або змінюються незначно, в розрахунок не включаються. Таким чином, технологічна *собівартість* – це умовна собівартість, склад її статей непостійний і встановлюється в кожному окремому випадку.

Зіставлення варіантів технологічної собівартості дає уявлення про економічність кожного з них. Слід зазначити, що величина технологічної собівартості виготовлення окремих виробів (деталей, вузлів) в значній мірі залежить від *обсягу виробництва*. Отже, всі витрати на виготовлення виробів заступенем їх залежності від обсягу виробництва доцільно поділяти

на змінні (P_p), річна величина яких змінюється прямо пропорційно річним обсягом випуску продукції (N), і умовно-постійна (P_v), річна величина яких не залежить від зміни обсягу виробництва.

До *змінних витрат* відносяться:

- витрати на основні матеріали за вирахуванням реалізованих відходів (P_m), грн.;
- витрати на паливо, призначене для технологічних цілей (P_{mm}), грн.;
- витрати на різні види енергії, призначеної для технологічних цілей ($P_{m.з}$), грн.;
- витрати на основну та додаткову заробітну плату основних виробничих робітників з відрахуваннями в фонд соціального захисту населення ($P_з$), грн.;
- витрати, пов'язані з експлуатацією універсального технологічного обладнання ($P_{об}$), грн.;
- витрати, пов'язані з експлуатацією інструменту та універсальної оснастки (P_i), грн.

До *умовно-постійних витрат* відносяться:

- витрати, пов'язані з експлуатацією обладнання, оснащення та інструменту, спеціально сконструйованих для здійснення технологічного процесу з даного варіанту ($P_{c.об}$), грн.;
- витрати на оплату підготовчо-заклучного часу ($P_{n.з}$), грн.

Загальна формула *технологічної собівартості* (i - j)-ї операції має вигляд:

$$C_m = P_p \cdot N \cdot P_v \cdot \quad (Д4.1)$$

Підставивши відповідні значення змінних і умовно-постійних витрат в формулу (Д4.1), отримаємо:

$$C_m = (P_m + P_{mm} + P_{m.з} + P_з + P_{об} + P_i) \cdot N + (P_{c.об} + P_{n.з}). \quad (Д4.2)$$

Після визначення технологічної собівартості за варіантами (якщо не більше двох варіантів) для кожного з них встановлюється річний *обсяг виробництва* (N), при якому порівнювані варіанти економічно рівноцінні.

Для цього вирішуємо систему рівнянь щодо обсягу виробництва (N):

$$\begin{cases} C_{m1} = P_{p1}N + P_{v1} \\ C_{m2} = P_{p2}N + P_{v2} \end{cases} \quad (Д4.3)$$

При $C_{m1} = C_{m2}$ отримаємо:

$$N_{кр} = \frac{P_{v2} - P_{v1}}{P_{p1} - P_{p2}} \quad (Д4.4)$$

Цю величину річного обсягу виробництва продукції прийнято називати *критичною*. Якщо таке зіставлення варіантів технологічного процесу виконати графічно, то стане очевидно, що критичний обсяг виробництва продукції є абсцисою точки перетину двох прямих з початковими координатами P_{v1} і P_{v2} , виражених для кожного варіанта рівнянням його технологічної собівартості.

Визначення абсциси цієї «критичної точки» служить, таким чином, завершальним етапом техніко-економічних розрахунків, які визначають області найбільш доцільного застосування кожного з порівнянних варіантів, що обмежуються певними розмірами програм (N).

У разі якщо необхідно зробити вибір технологічного процесу не з двох варіантів, а з трьох, чотирьох і т.д., будується *орієнтований граф*, дуги якого представляють технологічні операції. Будь-якій вершині графа відповідає безліч дуг, що входять і виходять з неї. Для оцінки використання ресурсів при можливих варіантах виготовлення деталі (виробу) вводиться цільова функція C_o , тобто сума технологічних собівартостей по кожній із запроєктованих операцій з тим, щоб їх сума була мінімальною.

$$C_m = \sum_{i=1}^m C_{ij} \rightarrow \min \quad (Д4.5)$$

Таким чином, вибір оптимального варіанту технологічного

процесу можливо звести до вибору маршруту в заданому орієнтованому графі, що має мінімальну сумарну технологічну собівартість.

