

Підручник призначено для підготовки фахівців в галузі знань «Автоматизація та приладобудування», «Електроніка та телекомунікації». Може бути корисний аспірантам та фахівцям в промисловості, робота яких пов'язана з розробкою та організацією виробництва засобів автоматизації та автоматизованих систем управління технологічними процесами.

ЧАСТИНА 2



Ігор Шакирович Невлюдов

*Заслужений діяч науки і техніки України,
Лауреат Державної премії України в
галузі науки і техніки, доктор технічних
наук, професор, завідувач кафедри
комп'ютерно - інтегрованих технологій,
автоматизації та мехатроніки
Харківського національного
університету радіоелектроніки*

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

І. Ш. Невлюдов

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Частина 1

Невлюдов І.Ш.

**Комп'ютерно-інтегровані технології
виробництва технічних засобів
автоматизації**

Частина 1

ПІДРУЧНИК ДЛЯ СТУДЕНТІВ
ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСІТИ
галузі знань «Автоматизація та приладобудування»,
«Електроніка та телекомунікації»

Рецензенти:

1. **Нефьодов Л.І.**, д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Харківського національного автомобільно-дорожнього університету
2. **Моспан В.О.**, к.т.н., проф., декан факультету електроніки та комп'ютерної інженерії, Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського
3. **Хорошайло Ю. Є.**, к.т.н., доцент, в.о. завідувача кафедри проектування та експлуатації електронних апаратів, Харківський національний університет радіоелектроніки

*Рекомендовано Вченою радою
Харківського національного університету радіоелектроніки
(протокол №9 від 30 жовтня 2020 року)*

Невлюдов І.Ш.,
Н-40 Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва технічних засобів автоматизації. Частина 1: Підручник
Харків: ФОП Панов А.М., 2021., 604 с.
ISBN 978-617-7947-67-6

У підручнику викладено питання виробництва технічних засобів автоматизації. Розглянуто сучасні тенденції інтелектуального виробництва, зокрема, викладено питання формування «розумного виробництва». Наведено основи раціонального виробництва, в якому використовуються сучасні промислові кіберфізичні системи, технології Інтернету речей та хмарні обчислення. Наведено приклади цифровізації різних етапів процесу підготовки виробництва. Матеріал підручника побудований на розгляді технологічної системи, як сукупності функціонально пов'язаних засобів інформаційного та технологічного оснащення, предметів виробництва і виконавців для виконання в регламентованих умовах виробництва заданих технологічних процесів або операцій. Дане поняття розглядається в економічному (фізичному) і кібернетичному (інформаційному) аспектах, поєднання яких дає уявлення про реальну технологічну систему як кіберфізичну систему.

Підручник призначено для підготовки фахівців в галузі знань «Автоматизація та приладобудування», «Електроніка та телекомунікації». Може бути корисний аспірантам та фахівцям в промисловості, робота яких пов'язана з розробкою та організацією виробництва засобів автоматизації та автоматизованих систем управління технологічними процесами.

УДК 658.51: 004.4'22

ISBN 978-617-7947-67-6

© Невлюдов І.Ш.
© Харківський національний університет
радіоелектроніки, 2020

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	10
1. СУЧАСНИЙ СТАН ВИРОБНИЦТВА ТЕХНІЧНИХ ЗА- СОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	15
1.1 Роль автоматизації в сучасному науково-технічному прогресі.....	15
1.2 теоретичні основи і фізична сутність технологічних систем.....	22
1.3 Трансформація підприємств із застосування сучасних технологій.....	35
1.4 Базові принципи проектування інтелектуальних інте- грованих систем.....	48
1.5 Цифровізація етапів процесу підготовки виробництва.	58
1.6 Розумні машини (Smart Machines) і автоматизація роз- подільних систем (Smart Grid Automation).....	79
1.7 Автоматизація на основі кіберфізичної системи.....	81
Запитання для самоперевірки.....	95
2. ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПЕРАЦІЙ ТА ПРОЦЕСІВ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРО- ВАНОВОГО ВИРОБНИЦТВА ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ...	96
2.1 Роль інформаційного забезпечення в управлінні підприємством.....	96
2.2 Класифікація інформаційних систем.....	112
2.3 Інформаційна система сучасного підприємства.....	119
2.3.1 Ресурси і технології інформаційних систем.....	124
2.3.2 Класифікація інформаційних технологій.....	127
2.4 Засоби технологічного оснащення ТП.....	129
2.4.1 Верстати з ЧПУ.....	134
2.4.2 Промисловий робот.....	141

2.4.3 Програмовані контролери і мікроконтролери в автоматизованих системах управління.....	148
2.4.4 Контролери.....	151
2.4.4.1 Контролер на базі персонального комп'ютера.....	153
2.4.4.2 Програмований логічний контролер.....	155
2.4.4.3 Мережевий комплекс контролерів (PLC, NETWORK).....	157
Запитання для самоперевірки.....	165
3. ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	166
3.1 Конструктивно-технологічні особливості сучасних засобів автоматизації.....	166
3.2 Технічні засоби як об'єкт виробництва.....	173
3.3 Виробництво ТЗА і його організація.....	179
3.3.1 Типи виробництва.....	179
3.3.2 Організаційні форми виробництва.....	182
3.4 Структура виробничого і технологічного процесів.....	192
3.5 Основні принципи організації виробництва.....	203
3.6 Гнучкі інтегровані виробництва як вища форма організації виробництва.....	206
3.7 Продуктивність праці і шляхи її підвищення.....	213
3.8 Якість продукції.....	233
Запитання для самоперевірки.....	260
4. ТЕХНІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ.....	261
4.1 Організація науково-дослідних робіт.....	261
4.1.1 Поняття науково-дослідної роботи.....	261
4.1.2 Основні етапи НДР, їх зміст.....	263
4.1.3 Об'єкти автоматизації НДР.....	265
4.1.4 Методика автоматизації НДР.....	266
4.2 Організація конструкторської підготовки виробництва	268

4.2.1 Основні поняття.....	268
4.2.2 Призначення автоматизованої системи конструкторської підготовки виробництва, її функції і класифікація	270
4.3 Технологічна підготовка виробництва.....	272
4.3.1 Основні поняття.....	272
4.3.2 Основний зміст робіт з ТПВ.....	277
4.3.3 Оцінка рівня технологічної підготовки виробництва.....	279
4.3.4 Технологічність конструкції.....	286
4.3.4.1 Основні поняття.....	286
4.3.4.2 Правила забезпечення технологічності деталі на різних стадіях розробки конструкції.....	292
4.3.4.3 Правила забезпечення технологічності складальної одиниці на різних стадіях розробки конструкції.....	296
4.3.5 Правила розробки технологічних процесів.....	315
4.3.5.1 Загальні правила розробки технологічних процесів.....	315
4.3.5.2 Правила розробки та застосування типових ТП	320
4.3.5.3 Правила розробки групових технологічних процесів.....	325
4.3.6 Правила вибору технологічного устаткування.....	330
4.3.7 Правила вибору засобів технологічного оснащення	341
4.3.7.1 Правила вибору технологічного оснащення.....	341
4.4 Автоматизована система технологічної підготовки виробництва.....	352
Запитання для самоперевірки.....	357
5. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ТОЧНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОННИХ АППАРАТІВ ТА ЇХ ДЕТАЛЕЙ.....	358

5.1 Відомості з теорії ймовірностей для теоретичного аналізу точності виробництва.....	358
5.2 Основи статистичного аналізу точності виробництва...	398
5.3 Розрахунки точності при виробництві ТЗА.....	408
5.4 Оцінка сумарної похибки за допомогою кривих розподілу точносних діаграм.....	418
5.5 Визначення технологічної точності вихідних параметрів ТЗА при багатоопераційному процесі виготовлення методом кореляційного аналізу.....	425
Запитання для самоперевірки.....	436
6. ОСНОВНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ, ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ВИРОБНИЦТВІ ТЗА.....	437
6.1 Поняття про моделі складних процесів.....	437
6.2 Математичні моделі технологічних процесів.....	438
6.3 Методи оптимізації.....	443
6.4 Дисперсійний і регресійний аналіз технологічних процесів.....	456
6.5 Планування екстремальних експериментів.....	465
6.6 Виявлення найбільш суттєвих технологічних факторів.....	495
Запитання для самоперевірки.....	510
7. ВИДИ РОБІТ З ТЕХНІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА.....	511
7.1 Визначення показників технологічної підготовки виробництва.....	511
7.2 Автоматизоване проектування ТП.....	513
7.2.1 Аналіз елементної та конструктивно-технологічної бази засобів автоматизації.....	513
7.2.2 Проектування друкованих плат.....	514
7.3 Моделювання та оптимізація ТП.....	517

7.3.1 Методика моделювання ТП методом планування екстремальних експериментів.....	517
7.3.1.1 Повний факторний експеримент.....	517
7.3.1.2 Дробовий факторний експеримент.....	529
7.3.1.3 Опис «майже стаціонарної» області.....	534
7.3.1.4 Метод рангової кореляції.....	547
7.3.1.5 Насичені плани.....	550
7.3.1.6 Метод надтонасичених планів.....	552
Запитання для самоперевірки.....	560
8. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	561
8.1 Забезпечення точності операцій складання.....	561
8.1.1 Розрахунок точності складання вихідних параметрів засобів автоматизації.....	561
8.2 Організаційні основи складання.....	567
8.2.1 Розрахунок техніко-економічних показників складання.....	567
8.3 Статистичний аналіз технологічних операцій складання.....	575
8.3.1 Основні розрахункові співвідношення.....	575
8.4 Технологічне оснащення у виробництві ТЗА.....	582
8.4.1 Основні теоретичні відомості.....	582
Запитання для самоперевірки.....	593
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	594

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АВС – автоматизована виробнича система;
АЛ – автоматична лінія;
АРМ – автоматизоване робоче місце;
АСНД – автоматизовані системи наукових досліджень;
АСПВ – автоматизована система підготовки виробництва;
АСТПВ – автоматизована система технологічної підготовки виробництва;
АСУВ – автоматизована система управління виробництвом;
АСУТП – автоматизована система управління технологічними процесами;
БЗ – база знань;
ВДП – виробничої діяльності підприємства;
ВТК – виробничо-технологічний комплекс;
ГАВ – гнучке автоматизоване виробництво;
ГАЛ – гнучка автоматизована лінія;
ГАУ – гнучка автоматизована ділянка;
ГВС – гнучка виробнича система;
ГІС – гнучка інформаційна система;
ЖЦВ – життєвий цикл виробу;
ЗТО – засоби технологічного оснащення;
ІАСУ – інтегрована автоматизована система управління;
ІЗ – інформаційне забезпечення;
ІС – інтелектуальні інтегровані системи;
ІМ – інтегральні мікросхеми;
ІТ – інформаційні технології;
КІВС – комп'ютерно-інтегрована виробнича система;
КІТ – комп'ютерно-інтегровані технології;
КФС – кіберфізична система;

ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій;
ПЗО – пристроїв зв'язку з об'єктом;
ПК – програмовані контролери;
ПЛК – програмований логічний контролер;
ПР – промисловий робот;
ПТК – програмно-технічний комплекс;
ПУ – програмне управління;
ПФМ – програмно-функціональний модуль;
РТК – робототехнічний комплекс;
САК – автоматизована система контролю;
САПР – системи автоматизованого проектування;
СОУ – система оперативного управління;
СППР – система підтримки прийняття рішень;
СТП – система технологічної підготовки;
СУБД – системи управління базами даних;
ТЗА – технічні засоби автоматизації;
ТЗ – технічне завдання;
ТОУ – технологічний об'єкт управління;
ТП – технологічний процес;
ТПВ – технічна підготовка виробництва;
ТС – технологічна система;
ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;
ЧПУ – числове програмне управління;
ШІ – штучний інтелект;
CAD – Computer-Aided Design;
CAE – Computer-Aided Engineering;
CAM – Computer-Aided Manufacturing;
ERP – Enterprise Resource Planning;
IoT – Інтернет речей;
NFC – Near Field Communication;
PDM – Product Data Management.

ВСТУП

Сьогодні все більше компаній-виробників впроваджують на свої підприємства різні системи управління виробництвом. 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 сенсibilізації виконавчого обладнання, досягнення нових рівнів автоматизації виробничих процесів РЕПБ та створення великих мережевих інфраструктур керування та аналітичної обробки

даних з можливістю отримання віддаленого доступу до зазначених систем.

У зв'язку з сучасними тенденціями інтелектуалізації виробництва з'явилася необхідність у переробці та доповненні підручників «Основи виробництва» та «Комп'ютерно-інтегровані виробництва засобів автоматизації», що включають в себе основні теоретичні відомості з виробництва засобів автоматизації, на базі яких підготовлено даний підручник. Він складається з восьми розділів.

В першому розділі розглянуто сучасні тенденції інтелектуального виробництва. Викладено питання формування «розумного виробництва». Наведено основи раціонального виробництва, в якому використовуються сучасні промислові кіберфізичні системи, технології Інтернета речей та хмарні обчислення. Наведено приклади цифровізації різних етапів процесу підготовки виробництва. Представлено модель функціонування виробництва («цифрове підприємство»). Розглянуто серверні рішення щодо виробничих промислових систем. Обґрунтовано використання кіберфізичних виробничих систем.

В другому розділі йдеться про інформаційне забезпечення в управлінні підприємством. Розглянуто класифікацію інформаційних систем сучасного підприємства та питання ресурсів і технологій інформаційних систем. Приведена інформація, яка дає уявлення про засоби технологічного оснащення технологічних процесів. Розглянуто програмовані контролери і мікроконтролери в автоматизованих системах управління, мережевий комплекс контролерів (PLC, NETWORK).

В третьому розділі приведені відомості з організації виробництва засобів автоматизації. Розглянуто основні вимоги до засобів та обладнання, наведено критерії вибору технічних засобів автоматизації та системи керування (СК) обладнанням. Викладено питання щодо якості продукції.

В четвертому розділі узагальнено досвід щодо технічної підготовки виробництва технічних засобів. Викладено основні поняття організації конструкторської підготовки виробництва. Міститься також інформація про правила розробки технологічних процесів, вибору технологічного устаткування, вибору технологічного оснащення та автоматизовану систему технологічної підготовки виробництва.

В п'ятому розділі наведено основні теоретичні відомості та методи розрахунку точності виробництва електронних апаратів та їх деталей.

В шостому розділі розглянуто основні методи моделювання, оптимізації технологічних процесів у виробництві технічних засобів автоматизації. Це є дуже важливим, оскільки в основу кожної системи автоматизованого проектування закладена певна математична модель, що формалізує опис проєктованих виробів і процесів їх виготовлення.

Розділ сьомий присвячений видам робіт з технічної підготовки комп'ютерно-інтегрованого виробництва, тобто, йдеться про визначення показників технологічної підготовки виробництва, автоматизоване проєктування технологічних процесів, їх моделювання та оптимізації.

У восьмому розділі йдеться про технологічне забезпечення вихідних параметрів засобів автоматизації, що передбачає забезпечення точності операцій складання, організаційні основи складання, статистичний аналіз технологічних операцій складання, технологічне оснащення у виробництві технічних засобів автоматизації.

У кінці кожного з розділів наводяться контрольні питання. Вони забезпечують самостійне засвоєння студентами теоретичних положень дисципліни, формування професіональних умінь і навичок з метою придбання належної кваліфікації.

Досить значний список літератури дозволить користувачам більш детально ознайомитися з теоретичним обґрунтуванням кола питань, що розглядаються у підручнику.

Під час підготовки підручника використано не лише особистий досвід автора та колективу очолюваної ним кафедри, але й таких авторів, як А. П. Доставко, Ш. М. Чабдарова, В. Г. Алексєєва, О. П. Глудкіна, Є. М. Парфьонова та інших.

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 – Олександрову Ю.М. та Андрусевичу А. О..

Особливу вдячність автор висловлює Демській Н. П.,

Боцман І.В., Хрустальовій С.В. та Коломієць О.І. 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. СУЧАСНИЙ СТАН ВИРОБНИЦТВА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Роль автоматизації в сучасному науково-технічному прогресі

Сучасне виробництво (підприємство) являє собою технологічну систему, що складається із взаємопов'язаних по горизонталі і вертикалі підсистем. Основу діяльності кожної складної технологічної системи (ТС), у нашому випадку підприємства, становлять виробничі процеси, які виконуються у відповідних підрозділах. ТС виробничого підрозділу складається із сукупності типових основних і допоміжних технологічних процесів і апаратів, що управляються автоматизованими системами управління технологічними процесами (АСУ ТП), до складу яких належать системи, які призначені для управління безперервним виробництвом, автоматизованими потоковими лініями, комплексними лініями агрегатів і верстатів, верстатами з числовим програмним управлінням.

Управління в ТС може здійснюватися безпосередньо людиною (виконавцем) або людиною з використанням технічних засобів, або тільки технічними засобами, що працюють за програмою. Основним завданням цих засобів є збирання, зберігання, попередня обробка, передача і відображення технологічної інформації (даних процесу) для забезпечення ефективної взаємодії системи управління і оператора.

Системи автоматичного управління є складними системами не тільки з погляду апаратного складу, їхнього конструктивного виконання, наявності великої кількості параметрів, але й обсягу інформації. Це обумовлено тим, що навіть в одному ланцюзі управління сигнал може багаторазово перетворюватися з однієї форми в іншу. Для перетворення сигналів, а також для необхідної зміни їхніх величин і забезпечення заданих якостей

системи автоматичного управління (САУ) використовуються погоджуючі елементи і пристрої. Ці елементи можуть входити в найрізноманітніші ланки ланцюга управління. При розгляді основних принципів роботи системи автоматичного управління погоджуючі елементи можна не враховувати, маючи на увазі їхню обов'язкову наявність у складі основних частин системи управління.

Якість функціонування систем автоматизації в значною мірою залежить від використаної в ній технічного забезпечення, до яких входять, як правило, стандартні мікро – та міні ЕОМ, зовнішні пристрої пам'яті, пристрої міжмашинного зв'язку, різні дисплеї, термінальні пристрої, автоматичні пристрої введення інформації, пристрої реєстрації інформації, пристрої друку і тиражування документації, різного роду датчики, виконавчі механізми та ін.

Автоматизація та технічний прогрес – ці два поняття не тільки зараз, але й в минулому були невіддільні один від одного, так як прогрес техніки міститься в тому, що людська праця все більше й більше відступає на задній план перед працею машин.

Вже найбільш ранні періоди розвитку техніки характеризуються створенням достатньо широко поширених пристроїв, здатних діяти автоматично, наприклад, пастки, ідея яких в значній мірі концентрувала існуючі на той час досягнення людини. Те ж саме можна сказати й про більш пізній період, коли першим кроком для переходу до машинної індустрії стають механічний годинник та млини, де діяли такі високоавтоматизовані пристрої, як механізм для просіювання та механізм тряски (останній призначений для регулювання подачі зерна на жорно в залежності від швидкості його обертання).

Відомий французький вчений Поль Косса – автор однієї з науково-популярних книг з кібернетики, писав, що перебудова служить чудовим прикладом тих «рефлекторних регуляцій», про

які тепер говорять, що вони здійснюються за допомогою зворотного зв'язку. Дійсно, наприклад, відхилення від курсу літака в польоті викликає відповідну «реакцію» автопілота, який, діючи на органи керування, намагається звести до нуля утворені неузгодженості між величиною заданого та фактичного курсів.

В період технічного перевороту та промислової революції кінця XVIII ст. створення автоматично діючих робочих машин не тільки докорінно змінило саму техніку, але й послужило основою для переходу від мануфактурної форми організації виробництва до фабричної системи.

Створення та розвиток машинно-фабричного виробництва також було обумовлено подальшим підвищенням степені автоматизації, яке виражалось не лише в створенні більш автоматизованих технічних засобів, але й у вдосконаленні організації праці. Особливо характерно в цьому відношенні підприємство, створене Генрі Фордом, де фактично, все виробництво було підпорядковане ідеї максимально можливій автоматизації.

Таким чином, засоби автоматизації мали визначальне значення для розвитку технічного прогресу в кожний з відповідних періодів їх активного існування. Винайдення пасток та їх використання викликало свого роду переворот в основній формі господарства – полюванні, надало можливість добувати звіра одразу в декількох місцях без безпосередньої участі людини. В періоди переважного розвитку тваринництва та землеробства увага «техніків» зосереджується на пристроях для вимірювання часу та млинах.

В наші дні значення автоматизації аж ніяк не зменшилось. І якщо спробувати з'ясувати, що ж в найбільшій степені визначає сучасний науково-технічний прогрес, то, так як і в минулому, це буде автоматизація, яка проявляється, до речі, вже в самому змісті терміну «технічний прогрес та автоматизація». Ці терміни існують досить давно, стали звичними та здаються ціл-

ком зрозумілими та визначеними. Однак при більш глибокому розгляді вони викликають чимало питань.

В літературі прогрес іноді ототожнюється з розвитком взагалі. Однак «розвиток» поняття більш широке, ніж прогрес, воно включає не тільки висхідний рух (власне прогресивний), але й спадний рух (регресивний).

Тому співвідношення прогресу та розвитку – співвідношення частини та цілого. Звідси, далеко не всі явища в розвитку техніки можуть розглядатися при вивченні її прогресивного розвитку. Зокрема, прогрес в техніці ототожнюється з ускладненням. Однак це зовсім не означає, що прогресивним є будь-яке ускладнення. Часті випадки, коли створення складної системи веде до зменшення надійності її роботи, погіршенню можливостей експлуатації і т.д., що змушує сумніватись в її прогресивності, в ефективності виконуваних нею функцій. Отже, можна припустити, що на перший план при розгляді технічного прогресу слід висунути функціональну ознаку.

Також підвищення продуктивності праці можна вважати найважливішим критерієм технічного прогресу. В умовах сучасного виробництва основний засіб підвищення продуктивності праці знову ж таки автоматизація. Відтак, не тільки з точки зору заміни людської праці машинним, але й в аспекті підвищення продуктивності праці автоматизація – основа технічного прогресу.

Стосовно самого поняття «автоматизація» навряд чи можна з впевненістю сказати, що воно повністю визначилося та всіма приймається однозначно. Причина тут не тільки у відсутності визначення, але також й в тому, що воно значній мірі змінювалося у процесі розвитку. В свій час автоматами вважали годинник. Автоматично діючими робочими машинами свого часу називались супорт та прядильний механізм, зараз це може викликати непорозуміння, так як ці пристрої вважаються таки-

ми, як механізують відповідний процес, а зовсім не такими, які автоматизують його.

Тому для подальшого розуміння необхідно визначитися в єдиному розумінні термінів «автоматизація» та «механізація».

Отже, під автоматизацією тої чи іншої операції, процесу і т.д. будемо розуміти використання відповідних пристроїв, які забезпечують виконання заданих операцій та процесів без посередньої участі людини впродовж всього виробничого (робочого) циклу. Людина вилучається зі сфери виробництва. Механізованими будемо вважати операції, процеси і т.д., в яких людина безпосередньо приймає участь у виробництві, діючи з допомогою пристроїв, які забезпечують працю та збільшують її ефективність.

Підвищення рівня механізації, а потім і автоматизації тих чи інших виробничих процесів забезпечує не лише різке збільшення випуску продукції, але й значне підвищення її точності, а звідси й надійності.

Цей процес є складним, в його основі лежать економічні інтереси і технічні потреби виробництва, що автоматизуються, з одного боку, і ті ж інтереси і технологічні можливості виробників технічних засобів автоматизації, – з іншого. Первинним стимулом розвитку є підвищення економічної ефективності роботи підприємств, завдяки впровадженню нових, більш досконалих технічних засобів автоматизації.

У розвитку економічних і технічних передумов впровадження і використання автоматизації технологічних процесів (ТП) можна виділити наступні етапи:

1. *Початковий етап*, для якого характерні надлишок дешевої робочої сили, низька продуктивність праці, мала одинична потужність агрегатів і установок. Завдяки цьому найширший загал для участі людини в управлінні ТП, тобто спостереження

за об'єктом управління, а також прийняття та виконання управлінських рішень, на даному етапі було економічно виправданим. Механізації і автоматизації підлягали тільки ті окремі процеси і операції, управління якими людина не могла здійснювати досить надійно за своїми психофізіологічних даними, тобто технологічні операції вимагали великих м'язових зусиль, швидкості реакції, підвищеної уваги та ін.

2. Перехід до етапу *комплексної механізації і автоматизації* виробництва відбулося завдяки зростанню продуктивності праці, укрупнення одиничної потужності агрегатів і установок, розвитку матеріальної і науково-технічної бази автоматизації. На цьому етапі, при управлінні ТП людина-оператор все більш займається розумовою працею, виконуючи різноманітні логічні операції при пусках і остановах об'єктів, особливо при виникненні будь-непередбачених обставин, передаварійних і аварійних ситуацій, а також оцінює стан об'єкта, контролює і резервує роботу автоматичних систем. На даному етапі формуються основи великосерійного виробництва технічних засобів автоматизації, орієнтованого на широке застосування стандартизації, спеціалізації та кооперації. Широкі масштаби виробництва засобів автоматизації та специфіка їх виготовлення призводять до поступового виділення цього виробництва в самостійну галузь.

3. З появою керуючих обчислювальних машин (КОМ) починається перехід до етапу *автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП)*, який співпав з початком науково-технічної революції. На даному етапі стає можливою і економічно доцільною автоматизація все більш складних функцій управління, що здійснюється з використанням КОМ. Але, оскільки КОМ тоді були досить громіздкими і дорогими, то для реалізації більш простих функцій управління досить широко застосовувалися і традиційні аналогові пристрої автоматики. Недоліком таких систем була їх невисока надійність, тому що вся інформація про хід ТП надходить і обробляється КОМ, при виході якої з ладу, її функції повинен був взяти на себе опера-

тор-технолог, що контролює роботу АСУТП. Природно, що в таких випадках якість управління ТП значно знижувалась, тому що людина не могла здійснювати управління настільки ж ефективно, як КОМ.

4. Поява відносно недорогих і компактних мікропроцесорних пристроїв дозволило відмовитися від централізованих систем управління ТП, замінивши їх *розподіленими системами*, в яких збір та обробка інформації про виконання окремих взаємопов'язаних операцій ТП, а також прийняття управлінських рішень здійснюється автономно, локальними мікропроцесорними пристроями, які отримали назву мікроконтролерів. Тому надійність розподілених систем значно вище, ніж централізованих.

5. Розвиток мережевих технологій, що дозволило зв'язати в єдину корпоративну мережу численні і віддалені один від одного комп'ютери, за допомогою яких здійснюється контроль і аналіз фінансових, матеріальних і енергетичних потоків при виробництві підприємством продукції, а також управління ТП, сприяло переходу до *інтегрованих систем управління*. У цих системах за допомогою вельми складного програмного забезпечення спільно вирішується весь комплекс завдань з управління діяльністю підприємства, включаючи завдання обліку, планування, управління ТП і ін.

6. Підвищення швидкодії та інших ресурсів мікропроцесорів, які використовуються для управління ТП, дозволяє в даний час говорити про перехід до етапу створення *інтелектуальних систем управління*, здатних приймати ефективні рішення з управління підприємством в умовах інформаційної невизначеності, тобто нестачі необхідної інформації про фактори, що впливають на його прибуток.

1.2 Теоретичні основи і фізична сутність технологічних систем

Раніше у вітчизняній науці управління розглядали чотири види виробничих ресурсів: трудові, матеріальні, фінансові і технічні. Вважалося, що цих чотирьох видів цілком достатньо для функціонування виробничих процесів. Інформація, хоча і враховувалася в системі управління, однак, до категорії ресурсів її не відносили.

Найчастіше інформаційне забезпечення вважалося видом діяльності і тому зараховувалося до категорії функцій управління. Без інформації не може обійтися жодне підприємство, а для деяких даний ресурс є домінуючим. Тому з повною підставою можна віднести дану категорію до розряду виробничих ресурсів.

У технології обробки інформації первинні відомості про виробничі та комерційні операції; випуск продукції; фактичне придбання та продаж товарів; знання, навички людей і їхні робочі обов'язки, виконують роль предмета праці, а отримана в результаті цього інформація – продукту праці, вона використовується для аналізу і прийняття управлінських рішень.

Сучасне виробництво, засноване на останніх досягненнях науки і техніки, має бути організовано у вигляді єдиної цілісної організаційно-технологічної системи, що включає всі стадії та операції основних допоміжних і обслуговуючих процесів.

Інформаційна інтеграція має забезпечити доступ до необхідних даних для реалізації цих функцій. Таким чином, можна сказати, що функції поєднуються між собою інформаційними потоками, які забезпечують передачу даних. В інтегрованих автоматизованих системах управління, дані циркулюють по обчислювальним мережам. Тобто функції, які реалізовані на різних вузлах, об'єднані між собою мережними інформаційними пото-

ками. Однією з основних функцій інтеграції є забезпечення інформаційної взаємодії між існуючими підсистемами одного рівня.

Суспільне виробництво характеризується набором технологій використовуваних галузями. Галузь у свою чергу можна розглядати як набір однорідних технологій з різними інтенсивностями їх застосування. Подібно до того, як галузі створюють у господарстві тісно пов'язані блоки (комплекси), технології об'єднуються у більш-менш потужні системи.

При такому трактуванні системами можуть бути: технологічне обладнання, що складається з деталей і вузлів; технологічний процес, який передбачає безліч технологічних операцій; виробнича дільниця, що включає в себе технологічне обладнання, технологічні процеси, матеріали, людей і т.д.; підприємство, що об'єднує і зв'язує в єдине ціле безліч технологічних процесів, обладнання, колектив людей, ресурси та інше.

Системою називається сукупність, яка утворюється із кінцевої безлічі елементів, між якими існують певні відносини. Елемент може одночасно бути системою менших елементів. Система може бути розділена на підсистеми різної складності.

Постановка широкого кола системних завдань привела до ідеї узагальненого розгляду різних об'єктів. Ця ідея прийняла характер руху, спрямованого на побудову більш-менш суворих загальнонаукових концепцій, формулюючих принципи шарування системних об'єктів, різних варіантів загальної теорії систем.

Поняття «система» запроваджене Аристотелем (у перекладі з грецької означає ціле, складене з частин, об'єднання), який відзначив, що сума частин характеризується тим, що становище цих частин в системі не утворює відмінностей. Але там, де виникають такі відмінності, має місце ціле. Заради справед-

ливості потрібно зауважити, що поняття система використовувалось і до Аристотеля. Багатозначність поняття «система» дозволяє визначити цим словом широке коло різноякісних явищ, які, проте, мають дещо спільне.

Поняття «система» як і будь-яке наукове поняття, є результатом логічного абстрагування і виступає значною мірою як ідеальний об'єкт, який формується в свідомості (уяві) дослідника. У визначенні категорії «система» досить часто спостерігається намагання надати йому чіткість та конкретність, прив'язавши до певної галузі досліджень.

Вперше ідеї загальної теорії систем були послідовно викладені Л. фон Берталанфі в лекціях, проведених 1937 – 1938 рр. в Чикагському університеті, а перші публікації з цього приводу припадають на 1947 – 1950 рр. Ситуація різко змінилась на користь цих ідей, коли загальна теорія систем була прихильно сприйнята науковою громадськістю. Концепція загальної теорії систем виникла як узагальнення принципів теорії відкритих систем. Пізнавальні моделі, що застосовувалися в теорії відкритих систем, а також засоби і прийоми її побудови, давали можливість аналізувати і прогнозувати (ще в період створення теорії) не тільки біологічні об'єкти, а й явища фізичної хімії, соціології, психології та інших дисциплін.

За Л. Берталанфі, загальна теорія систем є виразом суттєвих змін у понятійній картині світу, які відбулися в ХХ ст. При цьому він посиляється на У. Уівера, який розмежовував три етапи розвитку предметів наукового аналізу: перший – організована простота (світ класичної механіки), другий – неорганізована складність (світ класичної статичної фізики), третій – організована складність. Поняття організованої складності, організації як предмета дослідження зумовило необхідність постановки нової пізнавальної концепції – загальної теорії систем, задачі якої сформулював Л. Берталанфі: 1) формулювання загальних принципів і законів розвитку систем незалежно від їх специфічного

виду, природи складових частин (елементів) і відносин між ними; 2) виявлення через аналіз біологічних, соціальних, біхевіоральних об'єктів, як систем, точних законів особливого типу в нефізичних областях пізнання; 3) створення основи для синтезу результатів сучасних наукових знань шляхом виявлення ізоморфізму законів, що відносяться до різних сфер реальності та наукового пізнання.

У своїй системній концепції Л. Берталанфі використав низку наріжних формальних категорій, що відображають системні властивості. *Категорія цілісності* означає, що зміна будь-якого елемента помітно впливає на всі інші елементи системи і приводить до зміни всієї системи і, навпаки, зміна одного елемента залежить від усіх інших елементів системи. *Категорія сумативності* – зміна будь-якого елемента залежить тільки від нього самого і зміни всієї системи є сумою змін не залежних один від одного її елементів (взаємодія в такому випадку дорівнює нулю). *Механізація* – процес переходу системи із стану цілісності до стану сумативності, при цьому коефіцієнти взаємодії кожного окремого елемента системи наближається до нуля. *Централізація* – процес збільшення коефіцієнтів взаємодії певної сукупності або окремого елемента, в результаті чого незначні зміни цієї сукупності (провідна частина системи) приводять до істотних змін всієї системи. *Ієрархія системи* – окремі елементи даної системи одночасно є відносно самостійними системами нижчого порядку, тобто ця система нижчого порядку розглядається як елемент системи більш високого порядку.

Для більшості сучасних загальносистемних підходів, у тому числі і при створенні технологічних систем, характерно збереження первинних завдань цієї теорії в тому вигляді, в якому вони були сформульовані Л. Берталанфі. Відбулися лише цілком природні уточнення, а іноді і розширення постановок похідних завдань (включення проблем системотехніки, акцентування уваги на цілеспрямовану поведінку систем і т.д.).