Розглянемо приведену методику на прикладі. Нехай мається технологічний процес з виготовлення інтегральних схем (табл. Д4.1). Необхідно побудувати граф і вибрати оптимальний варіант технологічного процесу.

Перша операція може бути виконана трьома способами технології. Отже, з початкової вершини графа q_1 виходить три дуги x_{1-2} , x_{1-3} , x_{1-4} , що закінчуються вершинами q_2 , q_3 , і q_4 . Друга операція може бути виконана двома способами, отже, з вершин q_2 , q_3 і q_4 виходять по дві дуги x_{2-5} , x_{2-6} , x_{3-6} , x_{4-5} , x_{4-6} . Третя операція може бути виконана чотирма способами технології. Отже, з вершин q_5 , q_6 виходять по чотири дуги: x_{5-7} , x_{5-8} , x_{5-9} , x_{5-10} , x_{6-7} , x_{6-8} , x_{6-9} , x_{6-10} . Четверту операцію можливо виконати трьома способами. Отже, з вершин q_7 , q_8 , q_9 і q_{10} виходять по три дуги, які закінчуються вершинами q_{11} , q_{12} , q_{13} . П'ята операція може бути виконана двома способами, тому кожна з шостої операції графу закінчується вершиною q_{16} .

При нумерації вершин графа необхідно дотримуватися правила, за яким номер кожної наступної вершини повинен бути більшою за попередню. Вихідній вершині графа присвоюємо номер 1, який проставляємо в верхній частині кола.

Таблиця Д4.1

Технологічні процеси складання інтегральних схем

Основні технологічні операції і способи їх виконання	Витрати	
	Змінні (P_p), грн./шт.	Умовно-постійні (P_v), грн./шт.
1	2	3
1. Орієнтований розподіл напівпровідникових пластин на кристали:		
- скрайбування;	0,33	10
- різка дисками;	0,37	15
- лазерний поділ.	0,27	50

1	2	3
2. Монтаж кристалів: - насадка на евтектики; - приєднання до сітлових під ложок.	0,08 0,05	5 5
3. Розварювання між'єднань: - термокомпресія; - електрозвукове зварювання; - розварювання здвоєним електродом; - групове напівавтоматичне розварюв.	0,48 0,58 0,68 0,02	30 40 20 30
4. Герметизація інтегральної схеми: - пластмасовий корпус; - керамічний корпус; - металоскляний корпус.	0,04 0,07 0,09	5 10 5
5. Контроль параметрів інтегральної схеми: - ручний варіант - на спеціальному вимірювальному комплексі.	0,73 0,03	5 20
6. Маркування та передача на ділянку пакування.	0,08	10

В якості прикладу розрахунку і вибору ресурсозберігаючого технологічного процесу можливо здійснити вибір ресурсозберігаючого технологічного процесу, що складається з п'яти операцій (табл. Д4.2), кожна з яких можливо виконати двома способами. Для цього розрахуємо обсяг виробництва по кожній операції, при якому порівнювані варіанти економічно рівноцінні, побудуємо графіки зміни технологічної собівартості з мінімальними витратами використовуваних ресурсів.

Задана програма $N=800$ шт.

Розрахунок критичного обсягу випуску продукції по першій операції «Виготовлення паст»

$$N_{кр1} = \frac{P_{v2} - P_{v1}}{P_{p1} - P_{p2}} = \frac{150000 - 120000}{150 - 120} = 1000 \text{ шт.}$$

Таблиця Д4.2

Технологічний процес виготовлення пасивної частини тонкоплівкових структур

Варіанти технології	P_p , грн./шт.	P_v , грн./рік
1. Виготовлення паст: - варіант А; - варіант Б.	0,15 0,12	120 150
2. Трафаретний друк: - безконтактний метод; - контактний метод.	0,20 0,15	170 200
3. Термообробка паст: - у пачках під інфрачервоними променями; - у муфельних печах безперервної дії	0,12 0,07	250 300
4. Підгонка товстоплівкових елементів: - лазерний метод; - підгонка анодуванням.	0,35 0,25	310 350
5. Захист товстоплівкових елементів	0,19	120