Система активно впливає на свої компоненти, змінюючи та перетворюючи їх відповідно до своєї внутрішньої суті (природи). В результаті такого впливу первинні (вихідні) компоненти зазнають помітних змін: одні з них втрачають певні властивості, якими вони володіли до входження в систему, та набувають нових властивостей; інші посилюють свої властивості в умовах внутрішнього середовища системи (внутрішньо системного середовища) і, таким чином, суттєво впливають на зовнішні функції системи в цілому; кількісних і якісних змін зазнають ті властивості компонентів, яких вони не втрачають.

Система, як правило, складається з великої кількості елементів, пов'язаних між собою і навколишнім середовищем і діють як єдине ціле. Наприклад, апарати, механізми, агрегати пов'язані між собою транспортними потоками сировини, матеріалів, енергії. Структура системи залежить від ступеня складності, ієрархічного рівня, рівня автоматизації, рівня спеціалізації і типу технологічних зв'язків.

Важливою особливістю системи є її склад, тобто певний набір компонентів, частин, елементів. Від складу, внутрішньої суті частини залежить природа цілого, тобто власне системи. Таким чином, склад, набір компонентів системи є *змістовною властивістю* останньої.

Кожна система володіє властивими і чітко її визначаючими властивостями. Сукупність значень властивостей системи у визначальний момент часу називається *станом системи*.

Зв'язки між компонентами системи завжди є суттєвими та органічними. Це означає, що ці зв'язки є виявом внутрішньої функціональної суті складових частин та відображують зміст і цільову спрямованість розвитку системи в цілому. Внаслідок цього зміна одного з компонентів викликає певні зміни всіх інших частин системи, а іноді – і системи в цілому. Наявність такої тісної взаємодії, органічного взаємозв'язку компонентів є

причиною того, що в різноманітних процесах, у взаємодії з середовищем система виступає як єдине, цілісне утворення. Це виявляється тому, що внутрішні зв'язки між компонентами системи значно тісніші та стійкіші, ніж зв'язки цієї системи (або її окремих компонентів) з іншими матеріальними об'єктами зовнішнього середовища.

При цьому об'єкти (частини) функціонують в часі як єдине ціле – кожний об'єкт, підсистема, осередок працюють для досягнення єдиної мети, що стоїть перед системою в цілому. Все це цілком узгоджується з визначенням поняття «технологічна система» відповідно до ДСТУ.

Технологічна система (ТС) – це сукупність функціонально пов'язаних засобів технологічного оснащення, предметів виробництва і виконавців для виконання в регламентованих умовах виробництва заданих технологічних процесів або операцій.

Перші технологічні системи з'явилися при організації цехів ремісників. Слово «цех» означало об'єднання ремісників однієї спеціальності. Зростання продуктивності праці та її якості в таких цехах забезпечувалося за рахунок передачі досвіду і прийомів роботи, поширення передових технологічних методів виготовлення продукції, застосування технічних засобів. Цехова структура стала важливим етапом удосконалення виробничих сил суспільства.

Другий етап технологічного розвитку виробничих сил пов'язаний з виникненням виробничих мануфактур, які забезпечили різке зростання продуктивності праці за рахунок раціональної організації виробництва. Спрощення окремих операцій та їх суворо повторюваність створили сприятливі умови для використання техніки. В результаті при таких же прийомах, інструментах та оснащенні, які були і у окремих ремісників, робітники мануфактур випускали в десятки і сотні разів більше продукції

на одну людину.

Третім етапом технологічного розвитку вважається впровадження комплексно-автоматизованого виробництва, визначальне значення в якому має використання керуючих машин, що дозволить передати всі трудові функції людини в матеріальному виробництві технічним засобам. А це досить важливо, так як чим продуктивніше, точніше та досконаліше (з точки зору різноманіття та кількості виконуваних операцій) технологія, тим менше можливостей використання в ній людини. Для даних технологій характерно вживання великих концентрацій енергії, використання надвисоких тисків та температур, високого вакууму, величезних швидкостей, далеких зв'язків, колосальних об'ємів інформації. Отже, необхідні такі технічні засоби, які дозволили б відсторонити людину від участі в безпосередньому виробництві.

Четвертий етап характеризується більш раціональним виробництвом, в якому використовуються революційні для сучасної промисловості кіберфізичні системи, технології Інтернету речей і хмарних обчислень.

Поняття «технологічна система» може розглядатися в економічному (фізичному) і кібернетичному (інформаційному) аспектах.

В останньому випадку воно значно відрізняється від звичного уявлення про фізичну сутність системи. Нерідко робляться спроби матеріалізувати кібернетичний аспект, показати його предметно, вважати входи і виходи системи матеріальними системами, що призводить до спотворень і вульгаризації. Разом з тим поняття матеріальної системи ТС не має бути відкинуто. Воно знаходиться поруч з моделлю кібернетичної системи і в якійсь мірі її обумовлює. Як тільки переходять від кібернетичної моделі до її реалізації, знову виникає матеріальний світ ТС з її закономірностями. Розглядаючи кібернетичну систему як абст-

рактну модель, виявляють, що вона може поєднувати свої грані з фізичним прототипом ТС.

Абстракцією, узагальненим поняттям є й економічний аспект ТС. Основні економічні параметри ТС: тип виробництва, спеціалізація, економічність, ефективність, продуктивність і т.п.

У свою чергу, істотний кібернетичний аспект керуючої частини ТС – її характеристика за призначенням, ролі в ній людини, структуру і кроки управління.

Поєднання фізичного, економічного і кібернетичного аспектів дає уявлення про реальну ТС як складну систему (рис. 1.1). Важливо привести ці три боки ТС у взаємну відповідність.

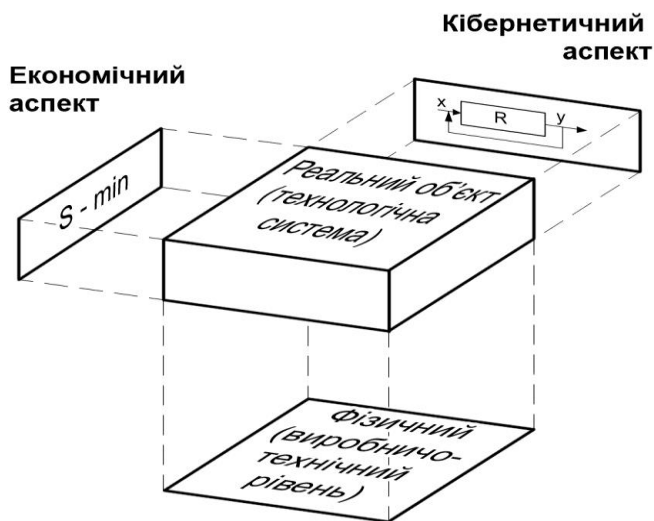


Рис. 1.1. Подання ТС як кібернетичної системи

Фізичну систему характеризують матеріальні чи енергетичні зв'язки. Фізичну сутність ТС залежно від її рівня складають: технологічна операція і обладнання, що реалізує її технологічний процес та обладнання, що реалізує його; виробничий підрозділ або підприємство, тобто вся сукупність функціонально пов'язаних засобів технологічного оснащення, предметів праці і виконавців, що виконують конкретний процес виробництва продукції.

Технологічна система, що розглядається як фізична – в основному об'єкт вивчення через її матеріальну основу, різноманітні процеси виробництва – механічні, хімічні, комбіновані (електромеханічні, електрохімічні і багато інших), спрямовані на виготовлення об'єкта виробництва.

Диференціація і дискретність виробів і процесів вимагає подальшого технологічного поєднання, складання, монтажу, контролю, випробування, налаштування, а також організаційного синтезу великого комплексу самостійних процесів, які потребують складної координації та управління.

Під кібернетичною системою розуміється система, що має інформаційну мережу з входами і виходами, що відрізняється великою складністю і забезпечує на основі автономного управління її саморегулювання. Сукупність таких ознак виявляється в живих і неживих організованих системах, саморегулюючих машинах і пристроях, колективах людей і суспільства в цілому.

На противагу фізичному аспекту, в кібернетичному приймаються до уваги тільки інформаційні зв'язки між елементами (підсистемами) ТС. Єдність ТС забезпечується на основі інформації та управління.

Відомо, що первинною необхідною умовою існування будь-якої системи є наявність зв'язків між її елементами. Зв'язки – це обмін (потoki) речовиною, енергією та інформацією між

елементами системи а також між системою та середовищем, що її оточує. Тобто інформація є одним з носіїв зв'язку між елементами, власне, сутністю зв'язку. Інформаційні зв'язки виявляються в багатьох системах різної природи, але в класичному розумінні такі зв'язки властиві для складних організованих систем. Однією з необхідних умов вияву (реалізації) функціональних властивостей системи, про які йшлося раніше, є наявність інформаційної взаємодії між її елементами, тобто наявність не лише каналів зв'язку, а й матеріальної їх наповненості сигналами. Інформаційність системи виявляється в її здатності втілювати інформаційну суть сигналів та в здатності кодувати повідомлення.

Інформація (лат. information – роз'яснення, повідомлення), як одне з основних понять кібернетики означає сукупність певних відомостей, даних. Цей термін належить до вихідних, аксіоматичних понять науки. Поняття інформації розкривається сутністю дій, в яких вона бере участь, а саме: передача, перетворення, зберігання. Вивчення загальних властивостей інформації незалежно від її змісту є предметом теорії інформації.

Циркуляція інформації в системі можлива за умови, коли система володіє інформаційними ресурсами, здатна здійснювати сприймання, переробку та передачу інформації. Система існує в певному інформаційному середовищі, яке може заважати передачі і отриманню інформації, спотворювати її. Для ефективного функціонування інформаційного процесу необхідно забезпечити відповідні умови, зокрема: запобігання спотворенню інформації як на передачі, так і на прийомі; створення мови інформації, що була б зрозумілою і доступною всім учасникам (елементам інформаційного процесу); забезпечити ефективний пошук, отримання та використання інформації.

Якісний бік інформації пов'язаний з трансформацією одних видів енергії в інші. Справедливим є те, що одна й та ж інформація може бути передана якісно різними енергетичними

носіями. Але неправильним є те, що інформація може бути сприйнятою у вигляді різних видів енергії. Наявність відповідних перетворювачів (органи відчуттів або аналізатори у тварин і людини) знімає відмінність між окремими видами енергії сигналів і є причиною уніфікації всіх форм впливу в одну, що відповідає специфікації сприймаючої системи. В цьому випадку інформація та її сила зазнають і низки перетворень, що зумовлює велику опосередкованість початкового впливу відносно реакції відображаючої системи.

Все це дає підстави стверджувати, що всі ті процеси, які зазвичай називаються інформаційними, за своєю суттю є процесами енергетичними.

Інформація – відношення якісної і кількісної відповідності між енергією впливу і енергією відображення, що визначає сигнальний характер впливу. Тобто інформація – це завжди відношення двох систем (або елементів).

В простих кібернетичних системах зміст інформації передається засобами синтаксису або суто формальних, структурних властивостей мови. Тим самим вид повідомлення однозначно визначає його зміст. Складна система має семіотичну структуру, тобто повноцінну мовну природу інформаційних зв'язків. У цьому випадку однозначність при передаванні порушується і в процесі обробки сигналу наступником здійснюється принципово нова технологія – інтерпретація прийнятого повідомлення. Це означає, що реакція системи або сприймаючого елемента буде далеко не однозначною, вона залежить від нюансів змісту, які тією чи іншою мірою властиві сигналу. Такого роду системи повинні володіти не тільки набагато більшим інформаційним запасом, а й здатністю розрізняти змістовні елементи.

Кібернетичну систему потрібно розглядати структурно як мережеву схему зв'язків, які можна зобразити лініями або дугами між елементами, або частинами ТС. У цій системі є як

мінімум два елементи – керована і керуюча частини (рис. 1.2).

Отже, кібернетична система (а ТС, на підставі викладеного, і є такою) – це насамперед інформаційна мережа, канали якої містять упорядковану послідовність сигналів, що утворюють потік інформації – це *перша ознака системи*.

В інформаційній мережі є координуючий центр, або регулятор, або кілька центрів, пов'язаних між собою певним порядком співвідпорядкованості. В результаті їх регулюючої діяльності в системі виникає замкнуте автономне управління – *друга важлива ознака системи*.

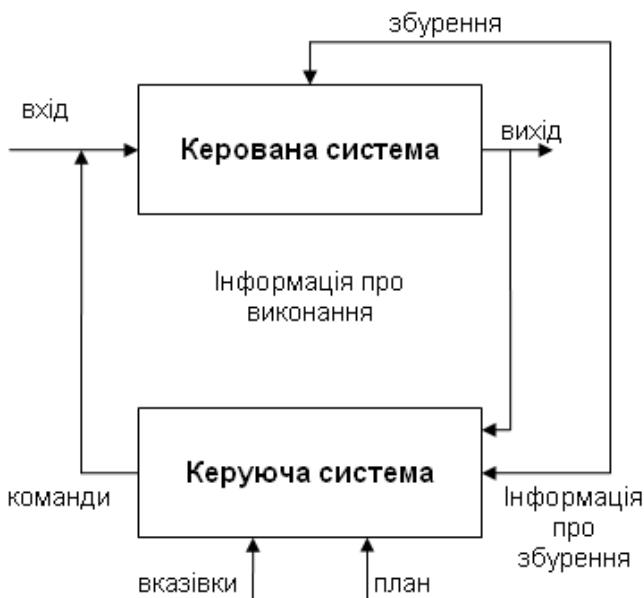


Рис. 1.2. ТС як кібернетична система

Інформація відображає зв'язки між об'єктами (система-

ми) і є їх властивістю. Вона циркулює між елементами (підсистемами), характеризує зв'язки між підсистемами і самою системою. Ці зв'язки використовуються в управлінні, бо базуються на передачі сигналів, що несуть відомості про ті чи інші події (зміни стану об'єкта) від однієї підсистеми до іншої або від підсистеми до системи. Тобто інформація є властивістю системи, що характеризує її зв'язки. Здатність сприймати інформацію залежить від організованості системи. Відомості, які передаються, можуть бути або не бути інформацією в залежності від того, наскільки відповідає рівень організації одержувача інформації рівню отриманої інформації.

Інформація, що надходить в систему і міститься в ній, необхідна для цілей управління, яка підтримує параметри системи в заданих межах. Інформація із зовнішнього та внутрішнього середовища кібернетичної системи необхідна для цілей управління, яка підтримує параметри системи в заданих межах. Таку властивість прийнято називати саморегулюванням. Це *третьою ознакою системи*.

Кібернетика розглядає систему як єдність керуючих та керованих елементів. Сукупність керуючих елементів – це управлінська підсистема, а сукупність керованих елементів – об'єкт управління (керована підсистема). Ці підсистеми зв'язані між собою прямими та зворотними зв'язками, що здійснюються відповідними каналами зв'язку. Керуюча підсистема каналами прямого зв'язку подає інформацію, впливаючи таким способом на керовану підсистему з метою досягнення (забезпечення) певних (завчасно визначених) її параметрів, функцій, траєкторій руху.

Загальна модель інформаційної взаємодії базується на поняттях «вхід» і «вихід», що характеризують зв'язки елемента з оточуючим його її середовищем (воно є, зазвичай, внутрішньосистемним, але досить часто і зовнішнім не лише стосовно елемента, а й стосовно системи в цілому).

Інформаційна особливість кібернетичної системи полягає в необхідності постійного отримання інформації (відомостей) про вплив середовища на керовану систему, інформації про будову, стан та поведінку цієї системи, інформації про адекватність керуючої системи. Невід'ємною умовою управління є наявність зворотного інформаційного зв'язку, що являє собою такий спосіб комунікації елементів, коли є зв'язок між входом і виходом одного й того ж елемента. Такий зв'язок може здійснюватися безпосередньо між входом і виходом або ж через інший елемент системи.

Для отримання та обміну інформацією з зовнішнім середовищем і всередині себе система повинна мати інформаційні входи і виходи (*четверта ознака системи*).

П'ятою ознакою кібернетичної системи є її велика складність. Складність визначається наявністю великої кількості елементів, що входять в систему, та інформаційних зв'язків, що забезпечують взаємодію між цими складовими.

Підхід до об'єктів дослідження, як до систем, відображає одну з головних особливостей сучасного наукового пізнання. У міру розгортання системних досліджень стає очевидним, що мова йде не про якусь єдину, що претендує на загальнонаукове значення концепцію, а про новий напрямок дослідницької діяльності, виробленні системи принципів наукового мислення, формуванні нового підходу до об'єктів дослідження, якими є ТС.

1.3 Трансформація підприємств із застосуванням сучасних технологій

Основна концепція подальшої автоматизації промислових підприємств – інтеграція управління підприємством, техно-

логічними процесами, виробництвом в цілому в єдиній системі на основі комп'ютерної техніки. Це створює передумови для побудови заводів-автоматів у майбутньому.

Поєднання комп'ютерного проектування, комп'ютерного виробництва і інтегрованих інформаційних систем являє собою найвищий рівень комп'ютерно-інтегрованих технологій (КІТ) приладобудування. Новий продукт може бути сконструйований на комп'ютері, і його дослідний зразок може бути виготовлений без участі людських рук. Ідеальне комп'ютеризоване підприємство здатне легко переключатися з одного виду продукції на інший, працює швидко і з високою точністю, без паперової документації, яка гальмує виробничий процес.

Комп'ютерні системи проектування і технологічної підготовки виробництва знизили ймовірність людських помилок, і завдяки цьому кількість конструкторських виправлень і переробок неправильно спроектованих компонентів зменшилася, в порівнянні з попередніми проектами, більш ніж на 50%.

КІТ виробництва забезпечують максимально можливий рівень якості, задоволення запитів споживачів і зниження собівартості тільки тоді, коли всі їхні компоненти використовуються в сукупності. Застосування КІТ і гнучких робочих процесів змінило весь характер виробництва. Стало можливим масове виробництво, орієнтоване на споживача (mass customization), коли заводи можуть в масовому порядку випускати продукцію, пристосованої до конкретних потреб покупців.

Переваги КІТ полягають у тому, що вироби різного розміру і типу, що відповідають різним споживчим запитам, можуть вільно перемішуватися один з одним на одній складальній лінії. Штрихові коди, нанесені на заготовки, дозволяють машинам миттєво вносити необхідні зміни, наприклад вкрутити шуруп більшого розміру, що не сповільнює ходу виробничого процесу. За допомогою однієї такої лінії виробник може випус-

кати нескінченну кількість видів продукції будь-якими партіями.

У традиційних промислових системах технологія дрібно-серійного виробництва давала підприємству можливість бути гнучким у виборі виробленої продукції і виконувати індивідуальні замовлення споживачів, але оскільки «робота майстра» мала велике значення при виготовленні унікальних товарів, призначених для конкретного покупця, партії неминуче повинні були бути маленькими. Масове виробництво оперувало значно більш великими партіями, але зате гнучкість була обмеженою. Технологія безперервного процесу призначалася для випуску одного стандартного продукту в необмежених кількостях.

Дослідження показують, що КІТ (рис. 1.3) дозволяє використовувати технологічне обладнання більш ефективно, продуктивність праці зростає, кількість відходів зменшується, а асортимент продуктів і задоволеність покупців збільшуються.

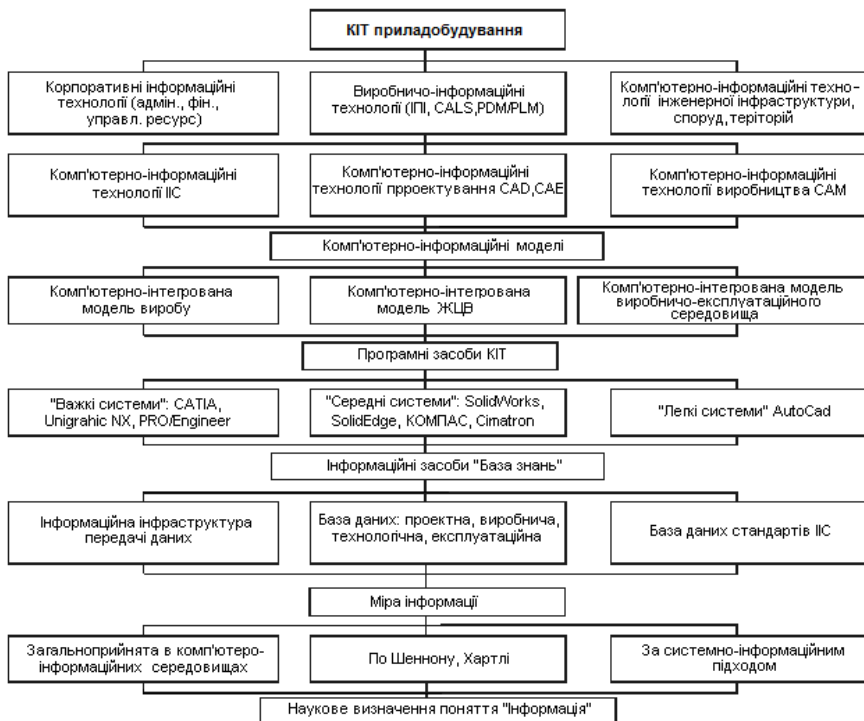


Рис. 1.3. Структура КІТ приладобудування

Промислові КІТ дозволяють підприємствам вирватися з лещат цієї діагоналі і збільшувати в один і той же час і гнучкість, і розмір партій продукції. У своєму найвищому розвитку КІТ уможлиблюють масове виробництво, орієнтоване на споживача (mass customization), коли кожен продукт унікальний і проведений за запитами покупця. Цей найвищий рівень використання КІТ отримав назву «комп'ютерної майстерності», бо комп'ютери індивідуально проектують кожен продукт так, щоб він задовольняв цілком певним потребам конкретного споживача. Дуже важливу роль у цьому повороті масового виробництва до

споживача відіграє розвиток Інтернету, так як електронні засоби комунікації дозволяють компаніям підтримувати тісний зв'язок з кожним окремим клієнтом і до того ж полегшують і прискорюють координацію споживчих запитів і виробничих можливостей підприємств.

В даний час для розробки різноманітної продукції промислові підприємства широко використовують наступні комп'ютерні технології – програмні засоби автоматизації: *CAD-системи* (Computer-Aided Design) – системи автоматизованого проектування (*САПР*), які, у міру розвитку CAD-технологій, пройшли шлях від простої електронної креслярської дошки до систем двовимірного (2D), а потім і тривимірного (3D) параметричного моделювання; *CAM-системи* (Computer-Aided Manufacturing) – системи технологічної підготовки виробництва, в першу чергу, верстатів з ЧПУ; *CAE-системи* (CAE – Computer-Aided Engineering) – системи автоматизації інженерних розрахунків, що становлять основу технологій комп'ютерного інжинірингу – найбільш наукомісткої складової *PLM-технологій*, оскільки саме ці програмні системи призначені для ефективного вирішення складних нестаціонарних нелінійних просторових завдань, описуваних системами нелінійних диференціальних рівнянь в приватних похідних, для вирішення яких застосовуються, як правило, різноманітні варіанти методу скінченних елементів (MCE), Finite Element Analysis, (FEA); *PDM-системи* (Product Data Management, PDM) – системи управління даними про виріб, іноді звані системами для колективної роботи з інженерними даними (Collabo-rative PDM, CPDM). Серед усього різноманіття *CAD/CAM-систем*, найбільш широко представлених на ринку, виділимо: «важкі системи» (CATIA, Unigra-phics NX, PRO/Engineer), що з'явилися в 1980-х рр. і володіють широкими функціональними можливостями і високою продуктивністю, незважаючи на те, що «важкі» системи є дорогими програмними системами, витрати на їх придбання окупаються, особливо, якщо йдеться про складний виробництві, наприклад, про машинобудуванні, авіаційній та аерокосмічній промисловості, суднобуду-

ванні, електро- і енергомашинобудуванні; «Середні системи» (SolidWorks, SolidEdge, Inventor Mechanical Desktop, Power Solutions, Cimatron, think3 та ін.), в яких, починаючи з їх виникнення в середині 1990-х рр., були об'єднані можливості 3D твердотільного моделювання, невисока в порівнянні з «важкими» системами ціна і орієнтація на платформу Windows. Ці CAD-системи зробили справжній переворот у світі САПР, дозволивши багатьом конструкторським і проектним організаціям перейти з двовимірного на тривимірне моделювання. Серед російських CAD/CAM-систем відзначимо, в першу чергу, КОМПАС, T-Flex, ADEM; «Легкі системи», які є найпоширенішими продуктами автоматизації проектування, серед безлічі яких, насамперед, слід назвати AutoCAD.

Створення єдиного інформаційного простору – проблема актуальна для машинобудівних підприємств. Небагато можна назвати прикладів реалізації єдиного інформаційного середовища. Слідом за впровадженням CAD/CAE/CAM, як правило, на машинобудівному підприємстві намагаються об'єднати систему управління господарською діяльністю ERP (Enterprise Resource Planning) – організує систему електронного документообігу; включає ведення договорів, бухгалтерії та кадрів; пов'язує прямо замовлення постачальнику з конкретною передачею у виробничу програму для формування замовлення виробництву не тільки склад виробу, але і технологію його виготовлення, що дозволяє точно планувати ресурси, процес виробництва, починаючи з технічних вимог і закінчуючи поставкою готових виробів, а також і програмне забезпечення для управління інженерними даними.

PDM (Product Data Management – є основою для виробничого планування і управління; забезпечує функціонування єдиного інформаційного середовища на базі електронного архіву, організовує обмін інформацією між підрозділами з проектування та планування, з одного боку, і виробничими підрозділами – з іншого боку). Ядром PDM є нормативно-довідкова база, що

відображає структуру і специфіку роботи конкретного підприємства. Головна мета об'єднання ERP і PDM полягає у створенні системи, яка дозволяє контролювати витрати, розраховувати собівартість продукції, планувати виробництво і формувати цінову політику. Головною перешкодою на шляху об'єднання є відсутність модулів для взаємодії програм від різних розробників. Для управління виробництвом потрібні номенклатурні бази даних, тому автоматизуються всі довідники і нормативні дані, впорядковуються вихідні дані, вводиться система кодування для комплектуючих і покупних виробів, наповнюється база даних PDM. Після цього стає можливим використовувати необхідну для управління виробництвом інформацію – склади виробів, облік матеріалів і комплектуючих, норми витрати та ін. У PDM також надходять дані по технологічних маршрутах, які розробляють технологи. Тут формується електронний архів конструкторської та технологічної документації. Відповідно, конструювання ведеться в середовищі CAD.

Інформація створюється конструктором або технологом і потрапляє в PDM. Дані вводяться один раз, далі автоматично здійснюється передача даних в одному напрямку – з PDM в ERP. Відсутність повторного введення виключає різночитання і знижує ризик появи в системі неточних відомостей. Головною перевагою наскрізних технологій є прозорість інформації: всі документи зберігаються в єдиній електронній базі даних – закупівельні ціни, за якими рахунками і від якого підприємства здійснюється поставка, пройшла оплата чи ні; тут же інформація про склад виробу, цифрові моделі, конструкторська і технологічна документація.

Конструктор створює модель і поміщає її в PDM, технолог використовує готову цифрову модель при розробці техпроцесу, при цьому розпаралелювання робіт скорочує витрати часу на проектування.

Вся інформація про виріб, починаючи з креслень і закін-

чуючи кріпленням при складанні, до найдрібніших подробиць вноситься до електронної бази даних, де простежується життєвий цикл виробу (ЖЦВ) кожній деталі: де і хто виготовив, з якого металу і яким способом штампували, на яких верстатах фрезерувати і т.д. – все до найдрібніших подробиць. Принциповим властивістю такої інформаційної системи є можливість не тільки описати структуру виробленого виробу, а й технології виготовлення, і більше того – накопичувати на наступних етапах всю інформацію про виготовлення кожної деталі і вузла, вироблених ремонтах і замінах і т.д. Інформація в достатній мірі деталізується, щоб при необхідності можна було відновити повну історію кожної деталі, виявити причини відмов і швидко внести необхідні зміни. Інформаційною базою користуються не тільки конструкторські та технологічні служби, але також служби технічної підготовки та управління виробництвом підприємства-виробника, оскільки формується повна інформаційна модель виробу, починаючи від конструкторської специфікації і закінчуючи даними про фактичне виготовлення.

Поточні тенденції в області автоматизації виробництва та обміну даними в промислових технологіях мають різні назви, але всі вони відносяться до одного й того ж процесу. Мова йде про нове, більш раціональне виробництво, в якому використовуються революційні для сучасної промисловості кіберфізичні системи, технології Інтернету речей і хмарних обчислень.

«Розумне виробництво», що відноситься до індустрії 4.0, передбачає оптимізацію за рахунок інновацій, контроль фізичних процесів, створення віртуальної копії фізичного світу, а також прийняття більш точних і своєчасних рішень. Процеси на такому виробництві керуються кіберфізичними зв'язками, що дозволяє приймати рішення в реальному часі та мати зворотний зв'язок між плануванням і фактичним виробництвом. Автоматизація є однією з визначальних характеристик «Розумного виробництва», вона обумовлює можливість значного підвищення показників якості та часу, а також зниження витрат ресурсів і вартості в по-

рівнянні з класичними виробничими системами.

Основні переваги «Розумного виробництва»:

Масове виробництво продукції з індивідуальними характеристиками. «Розумне виробництво» є більш гнучким у порівнянні з традиційними підходами, забезпечує можливість випуску різних видів продукції на одних виробничих потужностях завдяки автоматизації і технологій передачі даних. Більш швидкі і гнучкі процеси. Використання датчиків дає можливість автоматично розпізнавати відхилення в виробничих циклах і підвищити ефективність ланцюжка поставок матеріалів і ресурсів.

Підвищення безпеки в небезпечних виробничих умовах. Моделювання технологічних процесів і технології доповненої реальності дозволяють підвищити безпеку на небезпечних підприємствах, наприклад на нафтових платформах і хімічних заводах.

Підвищення якості. Дані, що надходять з датчиків, можуть використовуватися для визначення помилок в процесі виробництва. Незважаючи на очевидні переваги концепції «Розумного виробництва», багато компаній все ще не наважуються серйозно інвестувати в цифрові технології. Основними перешкодами для таких компаній є побоювання щодо гарантії захисту даних і висока вартість початкового впровадження. Потенційний ризик, пов'язаний з мережевим взаємодією та обміном внутрішніми та зовнішніми даними, вимагає більш ефективного захисту та використання систем резервного копіювання. Крім того, ключовим елементом успіху «Розумного виробництва» є ефективність процесів, керованих даними, тому в найближчому майбутньому будуть використовуватися все більш просунуті можливості обробки та використання даних, зокрема зникне необхідність поділу основних бізнес-систем (ERP, CRM, MES і PLM), що призведе до значного розширення можливостей обробки інформації.

Такий цілісний інтелектуальний підхід дозволяє створити централізовану інтегровану систему управління виробництвом, яка має наступні переваги:

Управління змінами – безперервне управління змінами виробничого процесу, засноване на даних.

Контроль виробництва – можливість отримання актуальних звітів про робочі процеси за рахунок використання в реальному часі зворотного зв'язку від обладнання.

Оптимізація використання матеріалів – завдяки інтеграції в виробничий процес даних про фактичне використання та залишки матеріалів може бути досягнута істотна оптимізація їх використання.

Ефективне планування виробництва – протягом усього процесу на основі планів, що враховують роботу виробничих майданчиків, підтримується планування виробничого циклу «точно в строк», включаючи етапи складання готових виробів і вузлів.

Скорочення складських запасів – на основі принципів Бережливого виробництва забезпечується підготовка тільки тих деталей, які потрібні в певний момент часу. Поставка деталей «точно в строк» зменшує простір, необхідне для проміжного зберігання, та скорочує час роботи з матеріалами, оскільки спрощується пошук необхідних деталей.

Перехід від апаратних засобів до програмних: вироби еволюціонували від простих фізичних компонентів до складних систем, що включають процесори, датчики, програмне забезпечення та цифрові інтерфейси користувача. У міру того, як виробники прагнуть прискорити розробку інноваційних виробів і ефективно задовольняти зростаючу різноманітність споживчого попиту та нормативних вимог, вони все частіше звертаються до програмного забезпечення. Як приклад: в даний час програмне

забезпечення автомобіля має в середньому 100 млн. рядків коду, щоб забезпечити різні режими керування, конфігурації двигуна і викидів, адаптивний круїз-контроль і безконтактне управління.

Підключення інтелектуальних виробів до мережі дозволяє використовувати цифровий компонент виробу в хмарі, щоб розширити можливості самого виробу і забезпечити абсолютно нові можливості поза ним. Виробники також знаходять, що перехід функцій виробів в хмару прискорює обслуговування, впровадження удосконалень та інновацій. Наприклад, в музичних системах з підтримкою бездротових мереж Wi-Fi основні функції виробу зміщуються в хмару, що значно спрощує конструкцію виробу, підвищує зручність і покращує інтеграцію з іншими додатками і службами.

Цінність зміщується від виробів до послуг: ринкові сили та конкуренція зменшили життєздатність стратегій, орієнтованих на вироби, які максимізують прибуток в момент продажу, і привели до зміни бізнес-моделі. Вироби інтегровані з послугами, які забезпечують отримання нової цінності протягом усього життєвого циклу виробу або просто доставляють бажаний результат через обслуговування на вимогу.

Наприклад, виробники авіаційних двигунів продають години нальоту, а не двигуни, що спонукає виробників оптимізувати час безперебійної роботи виробу, пропонувати додаткові корисні послуги та забезпечити для операторів більш оптимальне управління витратами. Ці три істотних зсуви цінностей створили нові джерела конкурентної переваги, але вони також вимагають нових навичок, інфраструктури, культурних норм і операційних моделей. Для виробників, які зможуть трансформуватися відповідно до вимог інтелектуального, мережевого світу, така комбінація програмного забезпечення, хмари і послуг буде горном інновацій і основою для диференціації, нових бізнес-моделей і реорганізації. Ті, хто не візьме цю стратегію на озброєння, піддають своє поточне конкурентну перевагу великому

ризик.

Виробникам електроніки доводиться докладати всі зусилля, щоб відповідати сьгоднішнім вимогам ринку (швидка розробка нових виробів, висока якість, випуск унікальної персоналізованої продукції, можливість підключення до інтернету та ін.). При цьому вони зіштовхуються з такими труднощами:

- сучасні технології – наприклад, 3D-друк, автоматизація на основі знань і цифрові помічники, аналіз великих даних і робототехнічні системи – сприяють появі інновацій і прискорюють процеси виробництва. Нові технології дають масу переваг, але в той же час підвищують складність виробів і процесів їх виготовлення;

- мінімальні терміни виходу нових виробів на ринок ускладнюють попередню перевірку працездатності технологічних процесів, а зростання обсягів випуску не залишає місця для помилок;

- негнучкість існуючих виробничих систем, яка не дозволяє перейти до повномасштабного індивідуального виробництва.

Істотне підвищення рівня автоматизації виробничих процесів, пов'язане з появою систем з ЧПУ, комп'ютеризованих виробництв і систем автоматизованого проектування, поставило завдання створення підприємств з повністю автоматизованим виробничим циклом.

Основою таких підприємств є комп'ютерно-інтегрована виробнича система (КІВС). Призначення таких систем полягає в реалізації автоматизованого циклу створення нового виробу від передпроектних наукових досліджень до випуску серійного зразка, при цьому забезпечується проведення робіт на всіх стадіях – від дослідження до виробництва – на основі використання загальної інформаційної бази, а також безматеріального перенесення

інформації між складовими системам цього циклу за допомогою локальних обчислювальних мереж (ЛОМ).

У КІВС всі операції з інформаційними потоками по всіх етапах виробничої діяльності підприємства (ВДП) автоматизовані на основі комп'ютерних технологій. При цьому матеріальні потоки можуть бути повністю або частково автоматизовані.

КІВС складається з:

- виробничо-технологічного комплексу (ВТК);
- автоматизованих систем наукових досліджень (АСНД);
- системи автоматизованого проектування (САПР);
- автоматизованих систем підготовки виробництва (АС-ПВ);
- системи оперативного управління (СОУ);
- автоматизованої системи управління виробництвом (АСУВ).

Оперативне управління ВДП здійснює система оперативного управління, функціональними завданнями якої є: оперативне планування, диспетчерське управління, управління основним і допоміжним обладнанням. ВТК разом з СОУ утворюють автоматизовану виробничу систему (АВС).

Сукупність усіх систем підготовки і управління та утворює інтегровану систему автоматизації виробничої діяльності підприємства.

На сучасному рівні автоматизації така система обов'язково включає елементи інтелектуалізації та визначається як інтелектуальна інтегрована система (ІІС) управління ВДП.

Залежно від рівня автоматизації АВС можуть бути сукупністю верстатів з ручним керуванням або з ЧПУ, сукупністю гнучких виробничих модулів (ГВМ), осередків, автоматичних ліній або гнучкою автоматизованою виробничою системою (ГАВС). ГАВС – переналагоджувана автоматизована виробнича система, в якій реалізована комплексна автоматизація як інформаційних, так і матеріальних потоків на рівні участі лінії, осередків.

Сучасне підприємство повинно забезпечити реалізацію всього виробничого циклу виробу. При цьому портфель замовлень може змінюватися в короткі терміни, так само як і склад організацій, що беруть участь в його виконанні. Актуальність проблеми створення ІСА зводиться до більшої ефективності їх в порівнянні з використанням окремих систем автоматизації – САПР і АСУТП.

1.4 Базові принципи проектування інтелектуальних інтегрованих систем

Теоретичною основою розробки інтелектуальних інтегрованих систем (ІС) служить концепція нових інформаційних технологій інжинірингу (НІТІ), що забезпечують уніфікацію уявлення моделей виробничої діяльності підприємства (ВДП) на всіх етапах життєвого циклу виробу (продукту).

Методологія підтримується програмно в контексті прискореного створення інтелектуальних інтегрованих систем, орієнтованих на конкретне підприємство і базуються на системі взаємопов'язаних програмно-функціональних модулів (ПФМ).

Основні принципи розвитку нових інформаційних технологій інжинірингу такі:

- комплексна автоматизація і комп'ютерна інтеграція,
- інтелектуалізація,
- індивідуалізація,
- спеціалізація.

Комплексна автоматизація передбачає автоматизацію всіх етапів виробничого циклу виробу (ВЦВ) по всіх виробах, що випускаються підприємством.

Пріоритетне значення має ефективна організація інформаційних потоків, що дозволяють при менших фінансових витратах скоротити час виконання замовлень і забезпечити надійність їх виконання.

Інтеграція передбачає єдність середовищ (методичної, організаційної, інформаційної, програмної, технічної), що охоплюють всі системи автоматизації та етапи виробничої діяльності підприємства.

Інтелектуалізація означає:

- розробку і використання методів і моделей штучного інтелекту (ШІ) при вирішенні всіх функціональних завдань на всіх етапах життєвого циклу виробу;
- проектування не тільки об'єктів, але і процесів розробки, зокрема параметризованих процедур створення об'єктів (процедурних моделей);
- уніфікацію створення та подання моделей виробничої діяльності підприємства з широким залученням процедур обробки знань;
- використання баз знань і інтелектуальних вирішувачів при проектуванні і управлінні виробництвом;

– організацію безперервного накопичення знань, які використовуються у виробничій діяльності підприємства (підтримка процесів навчання і самонавчання);

– розподіл на кожному робочому місці знань між людиною і машиною для вирішення певних виробничих завдань.

Розробка інтелектуальних інформаційних систем або систем, заснованих на знаннях є одним з головних напрямків штучного інтелекту.

Основною метою побудови таких систем є виявлення, дослідження і застосування знань висококваліфікованих експертів для вирішення складних завдань, що виникають на практиці.

При побудові систем, заснованих на знаннях (СЗЗ), використовуються знання, накопичені експертами у вигляді конкретних правил вирішення тих чи інших завдань. Цей напрямок має на меті імітацію здатності людини до аналізу неструктурованих і слабкоструктурованих проблем.

Слабкоструктурована проблема [ill-structured problem] – якісна, яка в не повному обсязі піддається детальному кількісному аналізу.

У даній області досліджень здійснюється розробка моделей подання, вилучення і структурування знань, а також вивчаються проблеми створення баз знань (БЗ), що утворюють ядро систем, заснованих на знаннях. Окремим випадком систем, заснованих на знаннях, є експертні системи (ЕС).

Існують різні погляди на визначення числа етапів проектування інтелектуальних систем. Це залежить від багатьох факторів, зокрема від характеру функцій майбутньої інтелектуальної системи, галузі використання, наявності розвинених інструментальних засобів і т. д.

Процес побудови систем штучного інтелекту можна розділити на п'ять етапів (рис. 1.4):

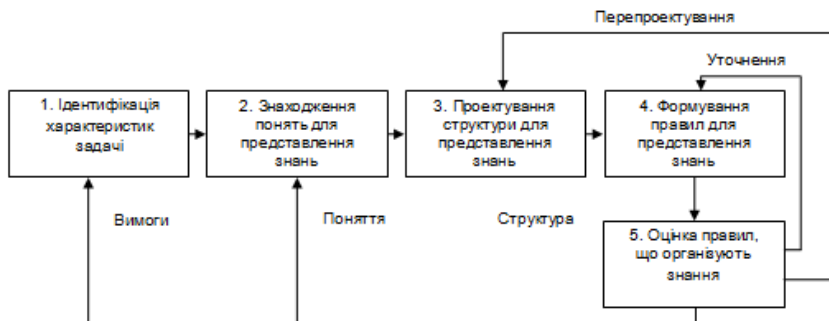


Рис. 1.4. Етапи проектування інтелектуальних систем

1. Ідентифікація визначення завдань і ідентифікація їх характеристик. Розробляється технічне завдання на проектувану систему, обмежується коло користувачів системи.

2. Виділення основних концепцій предметної області, які відображають знання кола експертів. Інженер знань визначає формальні засоби представлення знань і процедури отримання рішень. Виявляються і формулюються поняття, що визначають вибір характерної схеми представлення знань експерта про предметну область. Основним джерелом знань про проблемну область є людина-експерт, книги, технологічні описи, інструкції, документи, методи «мозкового штурму», методи автоматизованого заповнення БЗ.

Іншим важливим джерелом знань є Інтернет (традиційний пошук необхідної інформації і знань, а також інтелектуальні агенти (програми роботи)).

3. Вибір формалізму представлення знань і визначення

механізму виведення рішень. Розроблена структура для представлення знань є основою для реалізації наступного етапу – безпосередньої побудови бази знань системи.

4. Вибір або розробка мови представлення знань. Після того як правила сформульовані і представлені обраною мовою уявлення, вони заносяться інженером знань в базу знань.

5. Тестування системи шляхом вирішення конкретних перевіірочних завдань.

Етапи створення інтелектуальних систем не є чітко окресленими і детально регламентованими. Між деякими з них важко провести часову і змістовну межу. Вони в якійсь мірі приблизно описують процес проектування інтелектуальних систем.

Залежно від характеру виконуваних функцій і області дій експерти виконують кілька характерних завдань, які є типовими: інтерпретація, планування, управління, проектування, прогнозування, диспетчеризація та моніторинг, діагностика. Головне, експерт здатний оновлювати свої знання (тобто навчатися), пояснювати дії, обґрунтовувати рішення, прогнозувати розвиток ситуацій, активно взаємодіяти із зовнішнім середовищем і сприймати інформацію різного характеру, отримувати рішення на основі наявних знань, зберігати в пам'яті необхідну інформацію і фактографічні дані. Аналіз завдань послужить орієнтиром при розгляді архітектури ІС, заснованих на знаннях.

Таким чином, щоб створити систему, яка працює зі знаннями і здатну в якійсь мірі замінити експерта або допомогти йому в прийнятті рішень при управлінні виробництвом, необхідно прагнути закласти в архітектуру системи можливості по реалізації названих функцій. Узагальнена структура інтелектуальної системи представлена на рис. 1.5.

Інтегрована інформаційна середовище являє собою сховище даних, що містить всі відомості, які створюються і викори-

стовуються всіма підрозділами та службами підприємств, які є учасниками життєвого циклу виробу в процесі їх виробничої діяльності.

Виробнича база даних являє собою інтегровану базу, єдину для САПР і АСУТП. Вона містить всю необхідну інформацію про виріб.

Перш ніж говорити про формування баз даних і баз знань інтелектуальних інтегрованих систем, необхідно визначити що таке інформація, її характеристики.

Інформація – це відомості про об'єкти і явища навколишнього середовища, їх параметри, властивості і стан, які зменшують наявну про них ступінь невизначеності, неповноти знань.

Важливою характеристикою інформації є її адекватність – певний рівень відповідності створюваного за допомогою отриманої інформації образу реального об'єкту, процесу, явища і т.п.

Можливість і ефективність використання інформації обумовлюється наступними показниками якості:

- репрезентативність пов'язана з правильністю відбору і формування відображення властивостей об'єкта;

- змістовність відображає семантичну ємність (коефіцієнт змістовності);

- достатність означає, що інформація містить мінімальний, але достатній для прийняття правильного рішення набір показників;

- доступність забезпечується виконанням відповідних процедур отримання і перетворення;

- актуальність визначається ступенем збереження цінності інформації для управління в момент її використання;
- своєчасність означає надходження інформації не пізніше заздалегідь призначеного моменту часу;
- точність визначається ступенем близькості одержуваної інформації до реального стану об'єкта, процесу або явища;
- достовірність визначається властивостями інформації відображати реально існуючі об'єкти з заданою точністю;
- стійкість інформації відображає її здатність реагувати на зміну вихідних даних без порушення необхідної точності.

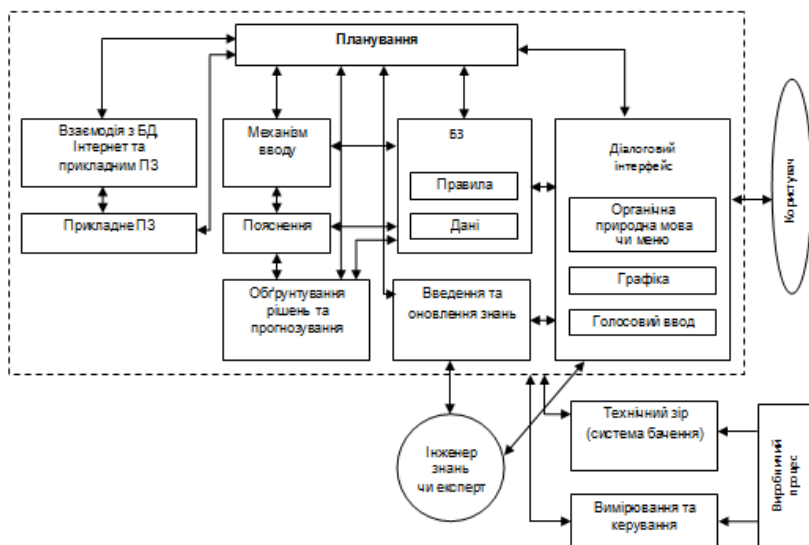


Рис. 1.5. Узагальнена структура інтелектуальної системи

Перераховані параметри визначаються на методичному рівні розробки інформаційних систем, однак, на їх величину істотно впливає і характер функціонування системи. Класифікація інформації представлена на рис. 1.6.

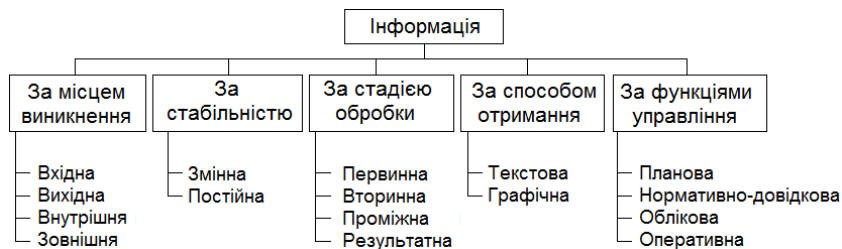


Рис. 1.6. Класифікація інформації

Вхідні, вихідна – відповідно інформація, що входить в об'єкт і виходить від об'єкта; Внутрішня інформація виникає всередині об'єкта, а зовнішня – за межами; Змінна інформація відображає фактичні кількісні та якісні характеристики процесу; Постійна інформація – незмінна і багаторазово використовувана протягом тривалого часу інформація: довідкова, нормативна, планова; Первинна інформація виникає в процесі діяльності об'єкта і реєструється на початковій стадії; Вторинна інформація виходить в результаті обробки первинної; Проміжна інформація використовується в якості вихідних даних для подальших розрахунків; Результатна виходить в результаті обробки первинної і проміжної інформації і використовується для вироблення управляючих впливів; Планова – про параметри об'єкта на майбутнє; Нормативно-довідкова – містить довідкові дані; Облікова – характеризує діяльність за минулий період; Оперативна – характеризує процеси в поточний період

Процеси, що забезпечують роботу інформаційної системи, умовно можна представити у вигляді схеми, що складається

з блоків: блок введення інформації призначений для введення інформації з зовнішніх чи внутрішніх джерел. Далі інформація, що надійшла передається в блок обробки інформації для обробки та подання її в зручному вигляді. Виведення інформації здійснюється через блок виведення для подання споживачам або передачі в іншу систему. Блок зворотного зв'язку призначений для корекції вхідної інформації операторами.

Інформаційна система визначається наступними властивостями:

- будь-яка інформаційна система може бути піддана аналізу, побудована і керована на основі загальних принципів побудови систем;

- інформаційна система є динамічною і розвивається;

- вихідною продукцією інформаційної системи є інформація, на основі якої приймаються рішення;

- сучасна інформаційна система – це людино-комп'ютерна система обробки інформації.

Дані – це сукупність відомостей, зафіксованих на певному носії в формі, придатній для постійного зберігання, передачі і обробки. Перетворення і обробка даних дозволяє отримати інформацію.

Знання – це зафіксована і перевірена практикою оброблена інформація, яка використовувалася і може багаторазово використовуватися для прийняття рішень.

Знання – це вид інформації, яка зберігається в базі знань і відображає знання фахівця в конкретній предметній області. Знання – це інтелектуальний капітал.

Формальні знання можуть бути у вигляді документів

(стандартів, нормативів), що регламентують прийняття рішень або підручників, інструкцій з описом вирішення завдань.

Неформальні знання – це знання і досвід фахівців в певній предметній області.

Прийняття рішень здійснюються на основі отриманої інформації і наявних знань.

Прийняття рішень – це вибір найкращого в деякому сенсі варіанти вирішення з безлічі допустимих на підставі наявної інформації.

Взаємозв'язок даних, інформації та знань в процесі прийняття рішень представлена на рис. 1.7.

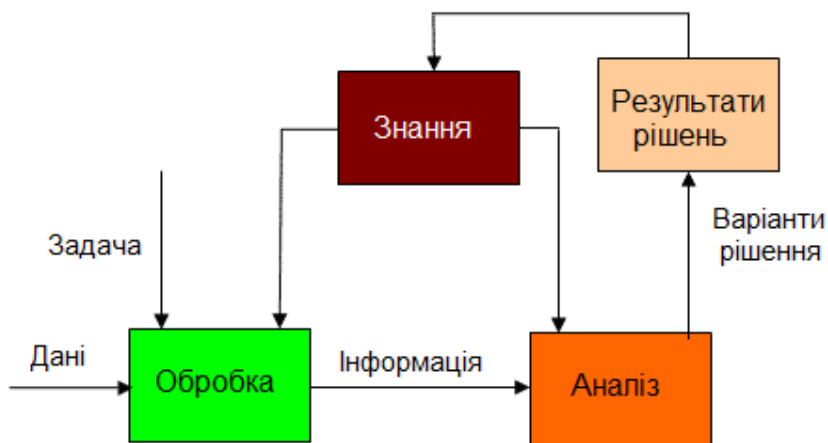


Рис. 1.7. Взаємозв'язок даних, інформації та знань в процесі прийняття рішень

Для вирішення поставленого завдання фіксовані дані об-

робляються на підставі наявних знань, далі отримана інформація аналізується за допомогою наявних знань. На підставі аналізу, пропонуються всі допустимі рішення, а в результаті вибору приймається одне найкраще в деякому сенсі рішення. Результати рішення поповнюють знання.

1.5 Цифровізація етапів процесу підготовки виробництва

Залежно від сфери використання інформація може бути різною: наукової, технічної, керуючої, економічної і т.д.

У таких галузях, як автомобілебудування або виробництво медичної техніки, а також при поставках комплектуючих замовникам, які вимагають найвищого рівня якості та стандартизації, необхідно документально підтверджувати відповідність продукції нормативам.

Більшість виробників електроніки вже провели цифровізацію різних етапів процесу підготовки виробництва. При цьому в різних поєднаннях використовуються такі підходи:

- інтегрована розробка процесів складання і випробувань друкованих плат;
- управління запуском виробництва, віртуальні випробування з метою контролю конструкторсько-технологічних проектних рішень;
- оптимізація виробництва із застосуванням інтегрованих засобів розробки компоновок обладнання та чисельного моделювання;
- керовані моделями процеси виготовлення деталей і

прес-форм;

- співпраця з постачальниками при передачі виробництва друкованих плат стороннім виробникам;

- впровадження систем управління виробництвом (MES) при виготовленні друкованих плат.

Цифровізація підвищує якість технологічного проектування та прискорює оцінку різних варіантів технологічних процесів. В результаті зростає ефективність всіх виробничих операцій.

За результатами проведеного в 2017 році опитування було встановлено, що понад 80% опитаних вищих керівників реалізують ті чи інші ініціативи по цифровізації, але при цьому 44% відзначили, що інвестиції в цифрові технології не призводять до зростання прибутку. «Успіх цифровізації залежить не стільки від найсучасніших технологій, скільки від наявності відповідних виробничих систем».

Для розкриття повного потенціалу цифровізації потрібна нова модель функціонування виробництва. Наприклад, компанією Siemens запропонована нова модель, яка називається «цифровим підприємством», структура якої представлена на рис. 1.8. Це інтегрована платформа, яка об'єднує процеси проектування, виготовлення та поставок сучасних розумних виробів. В основі цифрового підприємства лежать дві концепції: цифрова нитка та цифровий двійник.



Рис. 1.8. Модель функціонування виробництва, запропонована компанією Siemens

Цифрова нитка

Цифрова нитка включає процес передачі інформації, що об'єднує всіх учасників процесів проектування, виготовлення та технічної підтримки продукції. Платформа для підтримки спільної роботи – наприклад, Teamcenter® – дозволяє реалізувати процес передачі даних в цифровому вигляді через всі інженерні дисципліни, сфери застосування, інструменти і системи.

Цифровий двійник

Цифровий двійник являє собою дуже точну віртуальну модель або виробу, або технологічного процесу. Ці моделі застосовуються для чисельного моделювання реальних явищ ще до початку виготовлення виробу або проектування технологічних операцій. Мета – максимальна оптимізація за допомогою комп'ютерних систем, коли з мінімальними витратами розглядається безліч сценаріїв виду «що буде, якщо...».

Інформація, що надходить з цифрового середовища, постійно оновлює цифрові двійники, гарантуючи їх максимальну точність. Наприклад, відомості про експлуатацію, що надходять

від замовника, передаються на етап конструювання та випробування майбутніх виробів. Аналогічно, збір інформації про виконання реальних технологічних процесів підвищує якість чисельного моделювання технологічних операцій. Це допомагає створювати більш ефективні технологічні процеси. Цифрові двійники – відмінний спосіб фіксації і поширення оптимальних підходів до виробництва.

Стратегія розумного виробництва в електронній промисловості стала результатом входження компанії Mentor Graphics до складу Siemens і подальшої роботи по об'єднанню рішень обох компаній в єдину повнофункціональну платформу, яка приносить реальну користь замовникам.

Уже багато років рішення Siemens PLM Software забезпечують наскрізну автоматизацію в машинобудуванні. Компанія Mentor розробила рішення для виробництва друкованих плат на всіх етапах – від розробки до виготовлення. У створенні механічних та електронних вузлів є і багато спільного, і чимало відмінностей. Однак у міру зростання складності виробів в цілому і збільшення частки електроніки була потрібна все більш тісна інтеграція цих двох процесів. Приклад концепція розумного виробництва електроніки компанії Mentor, що пропонує рішення по підтримці всіх етапів розробки і виготовлення механічних та електронних вузлів (рис. 1.9).



Рис. 1.9. Структура розумного виробництва компанії Mentor

Функціональною основою розумного виробництва є:

– контроль технологічності друкованих плат і механічних вузлів:

Аналіз технологічності конструкцій друкованих плат передбачає 950 перевірок можливості виготовлення, складання, проведення випробувань та забезпечення надійності. Цифровий двійник виробу допомагає виявляти можливі проблеми. Аналіз розмірних відхилень розраховує і прогнозує якість на етапі складання на основі геометричних і розмірних допусків деталей та вузлів. При цьому визначається найважливіша конструкторсько-технологічна інформація.

– віртуальна розробка, моделювання та оптимізація технологічних процесів:

При проектуванні процесів виготовлення друкованих плат створюється цифровий двійник технологічного процесу на основі підходу «проектуюмо де завгодно, виготовляємо всюди». При цьому розробляється технологія випуску нового виробу, виявляються наслідки конструкторських змін для виробничих ліній і готується актуалізована технологічна документація.

Контроль технологічних процесів передбачає візуаліза-

цію і аналіз всіх операцій складання (ручних, автоматичних або спільних) з метою виявлення можливих відхилень і впровадження передових технологій. Чисельне моделювання продуктивності і завантаження устаткування спрощує планування капіталовкладень і прогнозування поточних витрат.

Оптимізація виробництва призводить до підвищення завантаження устаткування і зниження собівартості виробів.

– управління матеріалами та технологічними операціями

Засоби управління матеріалами забезпечують поставки по системі «точно в строк», що усуває надмірні запаси незавершеної продукції та підвищує оборотність запасів. Система управління виробничими процесами – це повнофункціональним рішенням для технологічної підготовки та виготовлення електронних і механічних вузлів.

Рішення управляють даними, які надходять від усіх ресурсів (інструменти, оператори, верстати), що забезпечує повну простежуваність. Вони також чудово інтегруються з системами управління ресурсами підприємства (ERP) та системами управління життєвим циклом виробу (PLM).

– збір технологічної інформації приносить реальну користь

Рішення для Інтернету речей збирають всі дані, створювані в ході технологічного процесу (в тому числі витрати матеріалу, показники якості і відомості про хід виконання). Потім створюється цифровий двійник виробництва, а оброблена технологічна інформація в реальному часі надається всім службам підприємства. Інструменти бізнес-аналітики підтримують інтелектуальне прийняття рішень на основі проведеного в реальному часі аналізу інформації, аналізу основних причин відмов, а також прогнозування майбутніх показників якості і собівартості.

Розумне виробництво електроніки дозволяє (рис. 1.10) відмовитися від дослідних зразків, усунути сховища інформації. В результаті створюється безперервний інтегрований процес «конструювання – технологічна підготовка – виготовлення виробів».



Рис. 1.10. Функціональна основа розумного виробництва в електронній промисловості

На кожному етапі підготовки виробництва легко помітити різницю між таким підходом, коли точні і перевірені моделі виробів і процесів створюються та поширюються по всьому підприємству, та поточної клаптикової цифровізації. Серед основних відмінностей:

- конструкції стають більш надійними і технологічними;
- поліпшується спільна робота конструкторських, технологічних і виробничих підрозділів;
- скорочується надмірність даних;
- зменшується кількість помилок в технологічних процесах;
- знижуються обсяги ручного введення даних, що загро-

жує внесенням помилок;

- оптимізуються запаси, а матеріали витрачаються по системі «точно вчасно»;

- впроваджуються передові технологічні процеси;

- забезпечується точність і актуальність технологічної документації;

- проводиться збір даних і контроль ключових показників;

- швидко виявляються коріння причин виникнення проблем;

- здійснюється перехід до більш різноманітної програмі випуску без зниження ефективності виробництва.

Завдяки цифровізації всього процесу розробки виробу – від конструювання до виробництва – та створення цифрової нитки, що об'єднує всі його етапи, стратегія розумного виробництва електроніки дозволяє заздалегідь перевірити можливість виготовлення виробу, а також гарантує актуальність і синхронізацію технологічної документації, оптимізацію виробництва та виготовлення продукції в точній відповідності до задуму.

Розвиток автоматизації та попит на ринку праці зумовив збільшення попиту на мікроелектроніку на різноманітні прилади з цієї сфери. Отже, можливість виробничої бази на теренах України та збільшення обсягів виробництва для існуючих виробництв принесе конкурентні переваги країні.

За останні три десятиліття еволюція інформаційних технологій (ІТ) перетворила світ, у якому ми живемо, породжуючи нові бізнес-моделі та впливаючи на галузі таким чином, що глобальні споживачі змінюють свій спосіб споживання.

За спостереженнями, компанії, які не інвестують кошти в підвищення ефективності, по суті, становлять загрозу для їх виживання. Без підвищення ефективності компанія не може гарантувати рівень якості, точності та попиту, що необхідні для поточного ринку. У зв'язку з цим структура Індустрія 4.0 диктує нові напрямки створення ефективного та розумного виробництва. Поточна галузева установка використовує таку структуру для встановлення розширеної автоматизації:

–рівень 1 (введення / виведення): показує входи та виходи пристроїв, встановлених на заводській підлозі;

–рівень 2 (програмований логічний контролер – PLC): показує значення контролери, що встановлюють логіку управління машинами та пристроями;

–рівень 3 (наглядний): показує системи, які відстежують та контролюють інформацію, притаманну машинам та пристроям підприємства;

–рівень 4 відноситься до системи управління потоком інформації в процесі виробництва і пов'язаний з виробничою системою; рівень 5 (ERP): стосується системи управління виробничим ланцюгом і включає, зокрема, продаж, закупівлю, людські ресурси, якість, інженерію, виробництво та логістику. Рисунок 1.11 ілюструє технологію автоматизації сучасних установок.

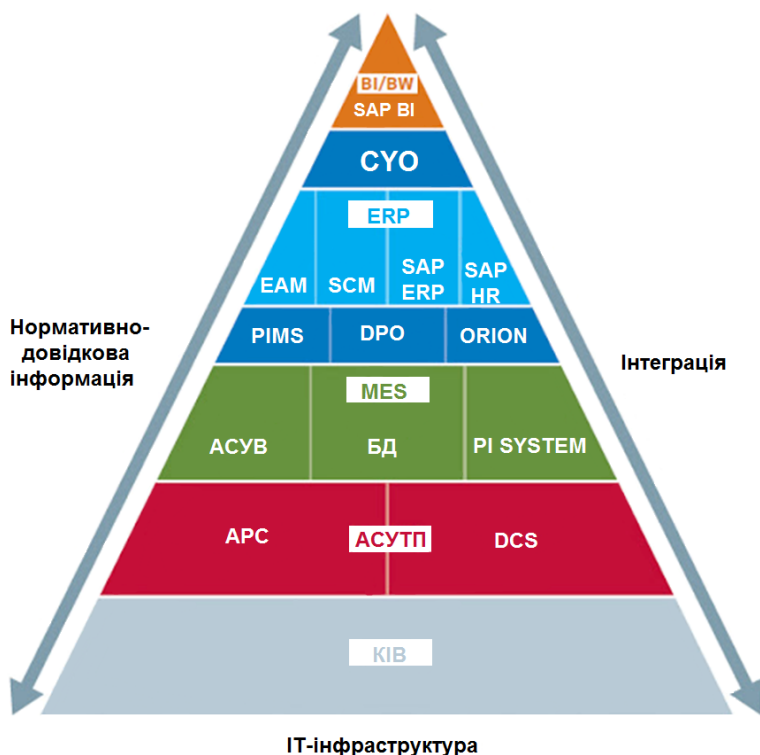


Рис. 1.11. Технологія автоматизації сучасних установок

Вплив Індустрія 4.0 виходить за рамки простої цифровізації, оскільки приймає набагато складнішу форму інновацій, засновану на поєднанні декількох технологій. Промисловість 4.0 сильно фокусується на постійному вдосконаленні з точки зору ефективності, безпеки, експлуатаційної продуктивності і, особливо, рентабельності інвестицій. Для цієї концепції доступні різні технології та тенденції. Основними напрямлення інтелектуальної галузі є:

- інтернет речей IoT;
- кіберфізичні системи (КФС);
- великі дані

Інтернет речей. Термін IoT відноситься до фізичних та віртуальних об'єктів, підключених до Інтернету. Він був запропонований в Массачусетському технологічному інституті у 1999 році групою вчених, яка працювала в області ідентифікації за допомогою радіочастоти. Сьогодні цей підхід набув широкого використання в мобільних пристроях, бездротовому зв'язку та хмарних технологіях. IoT також визначається як промисловий Інтернет, оскільки є новою технологією, в якій глобальні мережі машин і пристроїв здатні взаємодіяти з іншими мережами. Таким чином, зв'язок між інтелектуальною мобільністю, логістикою, будівлями, пристроями та розумними сітками може скласти форму розумної фабрики.

На сьогоднішній день Інтернет речей підходить до етапу, на якому різномірним мереж і безлічі датчиків належить об'єднатися для взаємодії під керуванням єдиних стандартів. Ця мета вимагає від комерційних організацій, державних установ, стандартотворюючих органів і навчальних закладів загальних зусиль, спрямованих на досягнення єдиної мети. Щоб Інтернет речей знайшов популярність у звичайних користувачів, оператори та інші учасники ринку повинні розробити додатки, які значно підвищують якість життя людей. Інтернет речей – це новий етап еволюційного розвитку інтернету.

IoT використовуються для моніторингу та контролю виробничого середовища в режимі реального часу, для перевірки стану обладнання та, якщо необхідно, планування або дозвіл самого обладнання організовувати його обслуговування. Розумні машини регулярно контролюються та приймають рішення щодо безпеки (тобто зупиняються, аналізують дорожні умови та само-

коригуватися) або навіть звертаються по допомогу. Компанії можуть використовувати Інтернет речей для створення та надання великої кількості нових послуг, які виходять за рамки бронювання рейсів або придбання книг. Послуги, які доступні на окремому веб-сайті (Web), можуть бути об'єднані та пов'язані між собою, що призведе до послуг з доданою вартістю. Цей новий підхід до Інтернет послуг – є природна еволюція IoT.

Кіберфізичні системи – це системи, що інтегрують обчислювальні, комунікаційні мережі, вбудовані комп'ютери та фізичні процеси, які взаємодіють та впливають один на одного. Це результат технологічної еволюції комп'ютерів, датчиків та мереж зв'язку, що, розвиваючись у бік більшої спритності, оброблювальної здатності та все більш доступних цін, дозволило ефективно їх поєднувати в режимі реального часу. Ядро кіберфізичної системи – це вбудовані системи. Вбудовані системи – це системи обробки інформації, які вбудовані в інші основні продукти чи обладнання.

Великі дані (Big Data)

Термін Big Data позначає великі обсяги даних, що виникають внаслідок існування мільйонів систем, підключених до мережі (IoT), які виробляють дані в режимі реального часу. Ця концепція викликає деякі питання, які великі технологічні компанії намагаються вирішити: де дані можна надійно зберігати та робити доступними з будь-якого місця? Як можна обробляти ці дані, щоб вони могли мати значення та дозволяти підприємствам вдосконалювати операції за допомогою швидших та розумніших рішень?

Оскільки великий обсяг даних генерується безперервно, необхідні потужні аналітичні інструменти, щоб надати їм значення. Дані – це цифри, слова чи інші сигнали і представляють дискретні факти про об'єктивну реальність. Вони можуть бути перевірені та підтверджені, але не мають значення, якщо їх не

інтерпретувати та контекстуалізувати. Інформація має тенденцію до розвитку, що призводить до створення теорій та передбачень майбутнього.