Розрахунок технологічної собівартості продукції по даній операції при отриманому обсязі $N_{kp} = 1000$ шт.:

$$C_{m1} = 150 \cdot 1000 + 120000 = 270000 \text{ грн.};$$

$$C_{m2} = 120 \cdot 1000 + 150000 = 270000 \text{ грн.}$$

Графік зміни технологічної собівартості продукції і визначення зон з найменшими витратами будуємо на основі отриманих розрахункових даних. Поставивши собі за значенням $N < N_{kp}$ і $N > N_{kp}$, будуємо графік в осях координат, однією з яких є (ордината) значення технологічної собівартості C_m , а інший (абсциса) – значення річного обсягу виробництва N , (рис. Д4.1). При річному обсязі виробництва $N = 800$ шт. вибираємо зону 1 і як наслідок перший варіант технологічного процесу, так як $C_{m1} < C_{m2}$.

Аналогічно розрахунок критичного обсягу випуску продукції ведеться за всіма іншими операціями, будуються графіки для визначення зон з найменшими витратами, вибираються варіанти технологічних процесів.

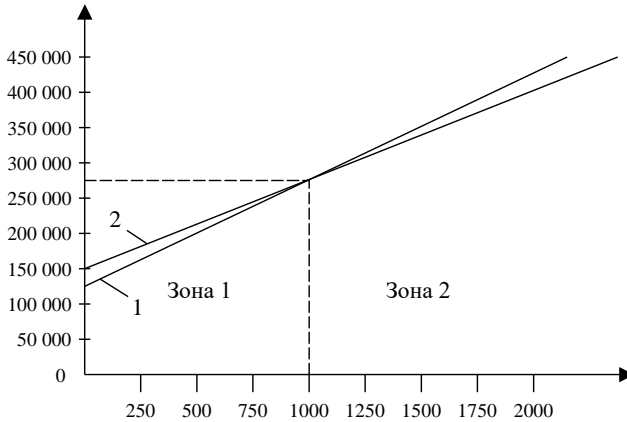


Рисунок Д4.1 – Графік зміни технологічної собівартості першої операції технологічного процесу: 1 – перший варіант; 2 – другий варіант

Для п'ятої операції пропонується один варіант технологічного процесу «Захист товстоплівкових елементів», тому при калькулюванні собівартості продукції використовуються змінні витрати, рівні 190 грн., і умовно-постійні – 120 тис. грн.

Далі, виходячи із заданої програми $N = 800$ шт. і вибраних варіантів (для першої операції – перший варіант, для другої операції – другий варіант, для третьої операції – перший варіант, для четвертої операції – другий варіант, для п'ятої операції – запропонований варіант технологічного процесу), визначається технологічна собівартість продукції заданої програми:

$$C_m = (150 + 150 + 120 + 250 + 190) \cdot 800 + (120000 + 200000 + 250000 + 350000 + 120000) = 1728000 \text{ грн.}$$

Собівартість одиниці продукції становить

$$C_{m.од} = \frac{1728000}{800} = 2160 \text{ грн.}$$

Для випадку, якщо технологічний процес необхідно вибрати з трьох варіантів і більше (табл. Д4.1) будується граф вибору оптимального варіанта (рис. Д4.2).

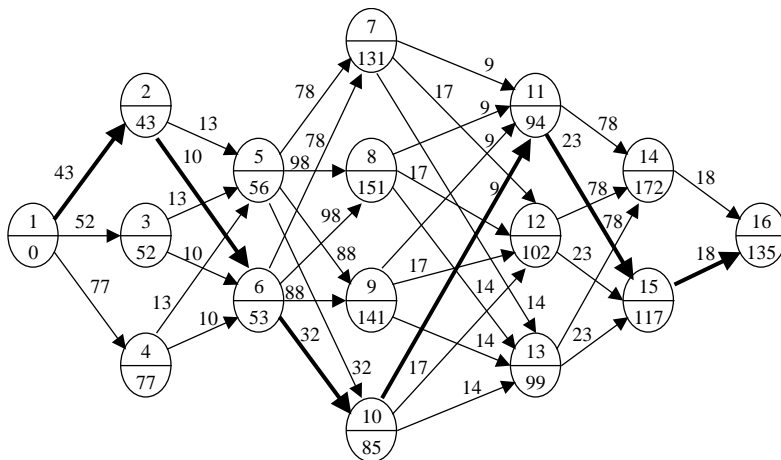


Рисунок Д4.2 – Граф вибору оптимального варіанту виготовлення інтегральних схем

Для кожної дуги (операції) визначаємо технологічну собівартість $C_m(i-j)$ за формулою (4.1). Нехай $N = 100$ шт. Тоді:

$$C_{m(1-2)} = 0,33 \cdot 100 + 10 = 43 \text{ грн.};$$

$$C_{m(1-3)} = 0,37 \cdot 100 + 15 = 52 \text{ грн.};$$

$$C_{m(1-4)} = 0,27 \cdot 100 + 50 = 77 \text{ грн.};$$

$$C_{m(2-5)} = C_{m(3-5)} = C_{m(4-5)} = 0,08 \cdot 100 + 5 = 13 \text{ грн.};$$

$$C_{m(2-6)} = C_{m(3-6)} = C_{m(4-6)} = 0,05 \cdot 100 + 5 = 10 \text{ грн.};$$

$$C_{m(5-7)} = C_{m(6-7)} = 0,48 \cdot 100 + 30 = 78 \text{ грн.};$$

$$C_{m(5-8)} = C_{m(6-8)} = 0,58 \cdot 100 + 40 = 98 \text{ грн.};$$

$$C_{m(5-9)} = C_{m(6-9)} = 0,68 \cdot 100 + 20 = 88 \text{ грн.};$$

$$C_{m(5-10)} = C_{m(6-10)} = 0,02 \cdot 100 + 30 = 32 \text{ грн.};$$

$$C_{m(7-11)} = C_{m(8-11)} = C_{m(9-11)} = C_{m(10-11)} = 0,04 \cdot 100 + 5 = 9 \text{ грн.};$$

$$C_{m(7-12)} = C_{m(8-12)} = C_{m(9-12)} = C_{m(10-12)} = 0,07 \cdot 100 + 10 = 17 \text{ грн.};$$

$$C_{m(7-13)} = C_{m(8-13)} = C_{m(9-13)} = C_{m(10-13)} = 0,09 \cdot 100 + 5 = 14 \text{ грн.};$$

$$C_{m(11-14)} = C_{m(12-14)} = C_{m(13-14)} = 0,73 \cdot 100 + 5 = 78 \text{ грн.};$$

$$C_{m(11-15)} = C_{m(12-15)} = C_{m(13-15)} = 0,03 \cdot 100 + 20 = 23 \text{ грн.};$$

$$C_{m(14-16)} = 0,08 \cdot 100 + 10 = 18 \text{ грн.};$$

$$C_{m(15-16)} = 0,08 \cdot 100 + 10 = 18 \text{ грн.}$$

У результаті використання описаного алгоритму маємо:

$$Z_{(1)} = 0;$$

$$Z_{(2)} = \min \{Z_{(1)} + C_{m(1-2)}\} = 0 + 43 = 43 \text{ грн.};$$

$$Z_{(3)} = \min \{Z_{(1)} + C_{m(1-3)}\} = 0 + 52 = 52 \text{ грн.};$$

$$Z_{(4)} = \min \{Z_{(1)} + C_{m(1-4)}\} = 0 + 77 = 77 \text{ грн.};$$

$$Z_{(5)} = \min \{Z_{(2)} + C_{m(2-5)}\} = 43 + 13 = 56 \text{ грн.};$$

$$Z_{(6)} = \min \{Z_{(2)} + C_{m(2-6)}\} = 43 + 10 = 53 \text{ грн.}$$

і т.д. для всіх вершин графу, а отримані значення записуємо в нижню половину кола графу.

Технологічний процес з мінімальною собівартістю проходить тільки через ті події, для яких виконується умова:

$$C_m = \sum_{i=1}^m C_{m(i-j)} \rightarrow \min \cdot$$

Для нашого прикладу такий шлях проходить через події 1-2-6-10-11-15-16.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Невлюдов І.Ш. Основи виробництва електронних апаратів [Текст]: Підручник / І.Ш. Невлюдов. – Харків: Компанія СМІТ, 2005. – 592 с.
2. Ельперін І.В. Автоматизація виробничих [Текст]: Підручник / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. – Вид. 2-ге, виправлене – К.: Вид. Ліра-К, 2015. – 378 с.
3. Гончаренко Б.М. Автоматизація виробничих процесів [Текст]: Підручник / Б.М. Гончаренко, А.П. Ладанюк, Національний ун-т харч. технологій. – К.: НУХТ, 2013. – 796 с.
4. Невлюдов І. Ш. Комп'ютерні технології автоматизованого виробництва [Текст]: Навч. посібник / І.Ш. Невлюдов, М.А. Бережна. – Харків: Компанія СМІТ, 2007. – 368 с.
5. Ладанюк А.П. Теорія автоматичного керування технологічними об'єктами [Текст]: Навч. посібник / А.П. Ладанюк, К.С. Архангельська, Л.О Власенко. – К.:НУХТ, 2006. – 139 с.
6. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації [Текст]: Навч. посібник / В.Г. Трегуб. – К.: Видавництво Ліра-К, 2014. – 344 с.
7. Селевцов Л.И. Автоматизация технологических процессов [Текст]: Учебник / Л.И. Селевцов, А.Л. Селевцов. – М.: ИЦ «Академия», 2014. – 352 с.
8. Пупена О.М. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах. [Текст]: Навчальний. посібник / О.М Пупена, І.В. Ельперін, Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк. – К.: Вид. Ліра-К, 2011. – 558с.
9. Groover, Mikell P. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing (4th Edition) / Mikell P. Groover. – Published by Prentice Hall, Lehigh University 2015. – 856 p.
10. Невлюдов І.Ш. Основи виробництва електронних апаратів.

- Типові задачі [Текст]: Навч. посібник/І.Ш. Невлюдов. – Харків: Компанія СМІТ, 2009. – 400 с.
11. Colombo Armando W. Industrial Cloud-Based Cyber-Physical Systems: The IMC-AESOP Approach / Armando Colombo, Thomas Bangemann, Stamatis Karnouskos, Jerker Delsing, Petr Stluka, Robert Harrison, Francois Jammes, Jose L. Lastra. – Springer International Publishing Switzerland, 2014 – 247 p.
 12. Gillam Lee. Cloud Computing: Principles, Systems and Applications / Nick Antonopoulos, Lee Gillam. – L.: Springer, 2010. – 379 p.
 13. SoCC '10: Proceedings of the 1st ACM symposium on Cloud computing / Hellerstein, Joseph M. – N. Y.: ACM, 2010.
 14. Olivier Hersent, David Boswarthick, Omar Elloumi. The Internet of Things: Key Applications and Protocols. – Willey, 2012. – 370 p.
 15. Основи конструктивно-технологічної побудови спеціалізованих ЕОМ [Електронний ресурс] / В.М. Лукашенко, К.В. Колесніков, К.С. Рудаков, М.В. Чичужко; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси: ЧДТУ, 2011. – 167 с.
 16. Protsesside automatiseerimine. E-kursus. (Автоматизация процессов) [Електронний ресурс]/Vladi Purro, Aleksei Sedjakin, automaatika ainete õpetajad, Tallinna Polütehnikum. – Режим доступа: www/ URL: <http://opiobjektid.tptlive.ee/Automatiseerimine/> – 2013 г.
 17. IT-Enterprise. Corporate management system [Електронний ресурс] / – Режим доступа: www/ URL: <http://it.ua/>.
 18. Microsoft. Developer Network [Електронний ресурс] / – Режим доступа: www/ URL: <http://msdn.microsoft.com>.
 19. Festo [Електронний ресурс] / – Режим доступа: : www/ URL: <http://www.festo.com>

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

НЕВЛЮДОВ Ігор Шакирович,

Заслужений діяч науки і техніки України,
Лауреат Державної премії в галузі науки і техніки України,
доктор технічних наук, професор,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій,
автоматизації та мехатроніки.

ВИРОБНИЧІ ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ОБ'ЄКТІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Підручник для студентів вищих навчальних закладів
галузі знань «Автоматизація та приладобудування»,
«Електроніка та телекомунікації»

Коректор В.Г. Рожковська

Комп'ютерна верстка О.О. Ніколаєва

Підписано до друку 06.02.2017 р. Формат 60x84 1/16.
Папір офсет. Гарнітура Таймс. 28,0 Умов. друк. арк.
20,6 Умов. вид. арк. Тираж 2000 прим. Зам. № 10.

Видано на замовлення ХНУРЕ