Індустрія 4.0 все більше проникає у всі сфери промислових виробництв, і тим більше стосується виробництва машин та транспорту. «Розумні машини» – сьогодні це не просто автоматизовані, а значно більше інтелектуальні в багатьох відношеннях.

Асоціацією «підприємств промислової автоматизації України» (АППАУ) запропоновано 10 ключових технологій 4.0 для машинобудівників:

1. Предиктивна аналітика (обслуговування), що базується на обробці даних. Предиктивне обслуговування – новий вид обслуговування машин та обладнання, що замінює традиційні методи як планово-попереджувальні роботи. Зупинка виробництв (тобто, певних машин чи ліній) може коштувати підприємству від декількох тисяч доларів на день (FMCG) й до 2,5 млн в день (автомобільна галузь). Сьогодні розумні машини самі можуть видавати дані щодо того, чому та коли певна деталь чи вузол можуть вийти з ладу, таким чином, упереджувати несправності. Застосування предиктивної аналітики з новими методами та моделями обробки даних дозволяє економити до 40% на обслуговування й до 50% знижувати незаплановані простой в експлуатації.

2. Управління життєвим циклом продукту (PLM). Управління життєвим циклом продукту (Product Lifecycle Management, PLM) давно відома категорія програмних продуктів. Й особливо це актуально для машинобудівників, коли мова йде про інновації та постійні зміни. Різноманітні САПР давно використовуються в конструкторами та проектувальниками. Що нового принесла Індустрія 4.0 – це подальшу дигіталізацію всіх процесів й на всьому жит-

тєвому циклі. Головні тренди в цій області стосуються перенесення PLM в хмарне середовище, появи Product-Data-as-a-Service (PDAAS), що перетворює дані про продукт в цінні активи, колабораційних платформ, мікро-сервісів, а також інтеграції з блокчейн.

3. Додана та віртуальна реальність

Для освоєння нових машин, їх пуску в експлуатацію, а потім в обслуговуванні оператори та експлуатаційний персонал раніше використовували інструкції в pdf чи друкованому форматі. Але коли йдеться про швидкий пошук необхідної інформації, як правило, такі речі не працюють – це надто довго! Інша справа, коли зображення необхідного вузла чи деталі подається в візуальному вигляді в 3D та ще й зі всією супутньою інформацією в реальному часі про стан механізму. Саме так працюють технології віртуальної та доданої реальності (VR & AR). Застосування AR значно знижує витрати на навчання персоналу та обслуговування обладнання, а також зменшує час на незаплановані простой. Ось як це роблять вже в Німеччині.

4. Вертикальна та горизонтальна інтеграція машин за допомогою OPC UA.

Єдиний інформаційний простір, в якому вільно спілкуються люди, машини, процеси та сервіси досягається за рахунок інтеграції: вертикальної – від датчиків до системи управління підприємством (ERP), й горизонтальної – від входу комплектуючих й до виходу готової продукції.

5. Системи управління виробництвом (MES).

Системи управління виробництвом (MES (Manufacturing Execution System)) – програмне забезпечення для керування виробничими процесами в реальному часі. Від автономних, локальних рішень, через інтегровані й модульні, – до систем, що базуються на платформах й дозволяють легко інтег-

рувати сторонні рішення та додатки (Manufacturing Applications, звідки термін mApps).

6. Розумні пристрої та мобільні додатки.

Перехід інтелекту на будь-які пристрої – характеристика Інтернету речей (IoT) та 4.0. Здешевлення датчиків та багатьох інших польових пристроїв дозволяє значно наростити інтелект фізичних об'єктів, куди вони інтегруються. Типовими прикладами використання є кращий моніторинг обладнання, включно з предиктивною аналітикою, трекинг (відстеження) вагонів чи машин, мобільного персоналу, оптимізація та краще управління виробництвом і т.п.

7. Хмарні платформи та сервіси

Дигіталізація неможлива без IT-інфраструктури. Основними елементами є мережа та центри обробки даних (ЦОД). Для більшості підприємств утримання власного, сучасного ЦОД є дуже дорогим сервесом, тому більшість виробників користується хмарними сервісами та платформами. Інтеграцію в них сьогодні пропонують такі виробники, як CAE/CAD/ PLC/SCADA. Є можливість користування готовими платформами, такими як Mindsphere (Siemens), Predix (GE), Ability (ABB), Ecostruxure (Schneider Electric) та ін.

8. Кібербезпека

Кібербезпека – це деякий стан системи, за якого нейтралізуються загрози доступності, цілісності або конфіденційності даних, що циркулюють в інформаційних системах.

Під кіберпростором розуміється середовище, яке виникає в результаті функціонування на основі єдиних принципів і за загальними правилами інформаційних, телекомунікаційних та інформаційно-телекомунікаційних систем.

Основним способом попередження кіберзагроз є впровадження послідовних рівнів заходів контролю за доступом до сайту, системи та файлів. Створення механізму підзвітності дає змогу визначати, хто працює в системі та що робить у певний момент часу, і протоколювати події, що відбувалися в комп'ютерній інформаційній системі підприємства.

9. Симуляція, віртуалізація та цифрові близнюки

Машинобудівники все частіше використовують технології віртуалізації та симулювання в процесі розробок нових продуктів. Це дозволяє в рази знизити собівартість й прискорити темпи розробок. Тому цифрове симулювання – у всіх його різновидах, – стає обов'язковою частиною. Симулювання та дигіталізація захоплюють весь життєвий цикл – наприклад, від проектування механічного виробу, до програмування машини на якій він виробляється, й до впровадження у виробництво.

10. Нові бізнес-моделі

Бізнес-процес можна розглядати як відповідну кількість внутрішніх операцій (видів діяльності), що повторюються в часі, споживають певні ресурси та починаються з одного або більше входів, а на виході закінчуються створенням продукції/послуги, необхідної споживачу.

За визначенням А. Слівотскі, модель бізнесу – це те, як компанія вибирає споживача, формулює й розмежовує свої позиції, розподіляє ресурси, визначає, які завдання вона зможе виконати своїми силами, а для яких потрібно залучати сторонніх фахівців, як вона виходить на ринок, створює цінність для споживача й одержує від цього прибуток.

Чим ефективніше бізнес-модель, тим дохідніший бізнес компанії, а на ефективність бізнес-моделі впливають інноваційні продукти. Отже, ці процеси в ринковому середовищі взаємозалежні.

Успіх системи промислового виробництва вимірюється з точки зору продуктивності. Виробнича система складається з людини та машин. Загальна продуктивність залежить як від ефективності та результативності людини, так і від машини. У той час як машини стають все більш складними, вимоги до людини зміщуються з фізичного навантаження на інтелектуальне. Більш складні системи вимагають більшого навчання та більшої обробки інформації. Для створення ефективної виробничої системи важливо зрозуміти ефективність взаємодії машин і людини.

Індустрія 4.0 розглядається як четверта революція в промисловому виробництві, і це явище викликане зростанням використання інтелектуальних машин, смартфонів, інтернет-додатків, інтелектуальних мереж та інтелектуальних матеріалів. Як показано на рис. 1.12, Індустрія 4.0 управляється інтелектуальними технологіями, такими як інтелектуальні матеріали, виробництво екологічно чистої енергії, мережеві хмарні обчислення і автоматизація інтелектуальних мереж, які призводять до зниження участі людей у виробничих системах і робочих просторах. Індустрія 4.0 пропонує серверні рішення для виробничих промислових систем, що призводить до ускладнення роботи установки та використання інтелектуального управління процесами. Системи управління технологічною установкою використовують програмні додатки, які підключені до вбудованих комп'ютерів. Програмне забезпечення робить процеси більш гнучкими та ефективними. Помилки та проблеми будуть виявлені раніше, ніж будь-коли. Експерти називають цей якісний стрибок в автоматизації промисловості, заснованої на ІТ, «Індустрією 4.0».

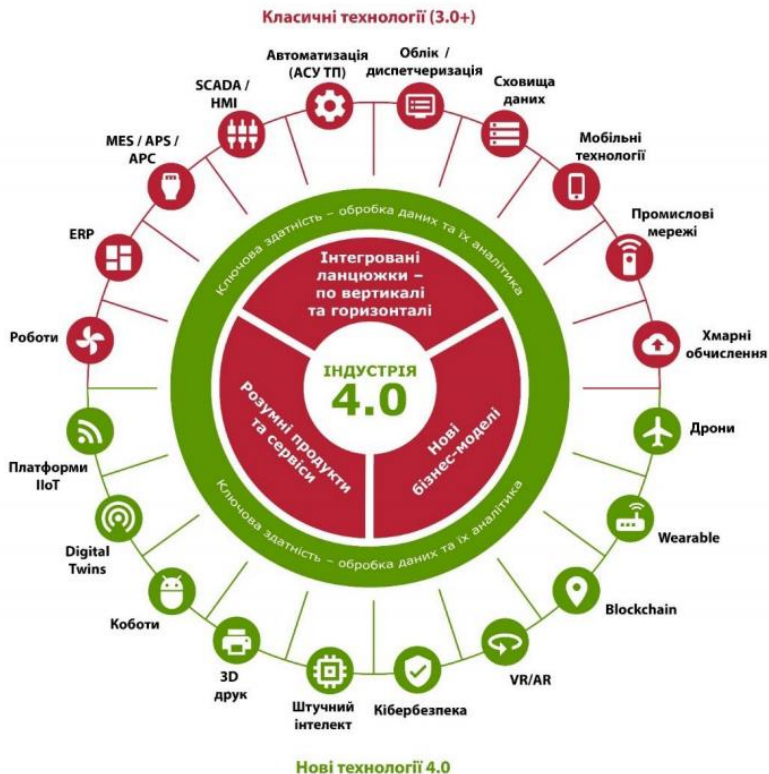


Рис. 1.12. Фактори впливу в Індустрії 4.0

Кіберфізична обробна промисловість розглядається як високоефективна у виробництві через низьке енергоспоживання на одиницю продукції. Використання екологічно чистої енергії, чистого середовища, мережових хмарних обчислень, використання інтелектуальних машин і допоміжних пристроїв є одними з основних технологічних еволюціонування галузі. Основні технологічні фактори, що лежать в основі Індустрії 4.0:

- виробництво зеленої енергії;
- мережеві хмарні обчислення;
- розумні машини та автоматизація інтелектуальних мереж;
- розумні матеріали, розумні продукти і допоміжні пристрої.

Альтернативні джерела енергії

Продуктивність галузі залежить від різних параметрів, енергія є одним з них. Поступові зміни відбулися в використанні енергії в промисловості. Першим серйозним проривом у виробництві енергії стало використання невідновлюваного джерела енергії з викопного палива, що було відходом від використання тільки м'язової сили людини і тварин. Наступна зміна розглядається як використання відновлюваної енергії, такої як сонячна енергія, геотермальна енергія, енергія вітру та ін. Вони все частіше використовуються в виробничих системах. Перевагами цього виду енергії є екологічність і стійкість виробничих систем.

Мережеві хмарні обчислення

Вбудовані комп'ютери управляють процесами, що пов'язані з машиною за допомогою контурів зворотного зв'язку, де фізичні процеси впливають на обчислення. Інформація передається в процесі виробництва на підприємстві, де машини взаємодіють з іншими машинами на основі прикладного програмного забезпечення з використанням зв'язку через Інтернет. Кожен об'єкт в мережі має мережеву адресу, і оскільки ці об'єкти не обов'язково повинні бути комп'ютерами, в таких мережах (IoT) було запропоновано використовувати термін «Інтернет речей». Інтернет речей має інформацію про кожну «річ», що зберігається централізовано, до якої можливо отримати доступ через Інтернет.

Хмарні обчислення – це послуга на основі підписки, де можна отримати простір зберігання та комп'ютерні ресурси. Хмарна мережа усуває потребу в більшій кількості локальних комп'ютерів у виробничій системі.

Інформація в системі заснована на вимірах від кожної машини в виробничій установці. Ця інформація зберігається в базі даних сервера. За допомогою інтелектуальних додатків для смартфонів ці дані є легко доступними. Кіберфізичні виробничі системи сильно залежать від хмарних обчислень, забезпечення безпеки та зберігання даних. Мережеві хмарні обчислення зберігання та захисту даних роблять кіберфізичну виробничу систему більш безпечною та ефективною.

На рис. 1.13 наведено комбінацію вбудованих систем і комп'ютерів у виробничій системі, яка підключається через Інтернет і інтелектуальні програми.

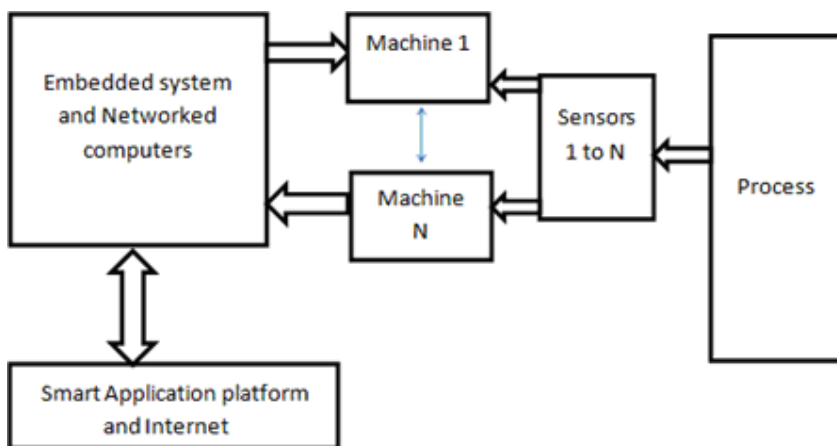


Рис. 1.13. Кіберфізична виробнича система

Вбудовані комп'ютери управляють машинами за допомогою декількох підключених датчиків.. Датчики визначають зміни параметрів процесу та відправляють дані в машину. Машина пов'язана з іншими машинами, що забезпечує управління зворотним зв'язком з виробничою системою. Дані надходять з машини у вбудовані комп'ютерні мережі. Далі доступ до даних представляється з сервера через Інтернет. На рис. 1.14 наведено «інтелектуальну фабрику», що налічує в своєму складі кіберфізичну виробничу систему, де в якості вхідних даних подаються інтелектуальні матеріали (smart materials), а на виході отримано інтелектуальний продукт. В ході цього процесу вся інформація про кіберфізичну виробничу систему захищена мережевою хмариною.

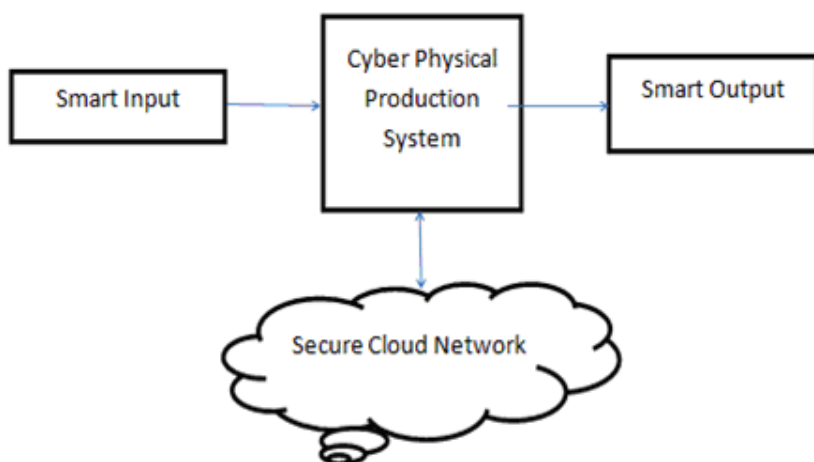


Рис. 1.14. Розумна фабрика (Smart Factory) в контексті Індустрії 4.0

1.6 Розумні машини (Smart Machines) і автоматизація розподільних систем (Smart Grid Automation)

Промисловість займається автоматизацією розподільних мереж та інтелектуальними машинами для забезпечення точності розробки. Автоматизація поширена на всі галузі промисловості, такі як хімічні заводи, цементні заводи, електростанції, текстильні заводи, нафтогазові заводи і т.д. Деякі додаткові функції автоматизації в промисловості включають вбудовані системи управління, програмований логічний контролер (ПЛК), диспетчерське управління та збір даних (SCADA). Для управління технологічною установкою використовують програмні додатки, які взаємодіють з вбудованими комп'ютерами. Програмне забезпечення забезпечує гнучкість і ефективність процесів, що відбуваються в системі. Технології автоматизації та обробки інформації роблять виробничі процеси більш ефективними.

З розвитком матеріалознавства та технології матеріалів багато електронних датчиків, виконавчих механізмів, перетворювачів, компонентів і систем управління можуть використовуватися для стимулювання інтелектуальних матеріалів до розробки інтелектуальних продуктів.

«Розумні» матеріали або **«інтелектуальні» матеріали** (англ. *smart materials*) – це клас різних за хімічним складом і агрегатним станом матеріалів, які об'єднує прояв однієї або декількох фізичних (оптичних, магнітних, електричних, механічних) або фізико-хімічних характеристик, значно (оборотно або необоротно) змінюються під впливом зовнішніх впливів: тиску, температури, вологості, рН середовища, електричного або магнітного поля та ін. Розумні матеріали часто використовуються при створенні розумного одягу.

Розумні матеріали можуть бути легко пов'язані з платформами програмних додатків і підключені до Інтернету речей

(IoT) для отримання бажаних продуктів і послуг. Інформація на центральному сервері може бути підключена до декількох мережевих вбудованих комп'ютерів і смартфонів промислового виробництва. При використанні інтелектуальних мобільних телефонів для обробки даних SIM-карта виконує роль сховища обліку даних для аутентифікації (таких як паролі, облікові записи карт, ідентифікаційна інформація). Технологія NFC (Near Field Communication) – це технологія бездротового високочастотного зв'язку малого радіусу дії (до 10 см), що дозволяє здійснювати безконтактний обмін даними між пристроями, розташованими на невеликих відстанях: наприклад, між зчитуючим терміналом і мобільним телефоном або пластиковою смарт-картою, забезпечує безконтактну передачу та прийом даних з хост-пристрою (мобільного телефону).

Швидкий технологічний прогрес зробив практичним підключення датчиків та фізичних ресурсів до мереж. Зараз ми просунулися до Інтернету речей (IoT), де вбудовані датчики відповідають за збір даних із все більшої кількості фізичних активів. Цей процес генерує величезну кількість даних.

На жаль, технологія зберігання такого гігантського обсягу даних є недостатньою для покриття всіх даних, що генеруються щодня. Аналогічно, аналітичні підходи при широкому використанні недостатньо зрілі для інтелектуального та ефективного опрацювання всіх створених даних. Ця проблема була відома як проблема великих даних.

Кіберфізична система (рис.1.15) характеризується фізичним активом, таким як машина, та її цифровим двійником; в основному програмна модель, що імітує поведінку фізичного активу. На відміну від цього, IoT у загальному слові, як правило, обмежується фізичними активами, а не їх цифровими моделями.

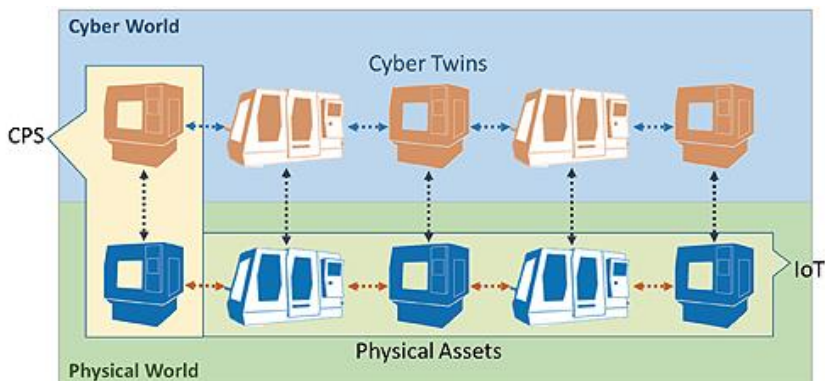


Рис. 1.15. Кіберфізична система

В роботі з даними, створеними IoT, є проблеми. В останні роки з'явилися терміни та визначення, які дозволяють позначити та впорядкувати недоліки та дати дорожню карту майбутніх подій. Серед цих термінів багато уваги привертає кіберфізична система.

Термін кіберфізична система зазвичай позначає системи взаємодіючих обчислювальних елементів, які керують фізичними сутностями, як правило, використовуючи зворотний зв'язок від датчиків, які вони контролюють. Подібність використання мереж, Інтернету та сенсорів у визначеннях IoT та КФС може змусити задуматися, чи ці два терміни є різними визначеннями одного поняття.

IoT заснований на зв'язках між фізичними активами, через які дані можуть передаватись. Підключення стає можливим завдяки безпечній реалізації комп'ютерних мереж, Інтернету та протоколів зв'язку. Ця комунікація базується на звичайних Інтернет-протоколах або виділених протоколах, таких як MTConnect. Але, незважаючи на зв'язок, парадигма IoT не включає ідею інформаційних систем чи аналітики. З іншого бо-

ку, КФС базуються на підключенні, але використовують складну аналітику. Комплексний висновок в КФС відбувається через централізований аналітичний центр, де знання видобуваються з необроблених даних. На основі знань, отриманих з даних, команди управління надсилаються до фізичного ресурсу. Загалом, можна розглядати IoT як інфраструктуру, яка робить можливим КФС.

Вплив IoT та КФС на промисловість є значним. Сьогодні більшість промислових установок, які використовують концепції IoT та КФС, не роблять набагато більше, ніж вбудовують датчики у виробниче обладнання або маркують продукцію з тегами RFID. Дані, що надходять від цих пристроїв, проходять порівняно невеликий аналіз. Це лише початковий крок. Реальна цінність у цих системах походить від використання інформаційної системи для аналізу даних IoT, а потім використання інформації, яка призводить до прийняття обґрунтованих рішень. Наприклад, дані вбудованих датчиків у виробниче обладнання можуть бути використані для прогнозування зносу обладнання або діагностики можливих несправностей. Така аналітика може допомогти зменшити витрати на обслуговування майже на 40%. Проведення такого аналізу даних, наданих IoT, є завданням КФС, що покращує ефективність виробничих компаній.

1. З'єднання: на рівні з'єднання збираються дані, що генеруються підключеними машинами, інструментами та продуктами для їх підняття вгору через наступні рівні.

2. Перетворення: цей рівень перетворює дані в інформацію за допомогою алгоритмів, заснованих на додатку. Наприклад, розглянемо необроблені дані вібрації з верстата на виробничій лінії. Наближені дані не містять ніяких знань про технічний стан та стан машини. Але алгоритми оцінки стану можуть витягувати відповідні функції та використовувати їх для отримання знань про стан машини.

3. Кібер: кібер-рівень отримує оброблювану інформацію з нижнього рівня та використовує її для створення додаткової цінної інформації. Цей рівень виступає центром інформації та виконує складну аналітику. Наприклад, кібер-рівень може застосовувати складні аналітичні методи. Вони порівнюють подібні активи у групі (наприклад, конкретні види виробничих машин в одному об'єкті). Це може запустити алгоритми глибокого навчання для виявлення шаблонів у великому наборі даних про групу. Системи рекомендацій, спеціальні алгоритми, які прагнуть передбачити "рейтинг" або "уподобання" для елемента, можуть рекомендувати найкращий спосіб використання кожного окремого активу.

Можливо, що рівень кібер і конверсії виконує подібні завдання. Основна різниця між ними – обсяг вхідної інформації та ціль алгоритмів. Рівень конверсії більше орієнтований на індивідуальні активи, тоді як рівень кібер-використання використовує дані всієї системи для отримання додаткових знань. Можливо, провести аналітику рівня конверсії локально, скажімо, на окремих вузлах датчиків. Але методи кібер-рівня мають місце в центральному обчислювальному центрі, такому як хмара.

4. Пізнання: рівень пізнання може перетворити сигнали машини на інформацію про технічний стан та порівняти її з іншими примірниками. На рівні пізнання машина сама повинна скористатися онлайн-моніторингом, щоб діагностувати власні потенційні збої та заздалегідь усвідомити її потенційну деградацію за будь-які явні ознаки недобрих станів. На основі адаптивного навчання з історичних оцінок стану система може використовувати конкретні алгоритми прогнозування, щоб передбачити потенційний збій і оцінити час настання певних видів збоїв.

5. Конфігурація: машина, здатна відстежувати власний стан, може виявити збої та надіслати інформацію про технічний стан на початку роботи. Ця інформація про технічне обслуговування може бути зворотним зв'язком в системах управління біз-

несом. Оператори та керівники заводів, у свою чергу, можуть використовувати її для прийняття обґрунтованих рішень. У той же час, сама машина може регулювати своє робоче навантаження або графік виготовлення, щоб скоротити час роботи, спричинені несправностями машини. Загальна мета цих заходів – створити стійку систему, здатну захищатись від труднощів, змінюючи власну поведінку та запобігаючи каскадним збоям, які в іншому випадку можуть порушити діяльність.

1.7 Автоматизація на основі кіберфізичної системи

За останні ~ 30 років сформувалася чітко визначена 5-шарова архітектура автоматизації. Польові пристрої (наприклад, датчики) на найнижчому рівні надсилають дані за допомогою аналогових сигналів на логічні контролери. Системи SCADA виконують (віддалені) завдання управління. Системи виробництва дозволяють користувачам виконувати складні завдання, такі як планування виробництва. ERP-системи вищого рівня дозволяють здійснювати звітність управління та обмінюватися виробничими даними, такими як стан замовлення з іншими системами (наприклад, CRM). Але в майбутньому може не знадобитися 5 шарів. Бачення полягає в тому, що датчики передають дані безпосередньо в хмару. Служби (наприклад, планування виробництва) автоматично підписуються на необхідні дані в режимі реального часу – це бачення кіберфізичних систем (рис.1.16).

Постачальником споживчих ІТ-технологій, що пропонують подібні архітектури від споживчих ІТ, є Microsoft.

В даний час автоматизовані виробничі системи активно впроваджуються в масове виробництво. Для цього розробляються спеціальні моделі та технології інтелектуальних кіберфізичних виробничих систем (Smart-CPMS). Перетворення реальних

виробничих систем в Smart-CPMS вважається наступним поколінням розвитку виробництва в Індустрії 4.0. Smart-CPMS володіє передовими характеристиками, такими як самоорганізація, самодіагностика і самовідновлення. Ці характеристики гарантують, що Smart-CPMS може адаптуватися до постійно змінних виробничих вимог. Модель Smart-CPMS успадкована від організації живих систем в природі. Реалізація CPS використовує технологію когнітивного агента.

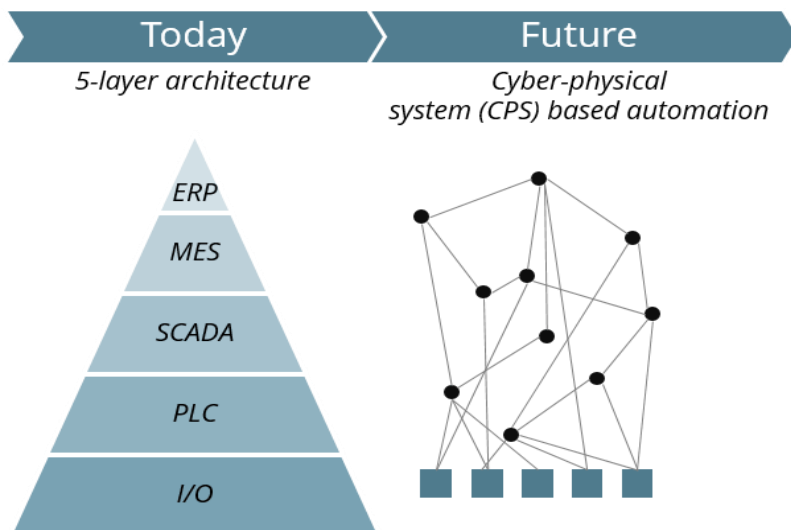


Рис. 1.16. Автоматизація на основі кіберфізичної системи

Повністю автоматизовані системи управління, такі як гнучкі виробничі системи (ГВС), широко застосовуються в масовому виробництві та дозволяють підвищити продуктивність і якість продукції.

Модель інтелектуальної кіберфізичної виробничої сис-

теми для адаптації до змін виробництва представлена на рис 1.17.

Система має наступні додаткові характеристики: кожен елемент є автономним об'єктом, оснащеним когнітивними можливостями, такими як сприйняття, аргументація для прийняття рішення, спілкування та співробітництво; можливість прийняття рішення самостійно; збільшення кількості компонентів системи в інтелекті з забезпеченням автономності системи; можливість в найкоротші терміни адаптуватися до виробничих змін в реальному часі.

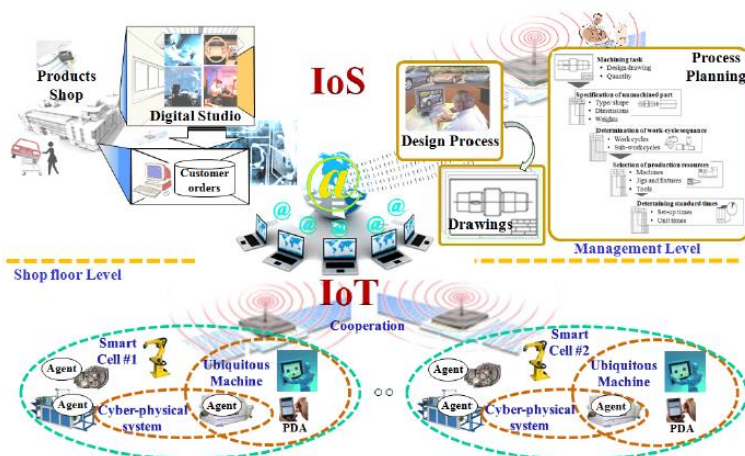


Рис. 1.17. Модель інтелектуальної кіберфізичної виробничої системи

Кожна інтелектуальна комірка включає в себе кіберфізичну систему, яка є автономним суб'єктом з можливістю контролю та адаптації до змін, а також взаємодії з іншими КФС для реалізації запланованих процесів. КФС складається з керованого

фізичного пристрою і кіберкомпонент. Технологія когнітивних агентів забезпечує автономність поведінки системи, тобто сприйняття і дія.

Інтерфейс людина-машина, смартфон і персональний цифровий помічник служать для сполучення машини з робочими.

Когнітивний агент – це комп'ютерна програма з самовизначенням. Модель когнітивного агента з основними модулями представлена на рис. 1.18. Модуль сприйняття відповідає за отримання та діагностику стану фізичної частини від датчиків. Кіберчастина приймає рішення відповідно до встановленого стану. Заснований на знаннях механізм міркування для прийняття рішення використовує штучний інтелект. Модуль управління кіберчастиною відповідає за відправку нового плану. Модуль зв'язку відповідає за взаємодію з іншими КФС.

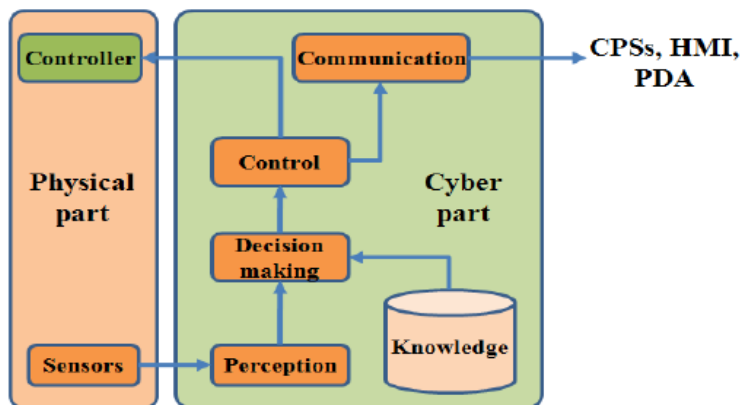


Рис. 1.18. Модель інтелектуальної кіберфізичної системи

Компанії тісно займаються інтеграцією виробничих і бізнес-систем для підвищення ефективності виробництва. Промислові інтернет технології (ІТ) еволюціонували з ERP, планування складських запасів, планування ресурсів виробництва, MES до рівня інтегрованих комплексів, які об'єднують бізнес-функції, управління ланками поставок, управління активами, планування виробництва та оптимізацію. Ці системи вже забезпечують роботу в режимі реального часу, що стало можливим завдяки розширенню доступності ІР-технологій. Тому дані системи вже реально сприяють підвищенню ефективності виробництва та повернення інвестицій.

Завдання виробничих та ІТ-підрозділів – спільно управляти застосуванням нових технологій для вирішення завдань продуктивності. Вже є XML-стандарти для ISA95/IEC/ISO 62264 (B2MML) і ISA88/IED/61512 (BatchML) для безшовної роботи в цьому новому середовищі. ІТ-служба цілком може стати каталізатором для тіснішої інтеграції бізнес-систем і АСУ ТП.

Основні принципи / характеристики, які повинні мати кіберфізичні виробничі системи:

- 1) налаштування – за допомогою якої система призначена для налаштування сімейства продуктів, а не окремих продуктів;
- 2) конвертованість – вбудована в систему дизайну для зручності функціональних змін;
- 3) масштабованість – для підтримки збільшення або зменшення виробничих ресурсів сталим способом;
- 4) модульність – шляхом активації функцій інкапсуляції за різних виробничих схем;
- 5) інтегративність – для підтримки швидкої інтеграції нового модуля, що скорочує час установки та налаштування;
- 6) діагностичність – оперативно реагувати на порушення.

Ці характеристики теоретично можна задовольнити шля-

хом просування наступних чинники перетворення: універсальність в дизайні системи та продуктів, пов'язаних з ними технологій; мобільність обладнання; масштабованість технічної, простої та робочої сили; модульність та сумісність між системами в межах виробничої системи.

В результаті стрімкого поширення смартфонів і планшетних комп'ютерів поняття Інтернет речей стало припускати не просто автоматизацію процесів на локальному виробництві, але й більш глобальне поняття. Це коли не тільки комп'ютер або смартфон, а й інші прилади, починаючи з кави-машини в офісі та закінчуючи холодильником у будинку, підключені до Інтернету.

Інтернет речей дозволяє створювати динамічні мережі, що складаються з мільярдів елементів, взаємодіючих між собою (рис. 19). Таким чином забезпечується зв'язок між накопиченим обсягом даних і реальними об'єктами, для яких додатки, сервіси, самі пристрої – це джерела даних.

На даний момент структура Інтернету речей складається з слабко пов'язаних між собою розрізнених мереж, кожна з яких розроблена для вирішення своїх специфічних завдань. Але в міру розвитку Інтернету ці та багато інших мереж будуть підключатися один до одного і використовувати все більш широкі засоби безпеки, аналітики та управління (рис. 1.20).

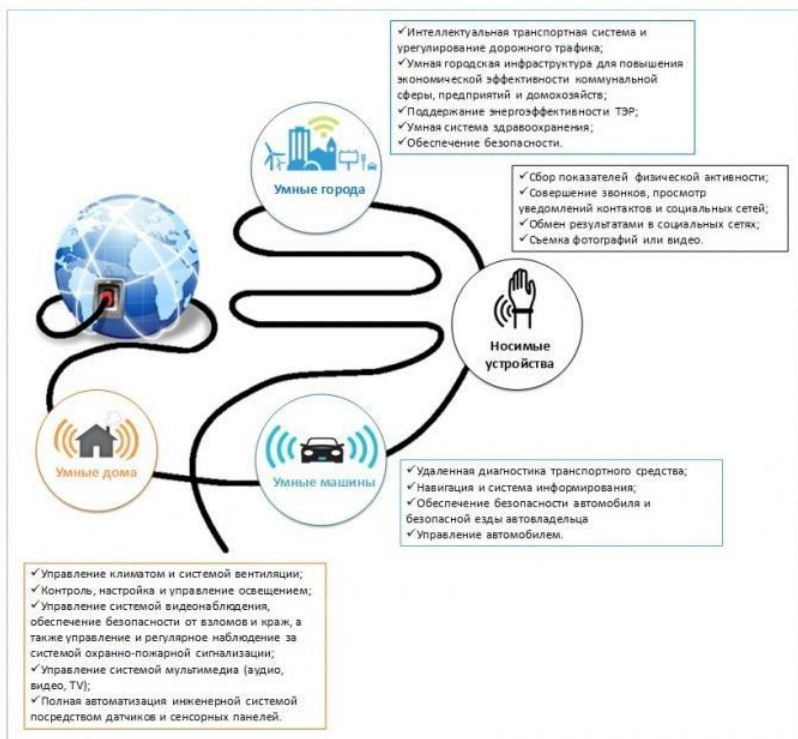


Рис. 1.19. Экосистема споживчих пристроїв Інтернету речей



Рис. 1.20. Интернет вещей как «Мережа мереж»

В результаті інтернет речей дозволить придбати ще більше можливостей для відкриття людству нових, великих перспектив, а також дасть можливість підвищити потенціал виробництва та скоротити витрати. Аналіз останніх кількох років показав, що інноваційні розробки в сфері ІТ сприятливо впливають на життя суспільства в цілому.

Основні фактори, які сприяли появі поняття Інтернет речей і його розвитку в теоретичному та практичному плані:

- збільшення пропускнуєї здатності Інтернету (дозволяє обмінюватися необмеженою кількістю необхідних даних різних форматів);

- доступність Інтернету за диференційованими каналами зв'язку та в різних режимах (забезпечує доступ користувачів і пристроїв до мережі з безлічі місць із заданою якістю обслуго-

вування);

- зростання кількості пристроїв, що мають доступ до Інтернету (формує активно взаємодіюче середовище користувачів і пристроїв і сприяє виникненню відповідних потреб);

- різноманітність пристроїв, що мають доступ до Інтернету (обслуговує розвиток технологій і протоколів комунікацій користувачів і пристроїв, а також реалізації широкого спектру завдань за допомогою мережі);

- формування потреб пов'язаних з взаємодією пристроїв в рамках глобальної інформаційної мережі (загострює інтерес до проблематики інтенсивного спілкування користувачів та пристроїв у Інтернеті безлічі комерційних і громадських структур);

- розширення ділових проектів і зв'язків в рамках Інтернету (формує інфраструктуру, економічні та фінансові моделі, що підтримують розвиток мережі);

- різноманітність інноваційних ідей, проектів і бізнесів в рамках мережевого спілкування користувачів та пристроїв (активно розвиває в теорії і на практиці форми та формати мережових комунікацій);

- розуміння очевидних переваг мережевого взаємодії (залучає ресурси, інформацію, підприємців і інвестиції);

- розвиток інфраструктури Інтернету речей, в тому числі: мережеве зберігання даних, сертифікати ідентифікації та безпеки, захищені ланки даних, стандарти та регламенти взаємодії (робить розвиток мережі стабільним і незворотним).

Для успішної реалізації рішень на базі мережі Інтернет необхідна технічна платформа, на якій можна буде вибудовувати різні рішення для раціонального та ефективного досягнення комерційних переваг. Для створення різного рівня складності

архітектури проєктів передбачені як платформи вільного доступу, так і комерційні платформи. Досвідчений користувач при бажанні може сам вибудувати відповідні рішення або звернутися до фахівців даної області.

Наприклад, компанія Intel Corporation, яка розробила Intel® IoT Platform – платформу для Інтернету речей в області автомобільної промисловості, енергетики, охорони здоров'я, промислових систем, роздрібної торгівлі, розумних будинків і будинків; компанія SAP SE, яка розробила платформу SAP HANA Cloud Platform for the Internet of Things для транспортної галузі, енергетики, будівництва, медичних систем, роздрібної торгівлі, телекомунікацій, обслуговування нафтопромислів, металургії, управління автопарком, управління активами. З 2015 року цим питанням займаються Google Inc, Samsung Group, Microsoft і деякі інші.

Рішення даних компаній для Інтернету речей надають все необхідне для збору інформації на основі даних, отриманих від підключених до мережі людей, пристроїв та інших об'єктів. Це надає можливість інтегрувати всю інформацію про компанію-клієнта в хмару за допомогою інтернет-пристроїв нового покоління та трансформувати бізнес-процеси на новому рівні, розвиваючи можливості самої компанії та її клієнтів.

На рис. 1.21 представлені релевантні сервіси для IoT, які зараз доступні для використання в реальному бізнесі. При цьому напрямок може бути як зліва направо (повідомлення передаються, приходячи в підсумку в який-небудь інструмент виведення), так і справа наліво (коли користувач, використовуючи кнопку на веб-сайті, ініціює виконання команди на кінцевому пристрої – наприклад, датчику або спринклері).

Розглянемо деякі сервіси докладніше:

– Event Hub (концентратор подій) – збір великих обсягів

даних від різних сенсорів;

– Stream Analytics (поточкова аналітика), що дозволяє визначати запити на «живих» потоках даних, що надходять з Event Hubs, за рахунок чого можна швидко реалізувати їх попередню обробку та організувати реакцію на події;

– Azure ML – технологія машинного навчання, що дозволяє навчити деяку модель на наявних даних;

– Azure HD Insight – кластерна технологія обробки великих обсягів даних, отримання різних зрізів даних і агрегованих значень за допомогою алгоритмів типу MapReduce.

Устройства	Сбор	Хранение	Аналитика	Вывод
	 Event Hubs	 SQL Database	 Machine Learning	 App Service
	 Service Bus	 Table/Blob Storage	 Stream Analytics	 Power BI
	 External Data Sources	 DocumentDB	 HDInsight	 Notification Hubs
		 Внешние источники	 Data Factory	 Mobile Services
				 Logic Apps

Рис. 1.21. Релевантні сервіси для Інтернету речей

Хмарна платформа Microsoft Azure – технології зберігання великих обсягів даних різних форматів (реляційні системи управління базами даних (СУБД) Azure SQL, Azure Storage, СУБД NoSQL).

Запитання для самоперевірки:

1. Поясніть поняття «система».
2. Що таке технологічна система, її складові?
3. Від чого залежить якість функціонування систем автоматизації?
4. Назвіть найважливіші критерії технічного прогресу.
5. Які етапи розвитку економічних та технічних передумов впровадження та використання автоматизації технологічних процесів вам відомі?
6. Як ви розумієте поняття «інформаційна інтеграція»? Назвіть її основні функції.
7. Що таке технологічна система? Назвіть етапи технологічного розвитку, види та ознаки системи.
8. Що таке інформація? Її роль в кібернетичній системі?
9. Які програмні засоби автоматизації вам відомі?
10. Поясніть поняття «розумне виробництво», його основні переваги.
11. Поясніть, що означає інтелектуалізація. Мета розробки інтелектуальних інформаційних систем?
12. Назвіть основні етапи проектування інтелектуальних систем. Що є ядром системи?
13. Назвіть властивості інформаційних систем.
14. Поясніть взаємозв'язок даних, інформації та знань в процесі прийняття рішень.
15. Що таке «цифровізація» та «цифрове підприємство»?
16. Поясніть технологію автоматизації сучасних установок. Назвіть основні напрямки інтелектуальної галузі.
17. Що таке кіберфізична виробнича система? Її основні характеристики.

2. ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПЕРАЦІЙ ТА ПРОЦЕСІВ КОМП'ЮТЕРНО- ІНТЕГРОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Роль інформаційного забезпечення в управлінні підприємством

Сучасне підприємство являє собою технологічну систему, що складається із взаємопов'язаних по горизонталі і вертикалі підсистем. Горизонтально зв'язані: *технічна система* (машини, обладнання, споруди, будівлі); *технологічна* (набір і послідовність операцій і процесів виробництва); *організаційна*, що забезпечує раціональне використання предметів і засобів праці, робочої сили і створює умови для застосування найбільш прогресивних прийомів і методів роботи; *підсистема трудових ресурсів*; *економічна*, яка висловлює єдність економічних процесів на виробництві і господарських зв'язків всього виробничого циклу.

Змістовно незалежність горизонтальних та вертикальних рівнів ієрархічного управління характеризується тим, що відповідна система управління може нормально функціонувати незалежно від систем більш високого рівня, причому наявність ТС наступних рівнів підвищує якість управління при зменшенні ступеня участі людини-оператора у процесі управління.

Сучасні промислові об'єкти являють собою сукупність взаємопов'язаних багато режимних підсистем, що об'єднані та керуються загальною системою управління. Особливостями такої складної системи є:

— наявність частин, що можуть бути виділені і для кожної з них може бути визначена мета функціонування;

– участь у роботі системи людей, машин і середовища;

– існування внутрішніх матеріальних, енергетичних та інформаційних зв'язків між частинами системи, а також зовнішніх зв'язків цієї системи з іншими системами.

Будь-яка система по-своєму складна. Це означає, що сукупність інформації, яка характеризує систему, і сукупність зв'язків між її елементами неможливо сприйняти в цілому та повністю. Цим система відрізняється від будь-якої задачі. Тому, згідно з методом декомпозиції, для оперативного впровадження інформаційної системи необхідно забезпечити оптимальну її структурованість.

Оптимально структурована система є багаторівневою, багатоцільовою організованою сукупністю елементів (модулів) і задовольняє такі вимоги:

– кожен рівень ієрархії має повністю проглядатися і бути зрозумілим без детального знання нижчих рівнів;

– зв'язки між елементами на одному рівні ієрархії мають бути мінімальними;

– не повинно бути зв'язків між елементами через один рівень ієрархії;

– елемент вищого рівня має викликати елемент наступного рівня і, передаючи йому необхідну вхідну інформацію, має утворювати з ним єдине ціле;

– елемент вищого рівня має викликати елемент наступного рівня і, передаючи йому необхідну вхідну інформацію, має утворювати з ним єдине ціле;

– елемент наступного рівня після закінчення своєї роботи повертає управління елементу, що його викликав, передаючи

йому результати своєї роботи.

Жорсткими є обмеження щодо структури системи, оскільки неможливо розробити таку ідеальну систему, щоб потім не вносити в неї зміни. До того ж при експлуатації інформаційної системи основним режимом її роботи є режим саме внесення змін.

Внесення змін у добре структуровану систему стосується не багатьох елементів, які добре локалізуються. В іншому випадку внесення навіть дрібних змін призводить до перепроєктування, перепрограмування великих частин системи.

Функціональну декомпозицію інформаційної системи доцільно здійснювати за об'єктивним принципом на основі такої схеми: виробниче об'єднання – промислове підприємство – виробництво – цех – технологічний процес (дільниця) – робоче місце (вертикальна декомпозиція) з виділенням функцій управління для кожного об'єкта за схемою планування: облік – контроль – аналіз – регулювання (горизонтальна декомпозиція).

Таким чином, ієрархічність являється необхідною якістю складних сучасних ТС, що задовольняють переліченим вище критеріям.

Узагальнена ієрархічна структура ТС підприємства та процеси прийняття рішень представлена наступним чином (рис. 2.1).

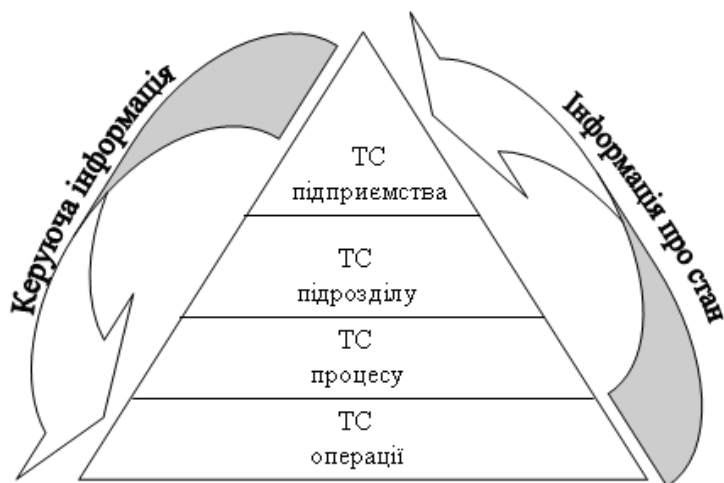


Рис. 2.1. Загальна ієрархічна структура сучасного підприємства та процеси прийняття рішень в ТС

Нижній рівень цієї схеми складають вимірювальні прилади і виконавчі механізми. Прилади можуть бути аналоговими або цифровими (інтелектуальними). Аналогові представляють виміряну величину у формі певного значення напруги або сили струму. Цифрові прилади мають вбудовані логічні схеми, вони представляють виміряну величину у вигляді сигналу, що відповідає специфікації протоколу передачі даних, визначеному для цих пристроїв. Для обміну інформацією з приладами першого виду необхідно використовувати аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворювачі. З приладами другого типу можна обмінюватися інформацією безпосередньо по мережі передачі даних.

Другу ступінь ієрархічної структури підприємства утворюють типові технологічні процеси, операції і стадії яких є елементами даної підсистеми. Це контролерний рівень. Контролери

виконують функції автоматичного керування технологічним процесом. Метою управління є видача сигналів на виконавчі механізми в результаті обробки даних про стан технологічних параметрів, отриманих за допомогою вимірювальних приладів, за певними алгоритмами.

Програматори/конфігуратори в основному оперують конфігураційними (параметричними) даними. Винятком є режим відладки, коли наладчику необхідно спостерігати та змінювати дані процесу. Слід зазначити, що параметричні дані на засоби вводу/виводу, як правило, поступають не безпосередньо з конфігураторів, а через ведучий вузол мережі – контролер.

Дані про поточні параметри технологічного процесу можуть бути використані для контролю її стану і управління ним з автоматизованих робочих місць операторів; для архівування історії зміни технологічних параметрів; для формування сумарних звітних форм з метою надання інформації керівному персоналу.

Третю ступінь складає сукупність типових основних і допоміжних технологічних процесів і апаратів, що управляються АСУТП. Сюди відносяться неоднорідні по характеру протікання технологічні процеси.

Рівень виробничої ділянки (цеху). Його функції:

- збір інформації, що поступає з нижнього рівня, її обробка і зберігання;
- вироблення керуючих сигналів на основі аналізу інформації;
- передача інформації про виробничу ділянку на вищий рівень;
- обчислення невимірюваних параметрів, зокрема, пока-

зників якості продуктів, техніко-економічних показників;

- зведення матеріальних балансів;

- архівування інформації;

- генерація звітів;

- діагностика і захист від збоїв в елементах підсистем нижнього рівня;

- визначення налаштувань керуючих пристроїв (КП) і установок локальних регуляторів підсистем I рівня;

- зміна структури локальних підсистем (переконфігурація, включення/виключення, перехід в ручне управління і т.д.).

На даному рівні проводиться оптимізація технологічних процесів за технологічними показниками.

Четверта, вища ступінь ієрархічної структури підприємства – це технологічні системи сукупності цехів, системи оперативного управління, системи організації виробництва, реалізації готової продукції і т.д. Задачу управління цим ступенем вирішує автоматизована система управління підприємством.

Атрибутом цього рівня є центр управління виробництвом, який може складатися з трьох взаємопроникаючих частин:

- 1) операторської частини;

- 2) системи підготовки звітів;

- 3) системи аналізу тенденцій.

На верхньому рівні АСУ ТП розміщені потужні комп'ютери, що виконують функції серверів баз даних і робочих станцій і забезпечують аналіз і зберігання всієї інформації, що пос-

тупила, за будь-який заданий інтервал часу, а також візуалізацію інформації і взаємодію з оператором.

Системи управління, до яких належать й автоматизовані системи управління, здійснюють оброблення інформації про стан керованого об'єкта і зовнішнього середовища та передавання інформації про прийняті й керуючі впливи.

Інформаційне забезпечення автоматизованої системи це інформаційна база і засоби її організації та реалізації.

Інформаційне забезпечення АСУ сукупність єдиної системи класифікації та кодування техніко-економічної інформації, уніфікованих систем документації і масивів інформації, які використовуються в автоматизованих системах управління, в тому числі форми документів, відеограм, масивів і інтерфейси або протоколи обміну даними.

Таким чином, інформаційне забезпечення АСУ утворюють сукупність даних; мовних засобів опису даних; методів організації, зберігання, накопичення та доступу до інформаційних масивів, що забезпечують відображення всієї інформації, необхідної в процесі вирішення функціональних задач АСУ, та довідкової інформації абонентам системи.

Інформаційне забезпечення інтегрованої АСУ містить наступні складові (рис.2.2):

- систему класифікації та кодування (Єдина система класифікації і кодування; система класифікації і кодування галузі; система класифікації і кодування підприємства; система класифікації і кодування АСУ ТП);
- систему документації (Єдина уніфікована система документації;
- система документації АСУ галузі; система документа-

ції АСУП;

– система документації САПР; система документації АСУ ТП);

– інформаційну базу ІАСУ (інформаційна база АСУ галузі;

– інформаційна база САПР; інформаційна база АСУ ТП).

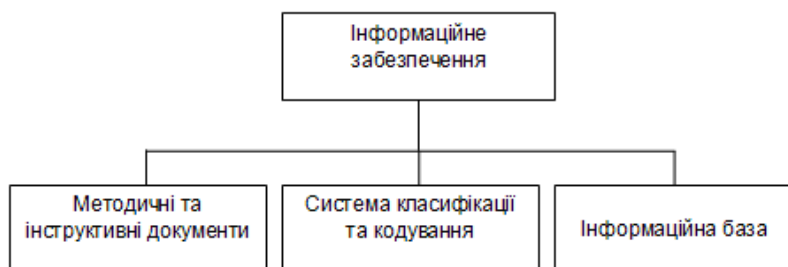


Рис. 2.2. Структура інформаційного забезпечення

Усі дані систематизуються в інформаційну базу системи – сукупність упорядкованої інформації, використовуваної при функціонуванні АС.

До складу інформаційної бази входять нормативні та довідкові дані, що становлять інформаційний базис системи; поточні відомості про стан керованого об'єкта або процесу; поточні відомості, що надходять ззовні системи і вимагають відповідної реакції системи або впливають на алгоритми вироблення рішень; облікові і архівні відомості, необхідні для планування та розвитку системи.

Методичні та інструктивні матеріали ІС це сукупність державних стандартів, галузевих керівних методичних матеріа-

лів і розроблених проектних рішень щодо створення й супроводження інформаційного забезпечення.

Системи класифікації і кодування – це перелік описів і систем супроводження класифікаторів техніко-економічної інформації на економічному об'єкті.

У технології обробки інформації первинні відомості про виробничі і комерційні операції, випуск продукції, факти придбання та продажу товарів, знання й навички людей, їхні робочі обов'язки виконують роль предметів праці, а отримана внаслідок цього інформація – продукту праці; вона використовується для аналізу і прийняття управлінських рішень. Відповідно, великого значення набувають методи обробки й використання інформації, а також технічні засоби, завдяки яким стало можливим перетворення інформації у важливий виробничий ресурс.

Як зазначено у словнику комп'ютерних термінів, який видала українською мовою фірма «Microsoft» у 1991 р., інформація – позначення даних, які можуть бути інтерпретовані людиною. Слово інформація утворене від латинського *informatio*, що означає викладення, роз'яснення якогось факту, події, явища. У загальному розумінні інформацію визначають як відомості про той чи інший бік матеріального світу і процесів, які в ньому відбуваються. Під інформацією початково розуміли дані, що передавалися людьми усно, письмово або іншим чином за допомогою умовних сигналів, технічних засобів тощо. Із середини ХХ ст. інформація – це загальнонаукове поняття, до якого входять: обмін даними між людьми, між людиною і автоматом, між автоматом і автоматом; обмін сигналами в тваринному і рослинному світі, передача впливу від клітини до клітини, від організму до організму тощо.

Інформація відзначається смисловим навантаженням. Вона дуже різноманітна і поділяється за видами людської діяльності, в якій її використовують: наукова, технічна, виробнича,

управлінська, економічна, соціальна, правова тощо. Кожен з видів інформації має свою технологію обробки, смислове навантаження, цінність, форми подання і відображення на фізичних носіях, вимоги до точності, достовірності, оперативності відображення фактів, явищ, процесів.

Інформація, що обслуговує процеси виробництва, розподілу, обміну та споживання матеріальних благ і забезпечує розв'язання завдань організаційно-економічного управління на макро- і мікрорівнях, називається управлінською. Вона являє собою різноманітні відомості економічного, технологічного, соціального, юридичного, демографічного та іншого змісту. В інформаційному процесі, яким є управлінська діяльність, інформація – один з важливих ресурсів разом з енергетичними, матеріальними, трудовими, фінансовими.

В сучасних умовах стрімко зростає попит на інформацію та інформаційні послуги. В зв'язку з цим технологія опрацювання інформації намагається використовувати найширший спектр технічних засобів і, передусім, комп'ютерну техніку та цифрові електронні засоби комунікації. На їх основі створюються обчислювальні системи і мережі не лише для накопичення, збереження та перетворення інформації, а й для максимального наближення термінальних пристроїв до робочого місця фахівця або керівника, який приймає рішення.

Сучасні інформаційні системи (ІС) виникли і функціонують завдяки наступним технічним досягненням:

- швидкодійним та містким засобам зберігання інформації (жорсткі та лазерні диски, флеш-пам'ять);
- цифровим засобам зв'язку, які не накладають суттєвих обмежень на відстань та час (глобальні комп'ютерні мережі);
- апаратним та програмним засобам автоматизованої опрацювання інформації (вибірка, сортування, подання в пот-

рібній формі).

У відповідності з визначенням, наведеним у Державному Стандарті України (ДСТУ), інформаційна система – це система, яка організовує накопичення і маніпулювання інформацією щодо конкретної проблемної сфери.

Ширше сутність інформаційної системи можна сформулювати в залежності від погляду наступним чином (табл.2.1):

З наведених вище визначень та окреслення суті ІС випливає її основне завдання, яке полягає у підготовці і наданні інформації, необхідної для забезпечення управління всіма ресурсами підприємства чи організації, створенні інформаційного та технічного середовища для управління організацією.

Основне завдання можна розглядати як сукупність наступних складових:

- збір інформації з різних джерел;
- реєстрування, опрацювання та видача інформації, що характеризує стан виробництва та управління ним;
- розподіл інформації між фахівцями та керівниками, підрозділами та окремими виконавцями у відповідності до їх участі в процесах виробництва чи управління.

Найважливішими властивостями економічної інформації є:

- достовірність і повнота;
- цінність і актуальність;
- ясність і зрозумілість.

Табл. 2.1 – Сутність інформаційної системи з різних поглядів

З технічного погляду	З ділового погляду	З семантичного погляду
Набір взаємозалежних компонентів, які збирають, зберігають, опрацьовують і розподіляють інформацію з метою забезпечення управління організацією та підтримки прийняття управлінських рішень	Сукупність інформації, апаратно-програмних і технологічних засобів, засобів комунікації, методів і процедур опрацювання даних та персоналу, які організовують збирання, зберігання, опрацювання і розподіл інформації для підготовки і прийняття управлінських рішень	Сукупність різноманітних взаємопов'язаних або взаємозалежних відомостей про стан об'єкта управління та процеси, які відбуваються в ньому. Ці відомості виражені в показниках та інших інформаційних сукупностях, зібраних і опрацьованих за допомогою інформаційних технологій за визначеною методикою та за заданим алгоритмом

Інформація є достовірною, якщо вона не спотворює дійсного стану справ.

Недостовірна інформація може призвести до неправильного розуміння або до прийняття неправильних рішень. Інформація повна, якщо її достатньо для розуміння і прийняття рішень. Неповна інформація затримує прийняття рішень і може призвести до виникнення помилок. Цінність інформації залежить від того, які завдання розв'язують за її допомогою. В умовах, що постійно змінюються, важливо мати актуальну (своєчасну) інформацію. Інформація стає ясною і зрозумілою, якщо її виражено мовою, якою спілкуються ті, кому призначена ця інформація. Якщо цінна актуальна інформація виражена незрозуміло, то вона стає некорисною.

Стосовно підприємства інформація буває зовнішньою і внутрішньою. Зовнішня інформація – це дані про різні аспекти економічної, екологічної, політичної, соціальної та інших сфер, що оточують це підприємство. Вона важкодоступна і дорого коштує. Канали отримання такої інформації різноманітні: експертні опитування, статистичні дослідження кон'юнктури ринку, вивчення тенденцій у виробництві і збуті тих чи інших товарів, преса, телебачення тощо.

Внутрішня інформація на підприємстві – це дані, які виникли переважно в системі обліку. Характер та обсяг інформації також різні. Однак вона більш доступна, оскільки створюється на самому підприємстві. Якщо на підприємстві встановлено автоматизовану систему документообігу й обліку, то всю необхідну інформацію зберігають у корпоративних базах даних, які залежно від масштабів підприємства і встановленої системи автоматизації, можуть бути як однотипними (dBase, Access, Paradox та ін.), так і скомбінованими з кількох типів баз даних.

Одночасно з розвитком теоретичних засад і вдосконаленням систем управління розвивались також інформаційні системи, покликані підтримувати виробничі та управлінські процеси.

Зараз в історії розвитку ІС прийнято виділяти чотири покоління:

1. Перше покоління (1960 – 1970рр.) будувалось на базі центральних ЕОМ за принципом "одне підприємство – один центр опрацювання", а як стандартне середовище виконання додатків (функціональних задач) слугувала операційна система фірми IBM - MVS.

2. Друге покоління (1970 – 1980рр.) характеризується першими спробами децентралізації ІС, в процесі якої інформаційні технології почали поширюватись на робочих місцях в офісах і

відділеннях компаній. Для цього використовувались персональні комп'ютери (ПК). Одночасно почалось широке впровадження технологій систем управління базами даних (СУБД) та пакетів комерційних прикладних програм. Кардинальним нововведенням цього покоління ІС стала багаторівнева модель системи опрацювання даних з використанням децентралізованої бази даних.

3. Третє покоління (1980 – 1992рр). Стрімке поширення мережових технологій опрацювання даних. Логіка корпоративного бізнесу зажадала об'єднання окремих комп'ютеризованих робочих місць в єдину ІС, і таким чином з'явилися обчислювальні мережі розподіленого опрацювання. Спочатку це були однорангові мережі, але в процесі розвитку ІС на цьому етапі однорангового розподіленого опрацювання поступила місьцем ієрархічній моделі "клієнт - сервер".

4. Четверте покоління (з 1992р.) посідає наступну відмінну рису: централізоване опрацювання інформації і єдине управління ресурсами ІС на верхньому рівні поєднується з розподіленим опрацюванням на нижніх рівнях. Для сучасних ІС четвертого покоління характерні наступні особливості:

- повне використання можливостей персональних комп'ютерів і середовища розподіленого опрацювання даних; модульна побудова системи, що передбачає використання різних типів архітектурних рішень в межах одної ІС;

- економне використання ресурсів системи (як апаратних, так і програмних) за рахунок централізованого збереження та опрацювання даних;

- використання централізованих засобів системного адміністрування, які дозволяють здійснювати контроль за функціонуванням мереж та управління ними на всіх рівнях ієрархії, а також забезпечувати необхідну гнучкість конфігурації системи;

– зниження прихованих експлуатаційних витрат на утримання ІС. Ці витрати складаються, зокрема, з витрат на підтримання функціонування мережі, резервне копіювання даних, налаштування конфігурації мереж, забезпечення захисту даних, відновлення чи інсталювання наступних версій програмного забезпечення тощо. Ці витрати важко виділити в чистому вигляді, а відтак – і передбачити в бюджеті організації.

З погляду інформаційних технологій в процесі розвитку ІС відбувався поступовий перехід від опрацювання окремих довільних даних до технологій баз даних зі зміною схем розв’язування прикладних задач (табл. 2.2).

Табл. 2.2 – Етапи розвитку ІС

Етап	Перший	Другий	Третій
Назва	Системи опрацювання даних	Управлінські інформаційні системи	Системи підтримки прийняття рішень
Тривалість	1963 - 1972	1972 - 1986	з 1986
Спосіб використання даних	Окремі дані	Дані + БД	БД
Схема розв’язування задач	Розв’язування задач в пакетному режимі	1. Розв’язування задач в режимі реального часу 2. Багатоваріантні розрахунки 3. Елементарне моделювання	1. Розв’язування задач в режимі реального часу 2. Моделювання техніко-економічних процесів 3. Підтримка управлінських рішень

До викладеного вище необхідно додати: по-перше, всі сучасні інформаційні системи розробляються з врахуванням можливості автоматичного виконання операцій, які піддаються формалізації, внаслідок чого сучасні ІС правильніше називати автоматизованими інформаційними системами (АІС). В подальшому в цьому конспекті термін "інформаційні системи" вживається саме в цьому розумінні.

По-друге, крім прямого економічного ефекту впровадження інформаційних систем має великий вплив на зміну характеру діяльності фахівців та управлінського персоналу, а саме:

- підвищилась оперативність, обґрунтованість та об'єктивність прийнятих рішень;

- з'явилась можливість розв'язувати принципово нові економічні задачі, які до впровадження ІС апаратом управління не розв'язувались;

- збільшився час на творчу роботу за рахунок скорочення обсягів виконання рутинових операцій вручну;

- підвищилась інформованість фахівців та управлінського персоналу в результаті автоматизації процесів інформаційного обслуговування.

Для того, щоб інформацію однозначно сприймали ті, хто брав участь в її підготовці на підприємстві, і ті, хто використовує її поза межами підприємства, вона має задовольняти таким вимогам:

- порівнюваність і постійність – не можна протягом звітнього періоду використовувати різні методи реєстрації даних, інакше зникає можливість порівнювати дані;

- суттєвість – не потрібно витратити час на реєстрацію незначних факторів. Якщо зусилля щодо реєстрації дорівнюють

за вартістю засобам, які реєструються, реєстрацію необхідно спростити;

– консерватизм – оскільки відображення фактів господарської діяльності в процесі управління підприємством не завжди є однозначним, необхідно вибирати оцінку, яка є менш оптимістичною, тобто слід враховувати можливий брак прибутку і потенційні збитки. Це забезпечить обережність в оцінці активів, майна і у визначенні величини прибутку;

– повноту – містити максимум даних, необхідних користувачу.

2.2 Класифікація інформаційних систем

Інформаційні системи виробничого об'єкта (підприємства, організації) характеризуються специфічними ознаками, на відміну від інформаційних систем інших призначень. Вони орієнтовані, переважно, на реалізацію управлінських рішень на базі широкого використання засобів обчислювальної техніки й економіко-математичного моделювання. Такі системи характеризуються також безпосередньою взаємодією з користувачами різних рангів, функціонуванням реального режиму часу отримання і використання інформації, можливістю задоволення інформаційного попиту споживачів.

Якщо в основу визначення поняття «інформаційна система» покласти ресурсний підхід, то інформаційна система може трактуватись як сполучення засобів і методів виробництва, накопичення, перетворення і використання інформаційних ресурсів підприємства з метою здійснення користувачами основних функцій управління. Інформаційну систему визначають і як методологію, організацію, елементи технічного і програмного за-

безпечення, що необхідні для вводу й отримання певної інформації згідно з вимогами користувача.

Інформаційні системи функціонують, перш за все, для забезпечення інформацією процесів управління підприємством, а це пов'язано з методами і засобами виділення інформації із сукупності зафіксованих даних. Говорячи про важливість інформаційних систем, В.М. Глушков писав, що їх "нерідко відносять до засобів забезпечення управління, до деякої зовнішньої структури у відношенні до організаційного процесу. А насправді це аж ніяк не «зовнішня структура» і тим більше не допоміжний засіб організаційного процесу, а його «серцевина». При створенні інформаційних систем (надалі ІС) велику увагу зосереджують на техніці вводу інформації, що забезпечує зв'язок виробничого процесу з ІС. Головним завданням при обробці цієї взаємодії є аналіз того, як чином вихідні дані ІС можуть забезпечувати ефективність функціонування системи управління.

Мова повинна йти не тільки про виробництво нових інформаційних ресурсів, а й про ефективність оперативного використання вже існуючих на будь-якому рівні управління.

На шляху розвитку ІС можна виділити два основні напрямки їх проектування. Перший визначається можливостями обчислювальної техніки, станом програмного й інформаційного забезпечення, а потім уже задоволення інформаційних потреб користувачів. Другий напрямок відображає розвиток ІС, виходячи з інформаційних потреб користувачів, незалежно від засобів і методів їх задоволення.

Обидва напрямки були природними на певних етапах розвитку ІС. Проте при створенні сучасних ІС такі традиційні підходи вже не задовольняють дослідників. Цікавою видається інтерпретація ІС на основі виділення в них трьох так званих фільтрів: синтаксичного, семантичного і прагматичного.

Під синтаксичним (фізичним) фільтром розуміють засоби передачі та збереження даних, що не торкаються їх змістової обробки (реалізується лише первинна обробка, контроль, збереження і пошук). Такий фільтр може характеризувати пропускну здатність інформаційної системи. Синтаксичний шум (фізичні перешкоди, викривлення передачі даних), що виникає при функціонуванні, частково відсіює частину повідомлень. Семантичний (змістовий) фільтр забезпечує розуміння змісту даних, які передаються, тобто в ньому відбувається змістова обробка.

При цьому під семантичним шумом розуміють ті дані, в яких або відсутні елементи новизни, або вони «безглузді» для використання. Такі дані необхідно відсіювати. і зрештою, в прагматичному фільтрі здійснюється оцінка міри корисності даних із позиції цілей користувача, визначається актуально корисна інформація для вирішення завдань управління. Відбувається також відтік непотрібних даних (з точки зору користувача), які утворюють прагматичний шум (непотрібні знання). Отже, "дані, що пройшли цей фільтр, становлять собою інформацію в тому вигляді, в якому вона потрібна для прийняття рішення".

Таким чином, процес фільтрації даних на синтаксичному, семантичному та прагматичному рівнях – це процес перетворення даних на інформацію, який повинен здійснюватися в ІС. Аналіз ряду ІС дозволить виявити ряд недоліків, що знижують ефективність їх функціонування. Користувачі різних рангів (управлінці підприємства) отримують інформацію у більшому обсязі, ніж це потрібно для прийняття рішення. Варто відзначити, що немає чіткої регламентації щодо адресності й терміну представлення детальної інформації; не вивчені і не визначені інформаційні потреби користувачів усіх рангів управління (види і об'єми запропонованої їм інформації); користувачі не завжди чітко уявляють можливості ІС, які функціонують найчастіше звертаються до евристичних методів формування необхідної їм інформації; відсутній належний зв'язок користувачів з інформаційною системою (не отримав належного поширення режим

взаємодії «ЕОМ - користувач»).

При аналізі та проектуванні ІС необхідно враховувати: отримання максимуму виробничої інформації з мінімуму первинних даних; задоволення інформаційних потреб користувачів інформаційної системи; отримання такої інформації, яка не може бути отримана шляхом спостереження чи розрахунків; суміщення функцій слідування з визначеними функціями – управління, отримання інформації для моделювання економічних процесів. Вивчення проблеми проектування інформаційних систем і досвід їх створення дають змогу вибрати укрупнену технологію реалізації цього процесу за такими етапами:

1-й етап. Дослідження й аналіз інформаційних систем користувачів усіх рангів. Мета – виділення необхідного і достатнього обсягу інформації для рішення завдань управління виробничими процесами.

2-й етап. Вибір методів задоволення інформаційних потреб користувачів.

Визначення контурів ІС, режимів її функціонування (в тому числі термінів «постачання» інформації користувачам).

3-й етап. Визначення складу та структури бази даних ІС (встановлення взаємозв'язків окремих масивів, періодичності їх формування й оновлення).

4-й етап. Вирішення питання технічної реалізації функціонування ІС (склад системи засобів обчислювальної техніки).

5-й етап. Проектування технологічних процесів обробки даних, що забезпечують отримання необхідної інформації в режимах, яких вимагає користувач (регламентному, за запитом, діалоговому).

6-й етап. Вирішення питань організаційного забезпечен-

ня функціонування ІС. Під організаційними процесами забезпечення розуміється сукупність інструктивних матеріалів (посадових інструкцій, методичних вказівок, словників, каталогів, положення про стимулювання), що регламентують роботу користувачів у процесі їх взаємодії з ІС. Параметри й особливості ІС індивідуальні для кожного підприємства. Відносно стабільні за складом елементів, інформаційні системи вимагають високої точності вимірів і фіксації різної множини параметрів, високої надійності обробки даних. На них накладаються жорсткі обмеження, що диктуються характером технологічних процесів, нормативними актами, інструкціями та наказами керівних органів, встановленими формами документації і документообігу на підприємстві.

Отже, створення кожної конкретної ІС підприємства повинно розглядатись і вирішуватись комплексно, в декількох аспектах:

організаційному (принципи організації ІС і взаємодія її елементів), технологічному (методи обробки Інформації і технологія реалізації цих методів), технічному (можливості сучасних засобів обчислювальної та організаційної техніки). Оптимальна організація системи Інформаційного забезпечення є одним із основних факторів, що визначає надійність й ефективність управління в цілому.

У багатьох наукових роботах виділяють такі види інформаційних систем: інформаційно-пошукові, інформаційно-довідникові, інформаційно-консультативні. Основою для такої класифікації, як правило, служать комплекси використовуваних методів і засобів їх реалізації, технологічні процеси обробки даних, види і форми оброблюваної інформації, функціональна орієнтація системи.

З позиції вказаних ознак класифікації перелік самостійних видів ІС можна було б продовжити, включивши в нього,

наприклад, такі, як діалогові, до запитання та ін. Проте такий підхід у методичному плані не можна визнати правильним, У рамках управління одним і тим же промисловим підприємством довелося б конструювати множину різних ІС. Очевидно, мова повинна йти про різні режими функціонування єдиної ІС підприємства чи її елементів: інформаційно-пошуковий, діалоговий, до запитання, режим реального часу. Щодо банків даних, то вони є ефективним методом конструювання головного елемента будь-якої інформаційної системи – її інформаційного фонду (із забезпеченням програмних засобів доступу до нього). Звичайно, що в деяких випадках при розробці вузькоспеціалізованих систем (довідково-бібліографічних, довідково-інформаційного обслуговування та ін.) можна говорити про них, як про відносно самостійні види інформаційних систем. Відзначимо деякі особливості «інформаційно-пошукових систем» (ІПС).

Прийняті в теперішній час визначення інформаційно-пошукової системи неоднозначні. Вони звичайно розкривають технічний бік її реалізації. Особливий інтерес становить класифікація інформаційно-пошукових систем, що конкретизує різні аспекти їх призначення і використання. Така класифікація може бути здійснена за режимом роботи (методом інформаційного забезпечення користувачів системи, видом обробленої Інформації і виданої інформації), за ступенем автоматизації інформаційних процесів (процедури обробки інформації), за типом інформаційної мови, способом організації інформаційних процесів (процедура обробки інформації), інформаційних масивів і пошукового масиву.

За видом роботи ІПС можна розділити на системи довідково-інформаційного обслуговування і довідково-бібліографічні, за режимом роботи – на системи вибіркового розповсюдження інформації і ретроспективного її пошуку.

З точки зору накопичення й обробки інформаційних масивів класифікацію інформаційних систем можна представити

схемою (рис. 2.1).

Останнім часом набувають розвитку багатфункціональні інтегральні ІС, які призначені для роботи в будь-яких режимах, тобто об'єднують різні властивості й особливості різних систем. Аналізуючи існуючі ІПС, можна зробити такі висновки: розроблена досить велика група систем для різних галузей науки і техніки; не зважаючи на уявне розмаїття, більшість систем принципово не відрізняється одна від одної; рівень автоматизації ІПС визначається досить довільно і в багатьох випадках «залежить», швидше, від точки зору розробника, ніж від дійсної системи автоматизації; впровадження тієї чи іншої ІПС часто здійснюється без аналізу її можливостей, врахування придатності її для конкретних умов експлуатації визначається не перевагами системи, а випадковими факторами.

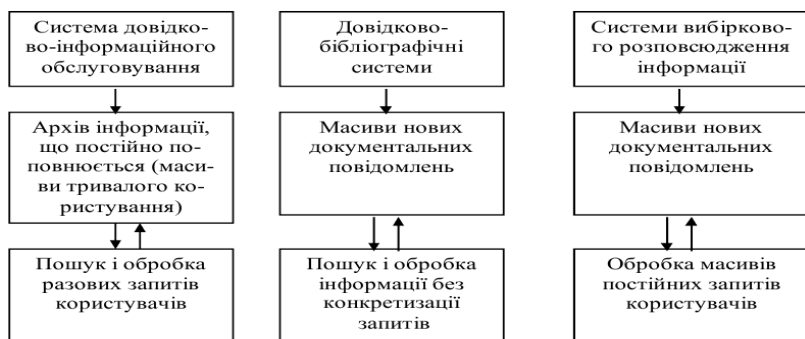


Рис. 2.1. Класифікація інформаційних систем

Потрібно відзначити також, що багато ІПС відноситься до документального типу і не має можливостей відтворювати різні операції з перетворення інформації.

Основним недоліком існуючих ІПС є також складність їх

використання в управлінні виробничими об'єктами. Проте, у методичному плані інформаційно-пошуковий режим є потенційно перспективним напрямком удосконалення технології управління.

Проектування ефективної інформаційної системи менеджменту промисловим об'єктом повинно здійснюватися з урахуванням розробки різних режимів автоматизованої обробки даних і представлення користувачам результативної інформації.

2.3 Інформаційна система сучасного підприємства

Для того, щоби показати, наскільки складним є коло проблем, пов'язаних із створенням ІС сучасного промислового підприємства, розглянемо приклад, який, на наш погляд, відображає сучасні вимоги, що ставляться до проектування автоматизованих виробництв. При цьому ми виходимо з того, що інформація є одним із ресурсів даного виробництва.

Як видно на рис. 2.2, ми виділили шість головних блоків: три посередньо пов'язані з виробничими процесами і три – з підготовкою цих процесів і управлінням їх реалізацією.

Основою такої ІС є блок, що допомагає керівнику підприємства приймати рішення на основі аналізу даних, що знаходяться всередині системи, а також інформації, що знаходиться в зовнішніх базах даних. Іншими словами, блок 1 становить собою систему підтримки прийняття рішень (СППР) на нижчому рівні управління.

До нього стікаються потоки інформації від усіх вузлів системи, тому на даний вузол-блок покладено також функцію контролю потоків інформації всередині ІС і зв'язку.

Автоматизована система складування 2 є ключовим вузлом із забезпечення всіх виробничих процесів на підприємстві. Перш за все вона повинна утримувати інформацію про всю продукцію, що зберігається на складі, починаючи від отриманих із інших заводів комплектуючих деталей та сировини і закінчуючи випуском готової продукції. В якості п'яти головних компонентів такої системи необхідно передбачити контроль продукції, що поступає, (2.1); інвентарний облік деталей, що виробляються, (2.2); облік готової продукції (2.3); автоматизовану систему пересування вантажів всередині технологічної схеми виробництва (2.4); облік відвантаженої споживачам готової продукції (2.5). Залежно від виробництва кожен із компонентів цієї системи може складатись із багатьох підблоків.

Процес автоматизованого виробництва деталей (3) також, з точки зору інформаційного забезпечення, можна поділити на декілька підгруп, за ознаками, які найбільше відповідають специфіці даного підприємства. В даному випадку був вибраний принцип групової технології, що об'єднує в єдиний комплекс споріднених операцій: виробництво деталей (3.1); група, що обробляє металовироби (3.2); лінії зварки і фарбування (3.3); роботи з доставки оброблюваних деталей та інструменту (3.4) і система контролю якості продукції (3.5). Із цехів і оброблюваних центрів виготовлені деталі потрапляють знову на склад, а інформація про них через блок 1 передається в автоматизовану систему складування 2.

Автоматизація виробництва готової продукції (4) також передбачає наявність систем, що допомагають спеціалістам в оптимізації виробничого процесу.

Звичайно, що виконання не всіх операцій може бути перекладено на автомати, тому і тут в якості найбільш імовірних процесів, що підлягають автоматизації, є: роботизована система доставки деталей і готової продукції (4.1); роботизація виконання окремих складальних операцій (4.2); контроль за якістю гото-

вої продукції, включаючи її дослідження (4.3); автоматична упаковка продукції (4.4) і блок, що дозволяє переналагоджувати систему для випуску іншої продукції (4.5). Виконання всього набору вказаних операцій не можливе без наявності в рамках підприємства єдиного інтегрованого центру, що відповідає за весь цикл інженерних і конструкторських робіт (5). Така система автоматизації інженерних робіт (CAIP) повинна включати САПР (5.1) для розробки нових типів деталей. Після аналізу виконаного проекту та звірки його на співпадання з іншими вузлами продукції, що випускається (5.2), окрема група проектує і розробляє необхідні для виробництва штампи, інструменти тощо (5.3). Після розробки плану нового технологічного процесу виробництва (5.4), група програмістів готує програми для оброблюючих центрів (5.5). На інтеграційний центр інтеграційних і конструкторських робіт покладається розробка плану контролю якості в ході всього технологічного процесу виробництва. Інформація з САПР поступає в автоматизовану систему виробництва деталей (3), у систему автоматизації виробництва готової продукції (4) і в автоматизовану систему менеджменту виробництва (6).

Вся інформація обов'язково повинна пройти через центральну систему управління потоками інформації і зв'язку (1), де вона копіюється і зберігається в загальній БД.

Роль АСМП (автоматизована система менеджменту підприємства) при такій схемі автоматизації також змінюється і базується на плані виробництва готової продукції на підставі замовлень, які формуються на вході АСМП (6.1). Виходячи з цієї інформації, АСМП планує закупівлю необхідних матеріалів і дає завдання центру САПР на розробку нових деталей (6.2). У блоці (6.3) здійснюється обробка інформації з обліку виробничих поточних затрат, за винятком засобів на виплату зарплати робітникам і службовцям, закупівлю матеріалів і обладнання тощо. Важливу складову АСМП становлять системи планування виробничого процесу (6.4) і контролю проходження продукції по цехах підприємства (6.5).

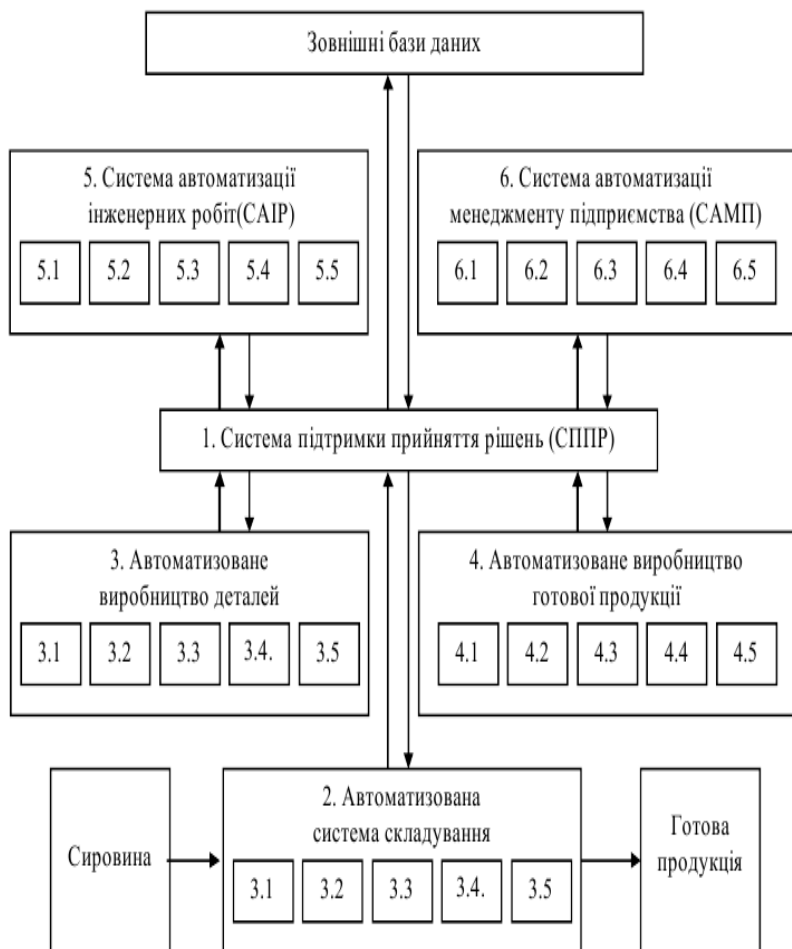


Рис. 2.2. Схема автоматизації виробництва промислового підприємства

Тепер розглянемо найнижчий рівень ІС, що є цехом (блок 3.2). В ІС цього рівня повинна входити ПЕОМ з великою оперативною пам'яттю, що дозволяє виконувати, як мінімум, функції вказані на рис. 2.3.

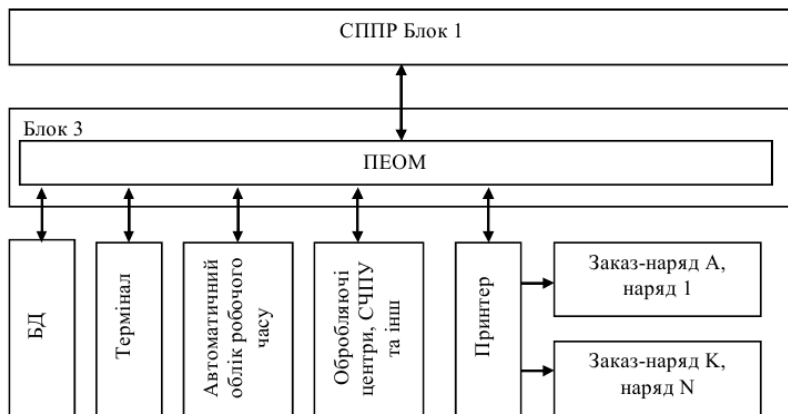


Рис. 2.3. Інформаційно-керуюча система цеху

Перед початком кожної зміни система повинна враховувати всіх присутніх на робочих місцях за допомогою спеціального терміналу, що зчитує інформацію з перепустки робітника (чи спеціальної карточки з кодом). На основі отриманої інформації принтер системи роздруковує завдання кожному з робітників. У випадку, якщо за минулий день спеціаліст не справився з отриманим завданням, система не видає йому нового, поки не буде закінчено виконання попереднього.

Підрахунок системного часу, затраченого на виконання кожного завдання, дозволить у майбутньому більш правильно встановлювати норму виробітку залежно від кваліфікації робітника, а також нараховувати заробітну плату відповідно до виконаної роботи. Інформацію про виконання завдання заносить за

допомогою терміналу кожен робітник. Майстер протягом дня контролює хід роботи, а також санкціонує передачу цих даних на центральну БД.

Щоденне виконання вказаних операцій, періодичне з'ясування причин допущених окремими робітниками помилок дозволить значно підвищити якість виконуваних робіт, а також мати в інтерактивному режимі роботи доступ до будь-якої інформації, що стосується даного виробничого процесу.

2.3.1 Ресурси і технології інформаційних систем

Для функціонування ІС потрібні різні види ресурсів, основними з яких є апаратні, програмні, інформаційні і людські. Не слід, однак, забувати і про фінансові ресурси, необхідні для належного функціонування ІС.

До апаратних ресурсів, як відомо, відносяться комп'ютери, периферійні пристрої, мережеве та комунікаційне обладнання. Людським ресурсами ІС є користувачі, адміністратор та технічний обслуговуючий персонал. Інформаційними ресурсами ІС є та частина інформаційних ресурсів підприємства, яка використовується інформаційною системою.

Джерелами формування інформаційних ресурсів підприємства є його внутрішнє і зовнішнє середовище. Інформація внутрішнього середовища відображає фінансово-господарський стан підприємства. Інформація зовнішнього середовища відображає відносини підприємства з зовнішніми економічними, соціальними і політичними структурами.

Опрацювання інформації внутрішнього середовища здійснюється зазвичай за допомогою стандартних формалізованих

процедур. Опрацювання інформації зовнішнього середовища часто вимагає нестандартних процедур, оскільки вона є неточною, неповною та має імовірнісний характер.

Інформаційними ресурсами, як і довільними іншими, потрібно управляти. Управління інформаційними ресурсами передбачає зокрема:

- оцінку інформаційних потреб на кожному рівні управління і в межах кожної функції управління;
- раціоналізацію документообігу в організації, стандартизацію типів і форм документів;
- уніфікацію типів даних;
- створення системи управління даними.

Програмні ресурси є засобом реалізації в ІС тих чи інших інформаційних технологій. Зараз немає загальноприйнятого єдиного визначення інформаційних технологій, тому наведемо лише одне з них, яке є достатньо лаконічним і вичерпним, а саме: інформаційна технологія – це система методів і засобів збирання, передавання, накопичення, опрацювання, зберігання, подання та використання інформації.

Базовим складовими інформаційних технологій є:

- технічне забезпечення для збирання, передавання, опрацювання, збереження і представлення даних;
- системне і прикладне програмне забезпечення;
- інформаційні послуги і телекомунікації.

Основною метою ІТ є отримання необхідної інформації відповідної якості на заданому носії.

Інформаційні технології можуть бути реалізовані або в автоматизованому (не паперовому), або в традиційному (паперовому) вигляді. Обсяг автоматизації спосіб використання технічних засобів залежить від характеру кожної конкретної технології. В широкому розумінні автоматизація – це заміна діяльності людини роботою машин. Степінь автоматизації може мінятись в широких межах – від систем, де управління повністю здійснює людина (ручні системи), до систем, де управління здійснюється лише машиною (автоматичні системи).

Автоматизація доцільна, коли:

- фізіологічні та психологічні можливості людини є недостатніми для управління;
- об'єкт управління знаходиться в недосяжному або небезпечному для людини середовищі;
- безпосередня участь людини в управлінні вимагає від неї надзвичайно високої кваліфікації;
- процес, яким управляють, перебуває в критичній або небезпечній фазі.

На завершення наведемо визначення економічної інформаційної системи, яке може виглядати наступним чином: Економічна інформаційна система – це сукупність зовнішніх і внутрішніх потоків прямого і зворотного зв'язку економічного об'єкта, методів, засобів та менеджерів різних рівнів, які беруть участь в процесі опрацювання інформації і прийняття управлінських рішень.

2.3.2 Класифікація інформаційних технологій

Один із способів класифікації інформаційних технологій наведено в табл.2.3.

Табл. 2.3 – Класифікація інформаційних технологій

За охопленням завдань управління	Електронне опрацювання даних Автоматизація функцій управління Підтримка прийняття управлінських рішень Електронний офіс Експертна підтримка
За класом технологічних операцій, що реалізуються	Робота з текстовим редактором Робота з електронними таблицями Робота з системами управління базами даних Робота з графічними об'єктами Мультимедійні системи Гіпертекстові системи
За типом інтерфейсу користувача	Пакетні Діалогові Мережеві
За способом побудови мережі	Локальні Багаторівневі Розподілені
За предметною областю	Бухгалтерський облік Банківська діяльність Податкова діяльність Страхова діяльність Митна діяльність тощо

Основною передумовою організації системи об'єктивного інформаційного забезпечення менеджменту (СО-

ІЗМ) є функціонування системи автоматизованого збирання, опрацювання та зберігання інформації.

Підприємствам, які є ієрархічними структурами, притаманне застосування багаторівневих інтегрованих ІС. При цьому слід мати на увазі, що ієрархічні структури – це структури, які характеризуються багаторівневим управлінням і обмеженими обсягами управління на кожному рівні. Крім цього ІС різних рівнів і ознак у свою чергу можуть поділятися на системи нижчого рівня, так звані підсистеми. Ці підсистеми відрізняються за певними ознаками і відповідають конкретним цілям і завданням управління.

Одною з таких підсистем і є СОІЗМ, а якій використовуються комплекси АРМ для отримання інформації в ритмі виробництва. Важливою функцією цієї системи є забезпечення менеджерів регламентуючою інформацією.

Формування таблиці регламентуючої інформації – важливий етап в організації системи об'єктивного інформаційного забезпечення менеджменту.

Цей процес дуже відповідальний і трудомісткий. Послідовність цього процесу наведено на рис. 2.4.

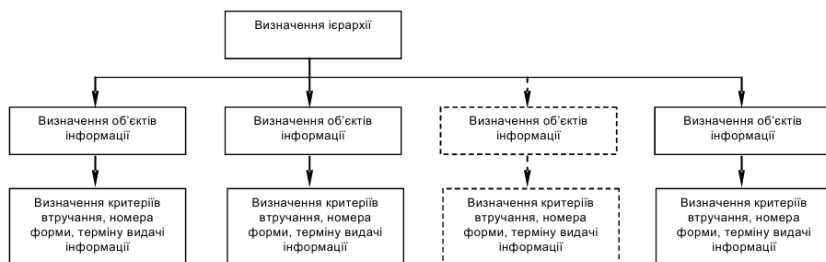


Рис. 2.4. Послідовність процесу формування таблиці регламентуючої інформації

Особливістю використання таблиці регламентуючої інформації є те, що з неї виділяється спеціальна її частина, яка, з одного боку, призначена лише для менеджерів, функції яких пов'язані з конкретним об'єктом управління, з іншого – виділяються об'єкти інформації, які пов'язані з конкретним об'єктом управління.

2.4 Засоби технологічного оснащення ТП

Виходячи зі структури технологічного процесу, можна виділити два напрямки його вдосконалення – вдосконалення допоміжних ходів і вдосконалення робочих ходів. Одночасне вдосконалення допоміжних і робочих ходів можна представити як сукупність дій по цих двох напрямках, тому для елементарного технологічного процесу таке ділення на два напрямки видається цілком обґрунтованим.

Удосконалення допоміжних ходів, пов'язане з рухом виконавчих механізмів, може здійснюватися за наступною схемою. Дії людини можна замінити діями механізмів, потім здійснюється перехід до комплексної механізації, яку в свою чергу змінює автоматизація допоміжних ходів. Одночасно з цим відбувається заміна обладнання на більш продуктивне, прискорюються рухи виконавчих механізмів. Практично будь-який кінематичний рух можна реалізувати за допомогою різних механізмів, автоматизація цих рухів не представляє собою технічних труднощів. Обмеження можуть виникати з економічних міркувань, а також з вимогами надійності або доцільності.

Механізація – заміна ручної праці роботою машин. Дотепер у ряді виробничих процесів ще переважає ручна праця. Механізація їх продовжує залишатися важливим напрямком технічного прогресу.

Автоматизація – вища форма механізації, при якій технологічний процес здійснюється машинами-автоматами, діючи-ми без безпосередньої участі робітників, чий функції зводяться лише до спостереження, контролю і регулюванню. В результаті автоматизації полегшується праця і різко підвищується його продуктивність.

Основними задачами автоматизації є інтенсифікація виробництв на основі впровадження нових досягнень науки та техніки, скорочення числа технологічних переходів, впровадження безперервних схем виробництв, подальший розвиток рівня механізації та автоматизації.

Автоматизація технологічних процесів є найважливішим засобом підвищення продуктивності праці, скорочення витрат матеріалів та енергії, поліпшення якості продукції, впровадження прогресивних методів керування виробництвом і підвищення надійності роботи.

Масштабність задач, що вирішуються промисловістю, потребує створення заводів, цехів з високим ступенем автоматизації виробництва; удосконалення форм планування та керування якістю продукції, технологічними процесами та виробництвом на базі ЕОМ; створення приладів та систем автоматизації на базі традиційних технічних засобів, а також мікропроцесорної техніки.

Розвиток автоматизації підприємств здійснюється в трьох напрямках:

Перший напрямок – розробка приладів та засобів автоматизації.

Другий напрямок – створення систем автоматичного керування та регулювання, в тому числі з використанням мікропроцесорів та мікро – ЕОМ.

Третій напрямок – створення автоматизованих систем керування технологічними процесами з використанням керуючих міні - та мікро - ЕОМ.

На сучасному етапі розвитку промисловості заснованого на безперервності технологічного процесу з використанням основного безупиннодіючого устаткування, є всі передумови для комплексної і повної автоматизації технологічних процесів.

Успішне функціонування технологічних процесів, отримання високої якості можуть бути забезпечені лише при великомасштабному впровадженні автоматизації, при якій функції керування та контролю передаються приладам та автоматичним системам.

Зростання продуктивності праці в промисловості, розробка нових технологій, спрямованих на поліпшення якості і підвищення ефективності виробництва, вимагають відновлення й удосконалювання систем керування на базі новітніх засобів вимірювання і автоматизації.

Будь технологічний процес піддається випадковим впливам середовища, внаслідок чого змінюються його параметри. Тому для правильного протікання процесу необхідно ними управляти. Зазвичай керуючі впливи виробляються за певними законами (правилам), які називаються алгоритмами управління. Керуючі впливи виробляються тільки після прийняття людиною (оператором) або автоматичним пристроєм рішення по управлінню. У автоматичних пристроях воно виробляється на основі заздалегідь розроблених програм, що мають математичний опис, при подачі на вхід інформаційної системи відповідної інформації. *Керуюча інформація* – це певним чином організовані інформаційно – технологічні показники, використовувані для ухвалення рішення. Таким чином, управління забезпечує цілеспрямованість технологічного процесу. У процесі управління досягають стабілізації та оптимізації параметрів технологічного про-

цесу.

Для сучасного виробництва характерна його комп'ютери-зація або електронна автоматизація. Пронизуючи всі етапи створення та виробництва продукту, комп'ютери-зація означає абсолютно новий підхід до організації сучасного технологічного процесу. *Програмне управління* – управління режимом роботи об'єкта за заздалегідь заданим алгоритмом (програми), це є один з видів управління кібернетичною системою; полягає в тому, що об'єкту управління вказується строго певна послідовність дій; зворотний зв'язок при цьому відсутній.

Програмне управління технологічним обладнанням і процесами охоплює управління рухом машин, механізмів, транспортних засобів і зміною параметрів технологічного процесу. До устаткування з програмним управлінням відносять: автоматичні лінії (АЛ); верстати з числовим програмним управлінням (ЧПУ); промислові роботи; автоматизовані системи управління (АСУ); гнучкі виробничі системи; системи автоматизованого проектування (САПР).

Одним з основних напрямків підвищення ефективності суспільного виробництва є автоматизація технологічних процесів на основі широкого використання автоматизованого високопродуктивного обладнання і машин. Автоматизація обладнання не лише сприяє підвищенню продуктивності та якості продукту, але також частково або повністю звільняє людину від непродуктивної і виснажливої праці, залишаючи за ним функції контролю за цим обладнанням і підтримки його працездатності.

Застосування мікропроцесорів та мікро - ЕОМ розширює функціональні можливості обладнання, систем управління, значно підвищує надійність їх роботи та в кінцевому рахунку позитивно відображується на якості продукції, що виготовляється. Впровадження робототехніки дозволяє звести до мінімуму малопродуктивну ручну працю, відкриває можливості для ство-

рення заводів-автоматів. Впровадження сучасної техніки автоматизації виробництв, підвищення ефективності її використання можливі лише за участю висококваліфікованого персоналу, експлуатуючого автоматичні та автоматизовані системи управління, володіючого технічною базою автоматизації, основами розробки та проектування автоматичних та автоматизованих систем управління технологічними процесами в різних галузях промисловості.

Під впливом науково-технічного прогресу технологічні процеси постійно вдосконалюються, освоюються нові, які забезпечують найкращі кінцеві результати. Усе більше застосування знаходять гнучкі і безвідходні технології. Розробка технологічних процесів є одним з етапів підготовки та освоєння виробництва нової техніки.

Технологічний процес – це складний комплекс дій обладнання та виконавців з перетворення вихідних матеріалів в готовий виріб. Цей вплив здійснюють за допомогою технологічного встаткування.

У більшості галузей промисловості багато технологічних процесів типізовані, в них передбачається застосування уніфікованого обладнання і стандартного оснащення.

Спільне використання автоматичного обладнання і оснащення, що забезпечує досягнення основної мети виробництва – випуск продукції, дозволяє застосувати узагальнюючий термін – засоби технологічного оснащення (ЗТО).

ЗТО ТП є одним з головних чинників, що визначають розвиток народного господарства країни. Ефективність його використання безпосередньо впливає на виробництво нових машин для всіх галузей промисловості, сільського господарства тощо, а це характеризує рівень життя суспільства.

Сучасне ЗТО ТП підрозділяється на три основні класи:

1. Найчисленніший і представницький клас складають *верстати з ЧПУ*;

2. Найменш численний, але клас, що найдинамічніше розвивається – *робототехнічні комплекси (РТК), виконані на базі промислових роботів*. При цьому технічні характеристики сучасних промислових роботів досягли таких значень, що вже дозволяють використовувати їх при таких технологічних операціях, які раніше виконувалися виключно за допомогою верстатів з ЧПК.

3. *Виробничі комплекси на базі програмованих логічних контролерів (PLC)*. Вони виконують функції автоматичного керування технологічним процесом. Метою управління є видача сигналів на виконавчі механізми в результаті обробки даних про стан технологічних параметрів, отриманих за допомогою вимірювальних приладів, за певними алгоритмами.

2.4.1 Верстати з ЧПУ

Застосування верстатів з числовим програмним управлінням – одне з найбільш прогресивних напрямків автоматизації металообробки на промислових підприємствах. На верстатах з ЧПУ відбувається автоматичне керування обробкою на верстаті або переміщення робочих органів за заданою програмою.

Числове програмне управління (ЧПУ) – комп'ютеризована система управління, керуюча приводами технологічного обладнання, включаючи верстатне оснащення. Числовим програмним управлінням верстатом, роботом, іншим об'єктом назива-

ється спосіб управління на основі апіорно складеної керуючої програми, основні показники якої задані в цифровій формі.

Керуюча програма являє собою сукупність команд на проблемно-орієнтованій мові програмування, яка відповідає заданим алгоритмам функціонування верстата, робота, іншого об'єкта з виконання технологічних, транспортних, допоміжних операцій.

Система ЧПУ – це сукупність функціонально взаємозалежних і взаємодіючих технічних і програмних засобів, що забезпечують числове програмне управління об'єктом.

Контурне ЧПУ є таким управлінням, при якому переміщення робочих органів об'єкта відбувається по заданій траєкторії і з заданою контурною швидкістю. Рух по заданій траєкторії припускає інтерполяцію, тобто отримання (розрахунок) координат проміжних точок руху робочих органів об'єкта на площині або в просторі. Контурна швидкість представляє собою результуючу швидкість подачі робочого органу об'єкта, вектор якої дорівнює геометричній сумі векторів швидкостей переміщення цього органу уздовж осей координат об'єкта.

Позиційне ЧПУ – це таке управління, при якому метою є переміщення робочих органів об'єкта в задані точки, причому ні траєкторія, ні швидкість такого руху не визначені.

Прямокутні ЧПУ – системи, які забезпечують переміщення за програмою виконавчих органів об'єкта по чергово уздовж його осей координат на задану відстань. Ці системи використовуються на токарних, фрезерних верстатах для обробки східчастих поверхонь, отворів свердління, нарізування різьблення.

Цикловим програмним управлінням верстатом, роботом, іншим об'єктом називається спосіб управління на основі апіорно складеної керуючої програми, основним змістом якої є опис

дискретного процесу з кінцевою безліччю закінчених операцій з встановленням для них відносин прямування та паралелізму. Пристрій циклового програмного управління отримує на вхід сигнали, що свідчать про настання умов зміни операцій, а на виході формує вплив на виконавчі органи об'єкта, які ініціюють виконання операцій.

Все обладнання з програмним управлінням (ПУ), що випускається, спрямоване на забезпечення його максимального використання в гнучких виробничих системах різного призначення і мінімальну участь людини в процесі виробництва. Устаткування з ПУ випускається для реалізації всіх видів технологічних процесів машинобудування.

Верстати з ЧПУ – різновид технологічного обладнання, забезпеченого мікропроцесорним блоком, що забезпечує автоматичне проведення режимів і послідовності обробки за певною програмою, а в міру необхідності – зміну режимів і послідовності обробки при зміні програми обробки в рамках технологічних можливостей устаткування. Верстат – це пристрій, що видає управляючі команди на виконавчі органи об'єкта відповідно до керуючої програми, алгоритмам її обробки та інформації про стан керованого об'єкта.

У порівнянні з автоматичними лініями, що працюють за однією програмою, верстати з ЧПУ універсальні, переналагодження верстатів, зміна програми обробки займає лічені хвилини.

На основі досягнень електроніки, обчислювальної техніки та приладобудування були розроблені принципово нові системи ПУ – системи ЧПУ (СЧПУ), що нині широко використовуються в промисловості. Ці системи називають числовими тому, що величина кожного ходу виконавчого органу (ВО) верстата задається за допомогою числа. Кожній одиниці інформації

відповідає дискретне переміщення ВО на певну величину, званою роздільною здатністю системи ЧПУ або ціною імпульсу.

По виду управління верстати з ПУ підрозділяють на верстати з системами циклового програмного управління (ЦПУ) і верстати з системами числового програмного управління (ЧПУ).

Окрему групу становлять верстати з цифровою індикацією і попереднім набором координат. У таких верстатах є електронний пристрій, якому задаються координати потрібних точок (попереднім набором координат) і хрестовий стіл, забезпечений датчиком положення. Стіл виводиться в необхідну позицію. При цьому на екрані електронного пристрою висвічується кожне миттєве положення столу (цифрова індикація). У таких верстатах можуть використовуватися або попередній набір координат або цифрова індикація.

Структурна схема системи ЧПУ представлена на рис. 2.5, а. Креслення деталі (КД), що підлягає обробці на верстаті з ЧПУ, одночасно надходить у систему підготовки програми (СПП) і систему технологічної підготовки (СТП).

Остання забезпечує СПП даними про розроблюваний технологічний процес, режими роботи і т.д. На підставі цих даних розробляється керуюча програма (КП). Наладчики встановлюють на верстат пристосування, потрібні інструменти згідно з документацією. Установку заготовки і зняття готової деталі здійснює оператор або автоматичний завантажувач.

Зчитуючий пристрій (ЗП) зчитує інформацію з програмоносія. Інформація надходить в пристрій ЧПУ, який видає керуючі команди на цільові механізми (ЦМ) верстата, здійснюють основні і допоміжні рухи циклу обробки. Датчики зворотного зв'язку (ДЗЗ) на основі інформації (фактичне становище, швидкість переміщення виконавчих вузлів, фактичний розмір оброблюваної поверхні, теплові та силові параметри технологічної

системи та ін.) контролюють величину переміщення ЦМ. Верстат містить кілька ЦМ, кожен з яких включає в себе (рис. 2.5, б): двигун (ДВ), що є джерелом енергії; передачу (П), що служить для перетворення енергії та її передачі від двигуна до виконавчого органу (ВО); власне ВО (стіл, санчата, супорт, шпиндель і т.д.), що виконують координатні переміщення циклу.

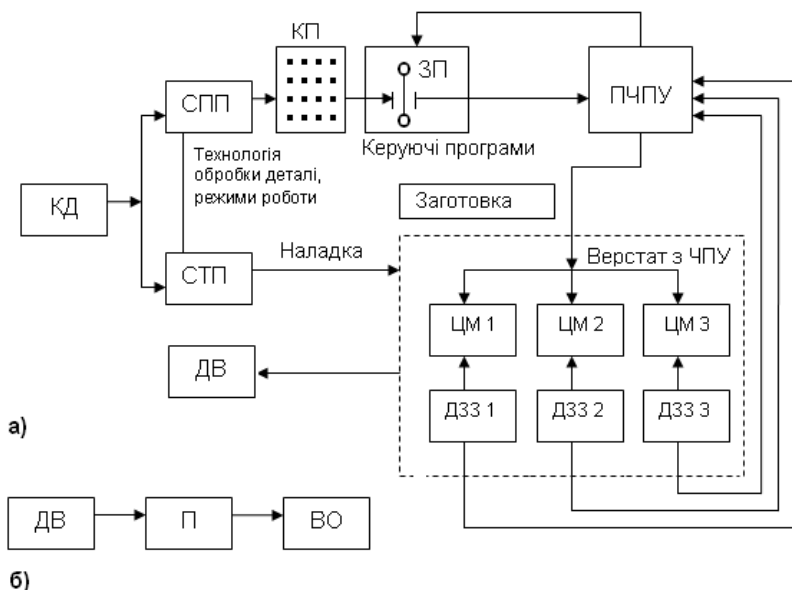


Рис. 2.5. Структурна схема системи ЧПУ (а) та цільового механізму (б)

Система ЧПУ може видозмінюватися залежно від виду програмоносія, способу кодування інформації в УП та методу її передачі в систему ЧПУ. Пристрій ЧПУ розміщують поруч з верстатом (в одному або двох шафах) або безпосередньо на верстаті (в підвісних або стаціонарних пультах управління). Двигуни приводів подач верстатів з ЧПУ, що мають спеціальну конст-

рукцію і працюють з конкретним пристроєм ЧПУ, є складовою частиною системи ЧПУ.

Всі дані, необхідні для обробки заготовки на верстаті ЧПУ, отримуються від УП, яка містить два види інформації – геометричну і технологічну. *Геометрична інформація* – координати опорних точок траєкторії руху інструменту, а *технологічна* – дані про швидкість, подачу, номер інструменту і т.д. КП записують на програмоносій. В оперативних системах ЧПУ програма може вводитися (за допомогою клавіш) безпосередньо на верстаті.

За рівнем технологічних можливостей міжнародною класифікацією системи ЧПУ діляться на наступні класи: NC – системи з покадровим читанням перфострічки протягом циклу обробки кожної заготовки; SNC – системи з одноразовим читанням всієї перфострічки перед обробкою партії однакових заготовок; CNC – системи з вбудованою малою ЕОМ (комп'ютером, мікрокомп'ютером); DNC – системи прямого числового управління групами верстатів від однієї ЕОМ; HNC – оперативні системи з ручним набором програм на пульті управління.

За технологічним призначенням системи ЧПУ підрозділяються на чотири види: позиційні; забезпечуючі прямокутне формоутворення; забезпечуючі прямолінійний формоутворення; забезпечуючі криволінійне формоутворення.

За числом потоків інформації системи ЧПУ діляться на замкнуті, розімкнуті і адаптивні.

Розімкнені системи ЧПУ характеризуються наявністю одного потоку інформації, що надходить зі зчитувального пристрою до ВО верстата. У механізмах подач таких систем використовують крокові двигуни. Крутний момент, створюваний кроковим двигуном, недостатній для приводу механізму подачі, тому зазначений двигун застосовують як задаючий пристрій,

сигнали якого посилюються різними способами, наприклад, за допомогою гідропідсилювача моментів (аксіально-поршневого гідродвигуна), вал якого пов'язаний з ходовим гвинтом приводу подач. У розімкнутій системі немає ДЗЗ і тому відсутня інформація про дійсний стан виконавчих органів верстата.

Замкнені системи ЧПУ характеризуються двома потоками інформації – від зчитувального пристрою і від ДЗЗ. У цих системах неузгодженість між заданими і дійсними величинами переміщення виконавчих органів усувається завдяки наявності зворотного зв'язку.

Адаптивні системи ЧПУ характеризуються трьома потоками інформації:

1. Від зчитувача;
2. Від датчиків зворотного зв'язку;
3. Від датчиків, встановлених на верстаті, промислового робота (ПР) і контролюючих процес обробки за такими параметрами, як знос інструменту, зміна сил різання і тертя, коливання припуску і твердості матеріалу оброблюваної заготовки та ін. Такі системи дозволяють коригувати програму обробки з урахуванням реальних умов різання.

За способом підготовки і введення керуючої програми розрізняють так звані оперативні системи ЧПУ (в цьому випадку керуючу програму готують і редагують безпосередньо на верстаті, в процесі обробки першої деталі з партії чи імітації її обробки) і системи, для яких керуюча програма готується незалежно від місця обробки деталі. Причому незалежна підготовка керуючої програми може виконуватися або за допомогою засобів обчислювальної техніки, що входять до складу систем ЧПУ даного верстата, або поза її (вручну або за допомогою системи автоматизації програмування).

2.4.2 Промисловий робот

В умовах глобалізації, гнучкої автоматизації і вимог виробляти точно до призначеного терміну (just-in-time), потрібно організувати менш істотні витрати на устаткування, ніж потрібно в разі верстатів з ЧПК, які дуже дорогі і мають строго певні функції. Роботи, навпаки, дають гнучкість. На одному і тому ж робочому просторі і при однакових можливостях, якщо не потрібна особлива жорсткість і точність, проводити операції за допомогою роботів виявиться набагато дешевше. У той же час, роботів можна набагато швидше адаптувати до змін у номенклатурі виробів і навіть в технологічних процесах, ніж стаціонарний верстат. Інвестиції окупаються швидше, підвищується гнучкість виробництва, відкривається більше можливостей, є більше свободи для руху вперед. Це основні причини, чому компанії розглядають можливість застосування обробних роботів замість класичних верстатів. Ідея задіяти промислових роботів для задач механообробки дуже приваблива. Але є і не недолік, на відміну від ситуації зі звичайними верстатами з ЧПУ, помилки роботів інтуїтивно зрозуміти набагато важче. Треба враховувати такі речі, як сингулярність, зіткнення, межі обертання в суглобах, зона досяжності, переверот кисті.

Різноманітність складальних з'єднань, високі вимоги до точності при сполученні, необхідність в автоматичному розпізнаванні об'єктів та їх орієнтації в просторі створюють значні труднощі при автоматизації складальних операцій. При цьому чітко простежуються два напрямки автоматизації складання на базі ПР. Перше передбачає створення ГВС, де операції перенесення, фіксації і сполучення здійснюються роботами першого покоління, забезпеченими змінними захватними пристроями і додатковими пристосуваннями. При цьому робоче середовище повинно бути жорстко організованим. Друге передбачає розробку «сенсibiliзованих» і «інтелектуальних» роботів, які швидко пристосовуються до змін робочого середовища, виконуючи фу-

нкції, схожі з людськими діями в подібних ситуаціях. Останній напрям є стратегічним в автоматизації складальних операцій.

Складність вирішуваних завдань у процесі складання, а також наявність безлічі об'єктів і пристосувань пов'язані із застосуванням більш розвиненою інформаційної мережі, ніж у механообробних ГВС. В інформаційній структурі автоматизованого комплексу для складання центральна ЕОМ і інтерфейс зв'язку виконують такі ж функції, що і в обробному комплексі. Відмінності тут полягають у підвищеній потужності цих засобів через зростаючий обсяг інформації.

ЕОМ не тільки забезпечує синхронну роботу в реальному масштабі часу, але також виконує обчислювальні операції для прийняття рішення при розпізнаванні і орієнтації об'єктів. В організації автоматичного складального процесу необхідно усунути вузькі місця, якими є розпізнавання об'єкта, його захват, оптимальне переорієнтування і точне сполучення. Виходячи з вимог до точності та універсальності складальних ПР, створюють інформаційні системи технічного зору, що забезпечують робота властивостями адаптації до об'єкта, а також розробляють датчики тактильної інформації для здійснення точного сполучення деталей.

Істотною відмінною особливістю таких робототехнічних комплексів (РТК) є те, що для розробки керуючих програм не обов'язково знати мову програмування роботів. Система управління промисловими роботами «розуміє» так звичні для програмістів верстатів з ЧПУ CNC-коди. В даний час, в силу поширеності систем з ЧПУ напрацьований величезний технологічний досвід використання 5-координатних машин, є значна кількість програмних пакетів для різних технологічних застосувань. Переважна більшість таких пакетів на виході дають керуючі програми, згенеровані відповідно до набору команд DIN ISO Code (G-Code). Здатність промислових роботів працювати з цими програмами істотно полегшує освоєння нових можливостей РТК

для операторів і технологів, перетворюючи робот, з точки зору оператора або програміста-технолога, по суті у верстат з ЧПУ. Однак, на відміну від верстата з ЧПУ таке використання роботів забезпечує додатковий ряд переваг: комбінування ЧПУ з сенсорикою робота; додаткові функції і команди; гнучкість в установці; прямий інтерфейс з CAD / CAM системами; сплайн інтерполяція; застосування різних компенсаційних модулів та ін.

У сучасному понятті робот являє собою складну автоматичну кібернетичну систему, здатну виконувати різноманітні операції, які стосуються сфері людської діяльності, і поєднує в різних відносинах наслідувальну здатність фізичної та розумової діяльності людини.

Промисловий робот – багаторазово програмований багатофункціональний пристрій, призначений для маніпулювання і транспортування деталей, інструментів, спеціалізованої технологічної оснастки за допомогою програмованих рухів для виконання різноманітних завдань.

Роботи як автомати істотно розрізняються, якщо перед ними стоїть завдання наслідування тій чи іншій стороні діяльності. Нині намітилося кілька напрямків у розвитку роботів. Хоча зараз не представляється можливим встановити суворі кордони, підрозділивши всі роботи на остаточно сформовані групи або класи, проте у відповідності з основними напрямками можна виділити кілька характерних груп:

1. Власне **роботи** – кібернетичні автомати, відрізняються значною мобільністю і різноманітністю виконуваних операцій, які в основному належать до сфери фізичної діяльності людини. Для цієї групи роботів типова наявність автоматичних виконавчих пристроїв.

2. **Керуючі роботи** – здебільшого призначені для вирішення складних обчислювальних та логічних задач. Аналізуючі

блоки цих робіт включають в ряді випадків систему самоорганізації. Часто цій же меті служать спеціальні електронні обчислювальні машини, забезпечені відповідними пристроями для введення програм і механізмами для відпрацювання отриманих команд. Такі пристрої мають елементи для збору або прийому зовнішньої інформації по каналах керування, а також елементи внутрішнього контролю (самоконтролю) по ланцюгах зворотних зв'язків. Обробка інформації, що надійшла по каналах прийому і утримуваної в пам'ятовуючому пристрої, і перетворення її в форму керуючих сигналів здійснюються в блоці перетворення, основою якого є лічильно-вирішувачий пристрій і логічні схеми.

3. Керовані роботи – системи, призначені для виконання за допомогою рухомого автомата операцій на деякому віддаленні від командного пункту, звідки виробляються контроль і управління.

4. Інформаційні роботи – автоматичні мобільні системи, призначені для пошуку, збору, переробки і передачі інформації про стан різноманітних параметрів досліджуваних об'єктів. Інформаційні роботи забезпечуються комплексом різноманітних датчиків, вимірювальними системами, логічними та програмними пристроями, телеапаратурою, каналами зв'язку і засобами просторового переміщення. Вони покликані виконувати широке коло операцій, пов'язаних з пошуком, виявленням, накопиченням, переробкою і передачею інформації; крім цього, інформаційні роботи можуть також виконувати і ряд допоміжних виконавчих функцій.

Обмін інформацією між інформаційним автоматом і людиною, якщо це необхідно, здійснюється за порівняно невеликим числом каналів. Інформація від людини до автомата зазвичай надходить шляхом рухових актів: натискання кнопки, клавіші, переміщення педалей, важелів, обертання рульового колеса і т.д. Розпочато роботи по введенню інформації в системи управління роботів і маніпуляторів шляхом мовних команд і біопо-

тенціалів (біоуправління). Що стосується інформації, що надходить від машини до людини, то вона має форму звукових і світлових сигналів (включення табло, підпис, цифрова індикація, телебачення та ін.). Проте можливості зв'язку людини з роботом більш великі, ніж це має місце зараз. Крім зору і слуху, людина володіє дотиком, нюхом, смаковими відчуттями, а також пропріоцептивною (м'язовою) чутливістю. Всі ці входи живої системи людини можуть бути використані для сприйняття інформації.

Розглянемо методи можливої обробки, сортування отриманої інформації, а також відбору з усієї сукупності тільки корисної інформації.

Завдання вирішується шляхом спільного використання в інформаційних автоматах асоціативних і періодичних запам'ятовуючих пристроїв. Такі автомати дозволяють проводити сортування статистичної інформації з вельми великою швидкістю.

Методи швидкого сортування інформації в оперативному запам'ятовуючому пристрої (ОЗП) з вибіркою за адресою або в асоціативному ЗП (АЗП) вже відомі. Можливо також здійснювати сортування в ОЗП методами деревовидного сортування, методом вставок і його різновидами і методом злиття. У АЗП методи сортування визначаються конструкціями зчитувальних пристроїв (ЗчП). Технічна реалізація цих методів сортування не може мати місце в наступних випадках:

- 1) ЗП видає два сигнали, тобто коли порівняння з асоціативною ознакою може мати або не мати місця;
- 2) виробляються три сигнали – немає порівняння з асоціативною ознакою, мається одне порівняння і кілька порівнянь;
- 3) ЗП визначає у всіх елементах, рівних асоціативній ознаці, маскуємі розряди з однаковими значеннями (0 або 1).

У цих пристроях через практично обмежену ємність оперативних ЗП неможливо вести сортування великих масивів інформації.

Поєднання періодичного та АЗП робить можливим збільшення сортованої інформації. У цьому випадку програма опитування АЗП формується командами, що надходять з періодичного ЗП.

Знаючи ієрархічну організацію системи управління робота, можна сказати, що мікроЕОМ достатня для нього, якщо передбачаються лише виконавчий і тактичний рівні управління. Для робота ж, що має стратегічний рівень в системі управління, потрібна міні-ЕОМ, а для володіє вищим рівнем потрібна велика ЕОМ або високопродуктивна міні-ЕОМ. Втім можливе включення до складу складної системи управління робота декількох ЕОМ, що доповнюють один одного. Наприклад, у робота третього покоління міні-ЕОМ може реалізовувати тільки вищий рівень ієрархії в системі управління, а мікроЕОМ – стратегічний рівень, мікропроцесори – тактичний і виконавчий рівні.

Більш наочне уявлення про взаємодію рівнів системи управління робота, про зміст розв'язуваних кожним з них завдань і про ті технічні (апаратні) засоби, за допомогою яких ці рішення здійснюються, може дати таблиця (рис. 2.6).

Якщо говорити про перспективи використання обчислювальної техніки в роботобудуванні, то найбільш імовірним можна вважати широке використання мікропроцесорних систем, так як кілька мікропроцесорів цілком справляються з обслуговуванням виконавчого рівня системи управління (1-2 мікропроцесора на кожен привід маніпулятора), а ще кілька мікропроцесорів можуть забезпечити функціонування тактичного рівня. Для того щоб система управління робота і на стратегічному рівні реалізовувалася на мікропроцесорах, з них потрібно збирати досить складну систему. Проте це вигідно робити для серійних зразків

промислових роботів, що випускаються великими партіями, оскільки в цьому випадку мікропроцесорна система, що збирається все ж дешевша, ніж та що виконує аналогічні операції мікроЕОМ. Для одиничних зразків роботів зі стратегічним рівнем управління доцільно застосування універсальних мікроЕОМ з відповідним набором програм.

Ієрархії	Задачі	Засоби
Штучного інтелекту Команди ↓ ↑ Інформація	Розпізнання оточуючої обстановки, створення моделі зовнішнього середовища, прийняття рішення на виконання операції, самонавчання в процесі виконання завдання	ЦОМ, що реалізує штучний інтелект, апаратура сприйняття зовнішнього середовища
Стратегічний Команди ↓ ↑ Інформація	Розчленування операцій на елементарні складові рухи маніпулятора, обчислення траєкторії, випрацювання керуючих сигналів для тактичного рівня	ЦОМ та пристрої вводу - виводу інформації
Тактичний Команди ↓ ↑ Інформація	Перерахунок траєкторії маніпулятора у рухах окремих ланок, розподіл сигналів керування за ступенями рухливості маніпулятора	ЕОМ чи спецобчислювач, чи програмний пристрій та пристрої вводу-виводу інформації
Виконавчий Команди ↓ ↑ Інформація	Управління рухами за кожною ступінню рухливості, тобто приводами всіх ланок	Слідкуючі системи, приводи та датчики зворотнього зв'язку

Рис. 2.6. Ієрархічна структура системи управління робота

2.4.3 Програмовані контролери і мікроконтролери в автоматизованих системах управління

На сучасному етапі створення автоматичних і автоматизованих систем здійснюється у двох напрямках: перший із них пов'язаний з використанням центральних управляючих мікроЕОМ, другий – це використання в кожному контурі управління мікроконтролера. У мікроконтролерних системах центральна ЕОМ або відсутня зовсім, або вводиться для передавання їй функцій супервізора.

В даний час автоматизація більшості технологічних процесів здійснюється на базі універсальних мікропроцесорних контролерних засобів, які отримали назву програмно-технічних комплексів (ПТК).

Програмно-технічні комплекси являють собою сукупність мікропроцесорних засобів автоматизації (мікропроцесорних контролерів, пристроїв зв'язку з об'єктом (ПЗО), дисплейних пультів оператора і серверів різного призначення, промислових мереж, які дозволяють зв'язати перераховані компоненти, програмного забезпечення контролерів і дисплейних пультів оператора. ПТК призначені, в першу чергу, для створення розподілених систем управління технологічними процесами різної інформаційної потужності (від десятків вхідних / вихідних сигналів до сотні тисяч) в самих різних галузях промисловості.

Всі універсальні мікропроцесорні ПТК поділяються на класи, кожен з яких розрахований на певний набір виконуваних функцій і відповідний обсяг одержуваної і оброблюваної інформації про об'єкт управління.

Теорія перемикальних схем, яка є основою бінарного управління, використовується в автоматизації та багатьох інших галузях. Ця теорія покладена в основу цифрових ЕОМ.

На даному етапі розвитку мікроелектронних технологій логічні елементи реалізуються в основному на інтегральних схемах (мікросхемах).

Мікропроцесорна техніка на сучасному етапі є основним засобом реалізації АСУ.

Сучасна тенденція – інтегрувати всі необхідні функціональні блоки в одну інтегральну схему, зазвичай звану схемою попередньої обробки сигналу первинного перетворювача / датчика (формувачем) (рис. 2.7). Формувач сигналу – це спеціалізована мікросхема (ASIC), яка здійснює компенсацію, посилення і калібрування вхідного сигналу, як правило, в заданому діапазоні температур. Залежно від складності формувача сигналу в ньому є всі або деякі з наступних блоків: схема збудження первинного перетворювача, цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення, аналого-цифровий перетворювач (АЦП), пам'ять, мультиплексор, ЦПУ, датчик і цифровий інтерфейс.

За сферою застосування, структурною організацією, розрядністю, набором периферійних пристроїв, системою команд і іншим ознакам МК згруповані в сімейства. До поширених представників різних сімейств слід віднести 32-розрядні мікроконтролери фірми Motorola, 16-розрядні мікроконтролери MCS-96 Intel, RISC- мікроконтролери AVR фірми Atmel, PIC- контролери фірми MicroChip, мікроконтролери загального призначення SAB фірми Siemens.

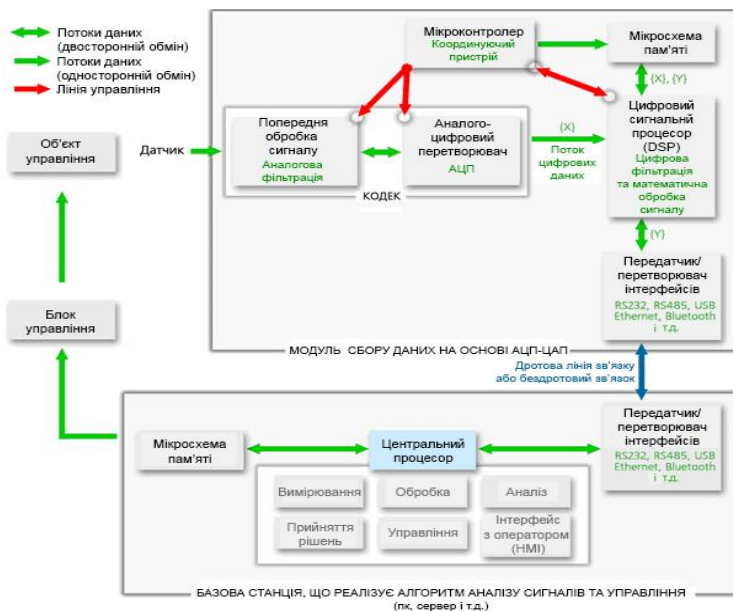


Рис. 2.7. Схема попередньої обробки сигналу первинного перетворювача / датчика

Мікроконтролери, як і обчислювальні машини інших класів, реалізуються на основі гарвардської або прінстонської архітектури. У мікроконтролерах, виконаних на основі гарвардської архітектури, програми і дані розташовуються в логічно незалежних блоках пам'яті з різними методами доступу. У мікроконтролерах, виконаних на основі прінстонської архітектури, програми і дані можуть розташовуватися в загальному блоці пам'яті; для звернення використовується єдиний метод доступу.

До числа типових, найчастіше інтегрованих на кристал МК периферійних пристроїв, належать наступні блоки:

- паралельні цифрові порти введення-виведення, що

здійснюють обмін даними;

- таймери-лічильники, що здійснюють формування часових інтервалів і виконують підрахунок логічних подій;
- вузли апаратної обробки подій з прив'язкою за часом;
- цифро-аналогові і аналого-цифрові перетворювачі, які здійснюють виведення і введення неперервних сигналів;
- послідовні порти введення-виведення, які здійснюють обмін даними в розподілених системах;
- блоки обробки переривань;
- засоби підвищення надійності функціонування.

Кожний МК має певну систему команд, що характеризується списком команд і їх форматом. Список команд є набором операцій, виконання яких передбачене на процесорі цього МК.

2.4.4 Контролери

Вузли нижнього рівня АСУ ТП найчастіше реалізують за допомогою пристроїв із загальною назвою програмовані контролери (ПК).

Завдання, що вирішуються контролерами на цьому рівні:

- локальне управління об'єктом (наприклад, підтримка температури на заданому рівні);
- збирання даних (наприклад, опитування декількох датчиків температури і передавання повідомлення про параметри в цифровій формі системі верхнього рівня).

Функціональне значення програмованого контролера об'єднує чотири класи технічних засобів автоматизації:

- промисловий комп'ютер;
- програмований (іноді промисловий) контролер;
- програмований логічний контролер;
- контролер збору даних ПЗО в розподілених системах.

Для цих засобів використовується аббревіатура ПК, і вони мають однакові особливості:

- засоби виконані на основі мікропроцесорної елементної бази і є мікропроцесорними системами;

- засоби мають у своєму складі (чи можуть бути оснащені) пристроями зв'язку з об'єктом, які виконують функції гальванічної розв'язки джерел дискретного, аналогового сигналів, кінцевого силового устаткування і пристроїв введення/виведення контролера, приведення меж шкали неперервного сигналу до стандартного діапазону вимірювального каналу, попередньої низькочастотної фільтрації;

- засоби мають конструктивне спеціальне виконання розміщення плат на спеціальних шасі, покриття плат спеціальними складами, застосування пило - і вологонепроникних корпусів, розрахованих на внутрішній тиск і т.д.

2.4.4.1 Контролер на базі персонального комп'ютера (PC)

Цей напрямок істотно розвинувся останнім часом, що пояснюється, в першу чергу, наступними причинами:

- підвищенням надійності PC;
- наявністю безлічі модифікацій персональних комп'ютерів в звичайному і промисловому виконанні;
- використанні відкритої архітектури;
- легкості підключення будь-яких блоків вводу / виводу (модулів ПЗО), що випускаються третіми фірмами;
- можливістю використання широкої номенклатури на-працьованого програмного забезпечення (операційних систем реального часу, баз даних, пакетів прикладних програм контролю і управління).

Контролери на базі PC, як правило, використовують для управління невеликими замкнутими об'єктами у промисловості, в спеціалізованих системах автоматизації в медицині, наукових лабораторіях, засобах комунікації. Загальне число входів / виходів такого контролера зазвичай не перевершує декількох десятків, а набір функцій передбачає складну обробку вимірювальної інформації з розрахунком декількох керуючих впливів. Рациональну область застосування контролерів на базі PC можна окреслити наступними умовами:

- виконується великий обсяг обчислень за досить малий інтервал часу при невеликій кількості входів і виходів об'єкта управління (необхідна велика обчислювальна потужність);
- засоби автоматизації працюють у навколишньому середовищі, що не надто відрізняється від умов роботи офісних

персональних комп'ютерів;

- реалізовані контролером функції доцільно (в силу їх нестандартності) програмувати не на одній із спеціальних технологічних мов, а на звичайній мові програмування високого рівня, типу C ++, Pascal та ін .;

- практично не потрібна потужна апаратна підтримка роботи в критичних умовах, яка забезпечується звичайними контролерами. До функцій такої підтримки відносяться: глибока діагностика роботи обчислювальних пристроїв, заходи автоматичного резервування, у тому числі усунення несправностей без зупинки роботи контролера, модифікація програмних компонентів під час роботи системи автоматизації і т.д.

Промисловий комп'ютер – це Windows-сумісний комп'ютер в промисловому виконанні. Містить повний набір засобів людино-машинного інтерфейсу, але дисплеї, клавіатури, вінчестери, теж мають спеціальне виконання. Часто зустрічається щитовий варіант виконання.

Універсальний програмований контролер – це мікропроцесорна система, потужність якої практично не відрізняється від потужності промислового комп'ютера. Проте, якщо для останнього основною була функція людино-машинного інтерфейсу, то контролер орієнтований в основному на роботу в якості локального вузла збирання і передавання даних в розподіленій мережі в реальному масштабі часу або на локальне управління об'єктом.

З функціональної точки зору вироби цих двох класів об'єднуює наявність відкритого програмного забезпечення.

2.4.4.2 Програмований логічний контролер

Програмований логічний контролер (ПЛК) – це мікропроцесорна система спеціального призначення з проблемно-орієнтованим програмним забезпеченням для реалізації алгоритмів логічного управління і/або замкнених систем автоматичного управління у сфері промислової автоматики.

ПЛК відрізняються від спеціалізованих вбудованих мікропроцесорних контролерів універсальністю структури.

Контролер збору даних є мікропроцесорною системою, призначеною тільки для збору інформації. Ці контролери виконують функції перетворення сигналів групи первинних датчиків в цифровий код і передавання отриманих даних пристрою верхнього рівня, використовуючи один із протоколів локальних промислових мереж.

Програмне забезпечення двох останніх типів систем не є відкритим.

Структура ПЛК, під'єднаного до об'єкта управління, показана на рис. 2.8.

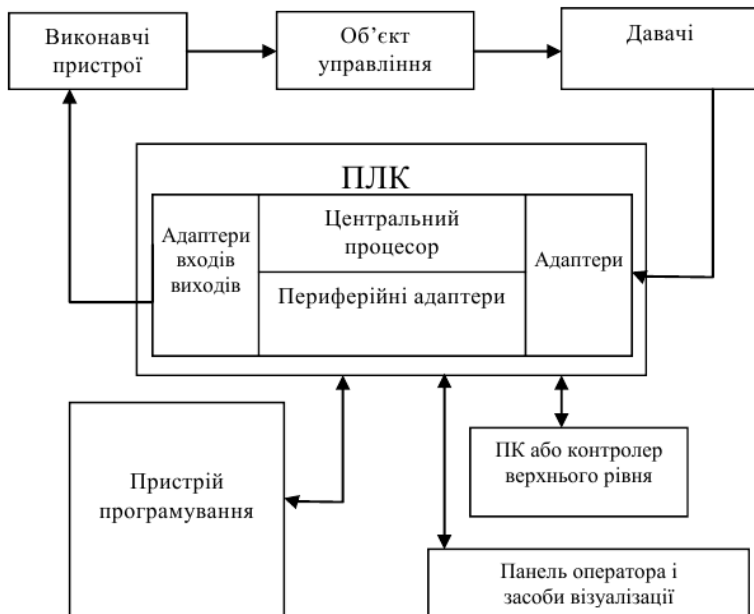


Рис. 2.8. Програмований логічний контролер у системі управління

Структура ПЛК: центральний процесор (який включає мікропроцесор), пам'ять програм і пам'ять даних, магістраль сполучення з локальними модулями введення/виведення, адаптери зв'язку з віддаленими модулями ПЗО, адаптери зв'язку з периферійним сервісним обладнанням (пульт оператора, дисплеї, друкуючий пристрій). Локальними модулями ПЗО називають модулі, конструктивно розміщені в одному крейті з платами ЦП і пам'яті ПЛК.

Внутрішня структура контролерів – магістральна, тобто до внутрішньо-системної шини підключається процесор, пристрої оперативної та постійної пам'яті, зовнішні пристрої, засоби

оперативного управління, пристрої цифрового зв'язку та пристрої зв'язку з об'єктом.

2.4.4.3 Мережевий комплекс контролерів (PLC, NETWORK).

Мережеві ПТК найширше застосовуються для управління виробничими процесами в усіх галузях промисловості. Мінімальний склад даного класу ПТК повинен мати наступні компоненти:

- набір контролерів;
- кілька дисплейних робочих станцій операторів;
- системну (промислову) мережу, що з'єднує контролери між собою і контролери з робочими станціями.

Контролери кожного мережевого комплексу, як правило, мають ряд модифікацій, що відрізняються один від одного швидкодією, об'ємом пам'яті, можливостями резервування, здатністю працювати в різних умовах навколишнього середовища, числом каналів вводу / виводу. Це полегшує використання мережевого комплексу для різноманітних технологічних об'єктів, оскільки дозволяє найбільш точно підібрати контролери під окремі елементи об'єкта, що автоматизується і різні функції контролю і управління.

В якості дисплейних робочих станцій (пультів оператора) майже завжди використовуються персональні комп'ютери у звичайному або промисловому виконанні, здебільшого із двома типами клавіатур (традиційною алфавітно-цифровою та спеціальною функціональною), і оснащені одним або декількома моніторами, які мають великий екран.

Промислова мережа може мати різну структуру: шину, кільце, зірку; вона часто підрозділяється на сегменти, пов'язані між собою повторювачами і маршрутизаторами. До передачі повідомлень пред'являються жорсткі вимоги: вони гарантовано повинні доставлятися адресату, а для повідомлень вищого пріоритету, наприклад, що попереджають про аварії, також слід забезпечити зазначений термін передачі повідомлень.

У цьому класі ПТК виділяють телемеханічний тип мережевого комплексу контролерів, призначений для автоматизації об'єктів, розподілених на великій області простору.

Промислова мережа з характерною структурою і особливі фізичні канали зв'язку (радіоканали, виділені телефонні лінії, оптоволоконні кабелі) дозволяють інтегрувати вузли об'єкта, віддалені один від одного на багато десятків кілометрів, в єдину систему автоматизації.

Розглянутий клас мережевих комплексів контролерів має верхні обмеження як за складності виконуваних функцій (вимірювання, контролю, обліку, регулювання і блокування), так і за обсягом автоматизуємого об'єкта (в межах тисяч вимірюваних і контрольованих величин).

Найчастіше мережеві комплекси застосовуються на рівні цехів машинобудівних заводів, агрегатів нафтопереробних, нафтохімічних і хімічних виробництв, а також цехів підприємств харчової промисловості. Телемеханічні мережеві комплекси контролерів використовуються для управління газо- і нафтопроводами, електричними мережами, транспортними системами.

Одна з найпростіших і популярних структур ПТК представлена на рис. 2.9. Усі функціональні можливості системи чітко розділені на два рівні.

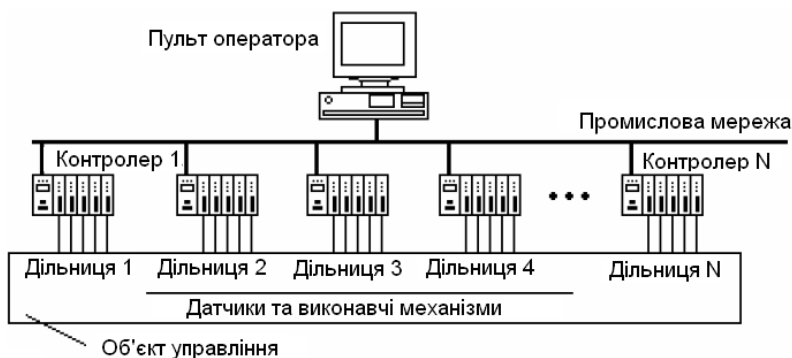


Рис. 2.9. Структура ПТК

Перший рівень складають контролери, другий – пульт оператора, який може бути представлений робочою станцією або промисловим комп'ютером.

Рівень контролерів в такій системі виконує збір сигналів від датчиків, встановлених на об'єкті управління; попередню обробку сигналів (фільтрацію і масштабування); реалізацію алгоритмів керування і формування керуючих сигналів на виконавчі механізми об'єкта управління; передача і прийом інформації з промислової мережі.

Пульт оператора формує мережеві запити до контролерів нижнього рівня, отримує від них оперативну інформацію про хід технологічного процесу, відображає на екрані монітора хід технологічного процесу в зручному для оператора вигляді, здійснює довготривале зберігання динамічної інформації (ведення архіву) про хід процесу, проводить корекцію необхідних параметрів алгоритмів керування і уставок регуляторів в контролерах нижнього рівня.

Збільшення інформаційної потужності (кількості вхідних / вихідних змінних) об'єкта управління, розширення кола за-

вдань, що вирішуються на верхньому рівні управління, підвищення надійнісних показників призводять до появи більш складних структур програмно-технічних комплексів (рис. 2.10).

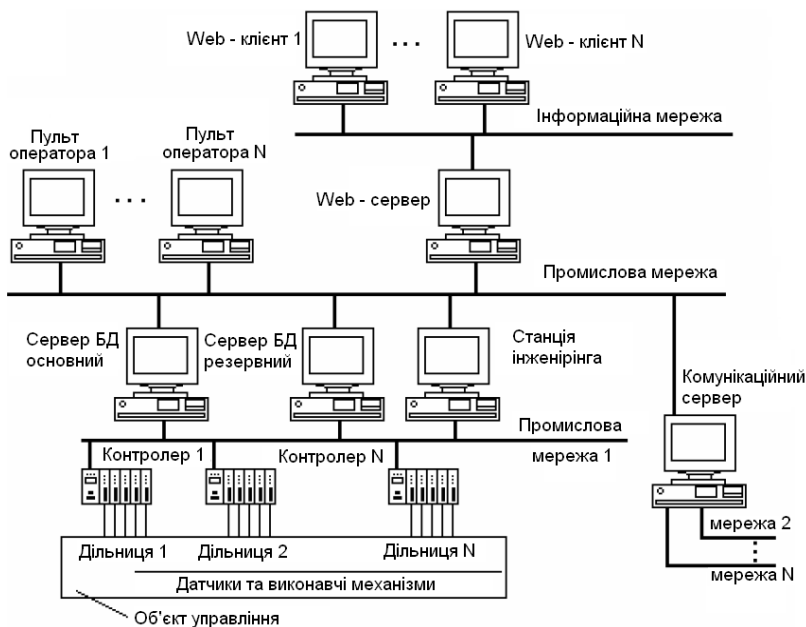


Рис. 2.10. Структура ПТК

Більшість серверів і робочих станцій функціонують під управлінням ОС Windows NT / 2000 / XP. Деякі технології Microsoft вже зараз стали промисловим стандартом.

Використання архітектури «Клієнт-сервер» дозволяє підвищити ефективність і швидкість роботи всієї системи, підвищити надійність і живучість системи за рахунок резервування

серверів, робочих станцій, територіальним розподілом вирішуваних завдань.

Сервери, як правило, виконуються на базі промислових комп'ютерів і є резервуваними. Найменування серверів в різних ПТК різняться: сервер бази даних реального часу, сервер оперативної та архівної бази даних, сервер вводу-виводу і ін. Основні функції:

- збір, обробка оперативних даних від пристроїв зв'язку з об'єктом і контролерів;
- передача команд управління контролерам з верхнього рівня управління;
- зберігання і відображення інформації про задані змінних;
- надання необхідної інформації клієнтських робочих станцій;
- архівація трендів, друкованих документів і протоколів подій.

Сучасні ПТК, як правило, включають станції інжинірингу, виконаних на базі персональних комп'ютерів в офісному виконанні. З їх допомогою здійснюється інженерне обслуговування контролерів: програмування, налагодження, настройка. У деяких ПТК станції інжинірингу дозволяють проводити також інженерне обслуговування робочих станцій.

Ще одна сторона сучасних ПТК пов'язана з активним проникненням Internet-технологій на рівень промислової автоматизації. Сьогодні всі провідні виробники інструментального програмного забезпечення для систем управління технологічними процесами, як зарубіжні, так і вітчизняні, вбудовують підтримку дані технології в свої продукти.

Найбільш широким застосуванням Internet-технології в АСУ ТП є публікація на Web-серверах інформації про хід ТП і всіляких зведених звітів. Web-сервери мають можливість взаємодіяти з сервером БД, який зберігає необхідну інформацію про процес. Це дозволяє клієнту через браузер (Internet-оглядач) робити необхідні запити до бази даних. Такий підхід до того ж мінімізує витрати, так як не вимагає зі сторони клієнта установки якого б то не було додаткового програмного забезпечення, крім звичайних програм-браузерів (Internet Explorer, Netscape Navigator та ін.).

Гнучкість логічної і фізичної архітектури керуючих контролерів дозволяє організувати гнучку схему управління процесом. Управляючі контролери можуть нести основне навантаження з управління процесом, видаючи на верхній рівень тільки «довідкову» інформацію, а можуть бути лише передавальною ланкою між комп'ютером і конкретними елементами управління технологічним процесом. Сучасні керуючі контролери здатні взяти на себе управління яким завгодно за величиною процесом, з будь-якої необхідної швидкістю і точністю.

Особливістю апаратно-програмних засобів «контролерного» рівня управління полягають у пред'явленні жорстких вимог до часу їх реакції на зміну даних процесу, які надходять від датчиків, та видачі управляючих дій на виконавчі механізми. Тобто вони повинні функціонувати в реальному для процесу часі.

У системах управління контролери повинні обмінюватись даними процесу з периферійними пристроями вводу/виводу, іншими контролерами, програматорами, засобами людино-машинного інтерфейсу, а в деяких випадках – і з ПТЗ рівня АСУП.

Вимоги до реального часу обміну даними процесу між контролерами і датчиками та виконавчими механізмами, які

мають цифровий інтерфейс підключення, а також віддаленими модулями вводу/виводу (Remote I/O або Distributed I/O) такі самі, як до локальних засобів вводу/виводу. Для цього типу зв'язку характерні такі особливості:

- циклічне (періодичне) відновлення даних на читання та запис;
- забезпечення реального часу;
- можливість прив'язки циклу мережі до циклу контролера;
- можливість гарячого підключення засобів.

Цикл мережі, тобто повний цикл опитування та відновлення інформації всіх засобів вводу/виводу, може проходити незалежно від циклу контролера, оскільки обмін даними між мережею і програмою контролера, як правило, проводиться через буфер обміну. Такий підхід максимально продуктивний, однак не завжди задовольняє вимоги процесу. Для деяких завдань необхідна чітка синхронізація робочих циклів мережі і контролера. Тобто на початку циклу мережі опитуються всі засоби вводу, а в кінці відновлюються дані всіх засобів виводу.

Для багатьох процесів управління принципово є можливість заміни або підключення нових віддалених засобів вводу/виводу в період функціонування мережі, так звана «гаряча заміна».

При координації роботи декількох контролерів (горизонтальна інтеграція), необхідно побудувати канал зв'язку між ними з такими особливостями комунікаційного обміну:

- наявність загальної бази даних процесу, яка циклічно (періодично) оновлюється;

- обмін даними процесу та повідомленнями за запитом;
- наявність реального часу.

Наявність загальної бази даних процесу або мережних змінних процесу необхідна у випадку, коли одні і ті ж дані використовуються багатьма контролерами. Тобто дані процесу, які є джерелом інформації для одного контролера, потрібні багатьом іншим контролерам цієї системи. У випадку, коли дані необхідно відіслати тільки одному вузлу і лише при певних подіях, є доцільним організовувати обмін даними за запитом.

В організації обміну інформацією між контролерами окремо слід виділити системи з «гарячим» резервуванням. У цьому випадку окремий фізичний канал мережі може виділятися для обміну контекстом завдання між основним і резервним процесорними модулями. Інший, спільний для обох процесорів, канал використовується для зв'язку з віддаленими I/O.

Інтерфейсний зв'язок між контролером і підсистемою введення/виведення реалізується за допомогою інтерфейсного модуля, що підтримує один з комунікаційних протоколів: Profibus DP, Modbus RTU, Modbus, CAN, DeviceNet, ControNet і т. п.

Запитання для самоперевірки:

1. Яка роль інформації в управлінні підприємством?
2. Які основні напрямки проектування ІС?
3. Поясніть підходи до класифікації ІС?
4. Які основні етапи проектування ІС?
5. Опишіть структуру ІС сучасного промислового підприємства.
6. Дайте визначення технологічного процесу.
7. Ознаки технологічного процесу.
8. Наведіть основні напрямки вдосконалення ТП.
9. Що таке програмне управління, числове програмне управління?
10. Наведіть основні класи сучасного ТО ТП.
11. Структура стандартних програмованих логічних пристроїв.
12. Структура та функції мікроконтролера в автоматизованих системах.
13. Периферійні пристрої мікроконтролера.
14. Програмовані контролери та їх функції.
15. Функціональне значення програмованого контролера
16. Що таке система ЧПУ? Наведіть основні види ЧПУ.

3. ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Конструктивно-технологічні особливості сучасних засобів автоматизації

Основні технологічні задачі виробництва технічних засобів автоматизації (ТЗА) можуть бути сформульовані тільки на основі їхнього конструктивно-технологічного аналізу.

Електронні апарати являють собою сукупність елементів, об'єднаних у складальні одиниці і пристрої призначені для перетворення та обробки електромагнітних сигналів у діапазоні частот від інфранизьких до надвисоких (НВЧ). Елементи, розраховані на спільну роботу в ТЗА, розрізняють за функціональними, фізичними, конструктивно-технологічними ознаками і типами зв'язків. За конструктивно-технологічними ознаками елементи ТЗА поділяють на дискретні й інтегральні, котрі поєднують у складальні одиниці, що виконують елементарні дії (підсилювач, генератор, дешифратор, лічильник і т.д.)

Пристрої, що складають ТЗА (пристрої керування, спряжування, перетворювачі аналог-код та ін.), мають певне функціональне призначення. Наприклад, радіопередавальні пристрої представляють собою автономну частину ТЗА. Конструктивно-технологічні вимоги, пред'явлювані до них, включають вимоги по масі, габаритним розмірам, формі і т.д. Істотним також є забезпечення тепловідведення, герметизації, вологозахисту, амортизації, керування, ремонту і захисту персоналу від високих напруг і рентгенівського випромінювання.

Важливим фактором, що визначає конструктивно-технологічні особливості будь-яких ТЗА, є їхній робочий діапазон частот. У залежності від діапазону частот пристрою висуваються вимоги до його конструктивного оформлення і технології

виготовлення. Зі зростанням частот підвищуються необхідні точність виготовлення, якість обробки деталей, чистота застосовуваних матеріалів і т.ін. У залежності від діапазону частот змінюються і пасивні елементи, що використовуються в ТЗА. У діапазоні високих частот (ВЧ) використовують індуктивності та ємності зі зосередженими параметрами, виготовлювані за будь-якою технологією, а в діапазоні НВЧ застосовують елементи з розподіленими параметрами, наприклад двопроводові смужкові лінії і коаксіальні резонатори.

Так, основні особливості діапазону НВЧ, що визначають єдиний підхід до конструювання пристроїв НВЧ, пов'язані з тим, що довжина хвилі електромагнітного сигналу, як правило, порівнянна або набагато менше розмірів досліджуваного об'єкта. Це визначає принципові конструктивні і технологічні особливості НВЧ-елементів ТЗА і відрізняє фізику їхньої роботи від аналогічних радіо- і низькочастотних пристроїв. У НВЧ діапазоні має місце наступне:

а) втрачають фізичний зміст звичайні елементи зі зосередженими параметрами LCR, а усі НВЧ-пристрої є пристроями з розподіленими параметрами;

б) конструкції ліній передач строго визначаються фізичними процесами передавання НВЧ-енергії і мають свої особливості для кожного піддіапазону частот;

в) електричні струми протікають у дуже тонкому зовнішньому шарі металевих провідників. Це явище поверхневого ефекту накладає тверді обмеження на чистоту обробки струмонесучих поверхонь, на вибір захисних покриттів. З'являється можливість застосування технології виготовлення струмонесучих провідників шляхом металізації поверхні діелектричних або керамічних деталей;

г) через велику інерцію електронів і тривалість рекомбі-

нації вільних носіїв у НВЧ-діапазоні непридатні звичайні і напівпровідникові прилади;

д) параметри і властивості матеріалів (діелектриків, магнітодіелектриків і провідників) у НВЧ-діапазоні істотно відрізняються від їхніх номінальних значень.

Усе це визначає специфіку конструювання і виготовлення НВЧ-пристроїв, яка полягає у жорсткій залежності їхніх радіотехнічних характеристик від параметрів самої конструкції (форми, розмірів) і радіофізичних властивостей матеріалів (виду обробки струмонесучих поверхонь, використовуваних покриттів і т.д.). У радіочастотних ТЗА ці залежності виявляються в значно меншому ступені, а в НЧ-апаратурі практично відсутні.

При конструктивно-технологічному аналізі необхідно враховувати як призначення ТЗА, так і умови експлуатації. Розмаїтість і складність виконуваних функцій і умов роботи в значній мірі визначають вимоги до її конструкції й істотно впливають на вибір технології виготовлення деталей і складальних одиниць.

Необхідно враховувати також збурювальні впливи, їхні сполучення, діапазони змінень і т. ін. Усілякі комбінації електромагнітних, теплових, радіаційних, віброакустичних та інших впливів на апаратуру повинні бути обов'язково прийняті до уваги при проектуванні й оптимізації технологічних процесів (ТП) її виготовлення.

Об'єктивною тенденцією розвитку та вдосконалення ТЗА є постійне підвищення її складності, що пояснюється розширенням кола розв'язуваних задач при одночасному підвищенні вимог до ефективності роботи. Ускладнення схемних і конструкторських рішень, функціональних зв'язків разом зі значним збільшенням кількості елементів в ТЗА створює великі труднощі при їхньому виробництві, особливо при складанні та монтажі, а

також налагодженні і регулюванні.

Конструктивно-технологічні особливості ТЗА включають функціонально-вузловий принцип конструювання, технологічність, масогабаритні показники, ремонтпридатність, захист від зовнішніх впливів. У поняття надійність функціонування входять: імовірність безвідмовної роботи, середній час напруцювання на відмову, середній час відновлення працездатності, довговічність та ін. Специфічні умови забезпечення високої надійності ТЗА і заданих характеристик в умовах експлуатації обумовлюють високі вимоги до якості використаних матеріалів, устаткування, а також до ТП виготовлення ТЗА.

Крім того, виробництво ТЗА повинне бути економічно ефективним. При проектуванні ТП варто передбачати скорочення тривалості й трудомісткості етапу підготовки виробництва, капітальних витрат, чисельності складних і трудомістких операцій, використання мінімальної кількості одиниць устаткування, максимальної кількості стандартних, уніфікованих і типових складальних одиниць, функціональних вузлів ТЗА.

В даний час основними напрямками розвитку ТЗА, що дозволяють вирішувати задачі зменшення габаритів і маси апаратури, підвищення її надійності і технологічності, є мікромініатюризація апаратури, підвищення ступеня інтеграції і комплексний підхід до розробки, конструювання і технології виробництва ТЗА.

В умовах інтегральної мікроелектроніки необхідно використовувати ІС і великі інтегральні мікросхеми (ВІС), застосовувати групові методи виготовлення, машинні методи проектування ТП виготовлення і контролю.

Функціональна мікроелектроніка заснована на безпосередньому використанні фізичних явищ, що відбуваються у твердому тілі (магнітних, квантових, плазмових та ін.). Елементи

створюють, використовуючи середовища з розподіленими параметрами.

Трудомісткість окремих операцій процесу виробництва складальних одиниць ТЗА складає: механічної обробки – 8...15, складання – 15...20, електричного монтажу – 40...60, налагодження – 20...25%. Отже, основними конструктивно-технологічними задачами виробництва ТЗА є: розробка ІС на рівні комірок і складальних одиниць ТЗА з високим ступенем інтеграції, удосконалювання технології їхнього виготовлення; підвищення щільності компонування начіпних елементів на ДП і щільності друкованого монтажу; удосконалювання методів електричного з'єднання модулів першого, другого і третього рівнів; механізація й автоматизація складання й електричного монтажу модулів другого, третього і четвертого рівнів; розвиток автоматизованих і автоматичних методів, а також засобів налагодження і регулювання апаратури складних РТС; автоматизація операцій контролю функціональних параметрів; створення гнучких комплексно-автоматизованих виробництв, що функціонують разом із системами автоматизованого проектування.

Сучасні ТЗА являють собою сукупність елементів, об'єднаних у складальні одиниці і пристрої відповідного функціонального призначення.

Особливості виробництва ТЗА визначаються їхніми конструктивно-технологічними особливостями.

Таким чином, до числа основних конструктивно-технологічних особливостей ТЗА відносяться:

- а) широкий діапазон функціонального призначення і області застосування;
- б) різноманіття конструктивного виконання;
- в) мінімальні масогабаритні параметри функціональних

блоків і ТЗА;

- г) широкий діапазон умов експлуатації;
- д) конструктивна складність;
- е) висока технологічність;
- ж) функціонально-вузловий принцип конструювання;
- з) висока надійність;
- и) ремонтпридатність;
- к) стійкість до зовнішніх впливів;
- л) економічність при експлуатації;
- м) високий ступінь відповідності вимогам безпеки й екології;
- н) придатність до автоматизованого виробництва;
- о) високий ступінь інтеграції функціональних елементів.

Різноманіття конструктивного виконання ТЗА визначається функціональним призначенням, областю застосування й умовами експлуатації. Це висуває відповідні вимоги до конструктора, технолога в процесі проектування і виготовлення ТЗА в умовах збереження тенденції постійного зростання конструктивної складності ТЗА, їхньої багатфункціональності, із одночасним підвищенням надійності й ефективності роботи ТЗА.

Подолання конструктивно-технологічних складностей можливе при використанні функціонально-вузлового, модульного принципу конструювання і забезпеченні високої технологічності компонентів ТЗА. Ремонтпридатність, як одна з важливих властивостей ТЗА, сприяє зручності й економічності їх експлуа-

тації. Вимоги забезпечення високої надійності і збереження основних характеристик ТЗА в умовах експлуатації, обумовлюють певні вимоги до якості використовуваних матеріалів, устаткування і технології виготовлення.

Стійкість ТЗА до зовнішніх впливів – одна з основних вимог, що висуваються до електронних пристроїв у залежності від їхнього функціонального призначення та умов експлуатації. Стійкість ТЗА до зовнішніх впливів забезпечується раціональними конструктивними рішеннями, правильним вибором матеріалів і високою технологією виготовлення.

Забезпечення безпеки і захисту екології при експлуатації закладається на етапах схемного і конструктивного пророблення пристрою.

Здатність до автоматизованого виробництва – одна з найбільш важливих властивостей, реалізована на основі високої технологічності деталей і всіх складових конструкцій ТЗА.

Сучасне виробництво ТЗА повинне бути економічно ефективним. При проектуванні технологічних процесів виготовлення ТЗА потрібно прагнути скорочення тривалості і трудомісткості етапу підготовки виробництва, капітальних витрат, чисельності складних і трудомістких операцій, використання мінімальної кількості устаткування і виробничих площ.

Різноманіття функціонального призначення і конструктивного виконання ТЗА, а також різні умови експлуатації багато в чому визначають зміст виробництва. Насамперед, це впливає на вид, тип і зміст технологічних процесів складання і монтажу, кількість і трудомісткість технологічних операцій, технологічне оснащення.

3.2 Технічні засоби як об'єкт виробництва

Технічні засоби автоматизації (ТЗА) як об'єкт виробництва варто розглядати в тісному взаємозв'язку з зовнішнім середовищем, усім тим, що передує їхньому створенню, самим створенням і наступною експлуатацією. Для того, щоб оцінити стан ТЗА і рівень їхнього розвитку, необхідно сформулювати загальні вимоги, яким повинні відповідати сучасні ТЗА.

До числа таких вимог відносяться:

- а) мінімальні масогабаритні параметри;
- б) висока експлуатаційна надійність;
- в) мінімальне енергоспоживання;
- г) високі ергономічні параметри;
- д) зручність експлуатації й обслуговування;
- е) широкий робочий діапазон кліматичних умов;
- ж) економічність;
- з) низька вартість.

Створення ТЗА, що відповідає повною мірою загальним вимогам, є надзвичайно складною конструкторсько-технологічною задачею. Її вирішення забезпечується розумним компромісом.

Загальні вимоги до ТЗА обумовлюють конкретні вимоги конструкторського і технологічного характеру.

До основних конструктивних вимог відносяться:

а) кліматичні – температура навколишнього середовища, циклічність температур, атмосферний тиск, вологість навколишнього середовища;

б) механічні – вібрація, механічні і акустичні удари, лінійні прискорення, наявність невагомості;

в) радіаційні – природне і штучне іонізуюче випромінювання;

г) загальнотехнічні;

– тактико-технічні – габарити, маса, точність функціонування, швидкодія, продуктивність, чутливість, вибірковість, розрізняльна здатність, споживана потужність;

– конструктивні – конструктивна наступність, технологічність, серійна здатність та ін.;

д) експлуатаційні – простота керування, ремонтоздатність, зручність обслуговування, збереженість, гігієнічність, екологічність, довговічність;

е) безпека – сумісність конструкції ТЗА з людиною при експлуатації і ремонті;

ж) економічні – мінімальні витрати праці, матеріальних коштів і часу на розробку, виготовлення і експлуатацію ТЗА, мінімальна вартість, конкурентоздатність та ін.;

з) патентно-правові – патентна чистота, патентна здатність.

Конструктивні вимоги тісно пов'язані з технологічними:

а) технологічна складність виготовлення в зв'язку з різноманіттям конструктивних вимог;

б) високі вимоги до якості виготовлення ТЗА;

в) висока трудомісткість складально-монтажних операцій;

г) широка номенклатура застосовуваних матеріалів;

д) складність технологічного оснащення процесу виготовлення ТЗА.

В області ТЗА мають місце два паралельних і тісно пов'язаних еволюційних процеси:

а) еволюція функцій і структури ТЗА;

б) еволюція технологій виробництва ТЗА.

Стосовно еволюції функцій і структур ТЗА основними напрямками розвитку й удосконалення є:

а) багатофункціональність ТЗА;

б) використання єдиної елементної бази;

в) застосування модульного принципу конструювання, з використанням функціонально закінчених вузлів і блоків;

г) введення упорядкованої організації зв'язків;

д) створення ТЗА з використанням оптичних явищ;

е) створення електронних пристроїв на основі використання окремих властивостей біологічних систем (нейронні мережі, системи, пристрої);

ж) створення субмікронних надвеликих інтегральних схем (НВІС) і електронних пристроїв на їх основі;

з) створення нових приладів на гетероструктурах (гетеролазери, оптрони, гетеробіполярні транзистори та ін.).

На шляху еволюції технологій основними напрямками розвитку є:

- а) моделювання і оптимізація технологічних процесів;
- б) групова технологія;
- в) широка уніфікація технологічних операцій і процесів;
- г) створення безлюдних технологій;
- д) удосконалювання мікролазерних і електронних технологій;
- е) розвиток і впровадження нанотехнологій багатокомпонентних кванторозмірних гетероструктур на складних матеріалах.

Технічні характеристики ТЗА, конструктивне виконання і технологія їхнього виготовлення є взаємозалежними і впливають один на одного. Так, мініатюрне виконання ТЗА підвищує їх швидкість, надійність, але викликає великі труднощі з забезпеченням теплових режимів у процесі експлуатації і необхідність застосування прецизійного устаткування для складання і монтажу, що значно підвищує вартість ТЗА.

Зрештою, технологія виробництва визначає якість функціонування ТЗА. Невідповідність ТЗА пропонованим вимогам багато в чому пояснюється недостатньою увагою до технології виробництва ТЗА.

Одна з головних задач в області виробництва ТЗА – швидкий розвиток і удосконалення технології їхнього виготовлення.

Маючи певну теоретичну базу, технологія ТЗА виступає як наука, що має безпосереднє відношення до практики, продук-

тивних сил і виробничих відносин.

Технологія ТЗА – це наука, що займається вивченням закономірностей, діючих у процесі виготовлення ТЗА з метою використання цих закономірностей для забезпечення необхідної якості і найменшої вартості виробів.

Теоретичні основи технології ТЗА складають теорії: продуктивності праці і машин, надійності, автоматичного керування, оптимізації і моделювання технологічних процесів.

Технологія ТЗА як наука базується на таких розділах математики: теорія імовірностей і математичної статистики, теорія масового обслуговування, теорія графів і мереж, математичного програмування й ін.

На успішне вирішення задач технології виробництва ТЗА спрямовано різні розділи сучасної науки – математику, фізику, хімію, матеріалознавство, економіку та ін.

У технології ТЗА намітилися такі перспективні напрями: по-перше, математичне абстрагування, тобто аналітичний опис усіх ланок процесу виробництва ТЗА з метою одержання точних математичних співвідношень, що визначають їхній взаємозв'язок; по-друге, широке використання засобів обчислювальної техніки на всіх етапах проектування і виготовлення виробів ТЗА, що припускає активне автоматичне керування процесом виробництва і перехід до повної інтеграції процесів створення і виготовлення продукції в електронному апаратобудуванні.

У зв'язку з цим можна твердити: для вирішення задач технології виготовлення ТЗА використовуються досягнення великої кількості точних і прикладних наук, які дозволяють описувати різні аспекти процесу створення об'єкта. Це дозволяє вважати технологію ТЗА комплексною, синтезуючою наукою.

З огляду на великий вплив технології на технічні харак-

теристики і техніко-економічні параметри виробів, питаннями розробки нових і вдосконалення існуючих способів виробництва ТЗА зайняте широке коло фахівців-вчених і інженерів.

Прикметною рисою виробництва ТЗА є значна трудомісткість складально-монтажних робіт. Практично 80 % від усіх витрат на виробництво ТЗА – це складання і монтаж. У зв'язку з цим перед вченими й інженерами постає серйозна проблема зниження обсягу і трудомісткості складально-монтажних робіт. Один з напрямків вирішення цієї проблеми – раціональне розчленування пристроїв ТЗА на елементарні, функціонально-самостійні елементи (модулі), що дозволяє автоматизувати складання і монтаж. Інший – створення принципово нових технологій, які дозволять скоротити до мінімуму складальні роботи.

Необхідно відзначити, що для налагодження виробництва, яке б відповідало сучасним вимогам, потрібно, насамперед, виділити три основних моменти:

- а) об'єкти розробки;
- б) принципи розробки;
- в) засоби для вирішення поставлених задач.

Аналіз сучасного стану створення ТЗА показує, що має місце недостатня конкурентноздатність продукції машино- і приладобудування. Це пояснюється в основному:

- а) високою енергоємністю виробництва і експлуатації машин і приладів;
- б) високою металоємністю (матеріалоємністю);
- в) недостатньо високою комп'ютеризацією (інформатизацією).

Такий стан, взагалі, визначається неоптимальними технологічними рішеннями на етапах розробки матеріалів, конструкцій і систем керування через слабе інформаційне забезпечення, у свою чергу обумовлене недоліком сучасних технічних засобів (процесорів, сенсорів, ліній комунікацій та ін.)

Для виходу України на світовий ринок в області виробництва ТЗА є наступні передумови:

а) рівень фундаментальної науки з дослідження нових матеріалів і ТП виготовлення ТЗА, а також кваліфікація наявних фахівців відповідають кращим закордонним досягненням, а за окремими науковими розробками навіть перевищує їх;

б) Україна є найбільшим у світі виробником нових матеріалів. При цьому кольорова металургія України здатна забезпечити різні виробництва вихідною сировиною на 80-90 %;

в) Україна має значну кількість великих підприємств, здатних виробляти не тільки сучасну елементну базу і складні функціональні пристрої, а й найскладніші ТЗА, які знаходять застосування в різних сферах діяльності людини.

3.3 Виробництво ТЗА і його організація

3.3.1 Типи виробництва

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

$$K_c = K_o / n_p, \quad (3.1)$$

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

$$n_p = \frac{A \sum_{i=1}^{K_o} T_{um_i}}{60 \cdot K \cdot \Phi_o}, \quad (3.2)$$

де A – річний обсяг випуску виробів, шт.;

T_{um_i} – трудомісткість i -ї технологічної операції, хв.;

K_o – кількість технологічних операцій, шт.;

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.

Технологічні характеристики різних типів виробництва наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – 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

3.3.2 Організаційні форми виробництва

Кожне підприємство (завод), якою б не була номенклатура і об'єм випуску продукції, повинні завжди задовольняти трьома основним вимогам:

- а) виконувати план виробництва;
- б) випускати продукцію високої якості;
- в) добиватися найвищої продуктивності праці, максимально використовуючи обладнання на робочих місцях.

Виробництво продукції зосереджено в спеціальних цехах, сукупність яких прийнято називати основним виробництвом підприємства. У цехах основного виробництва організується виробничий процес, тобто перетворення вихідних продуктів (сировини, матеріалів, напівфабрикатів) 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 можна вказати чотири таких функціональних підрозділи:

- а) ремонтний;

- б) енергетичний;
- в) транспортний;
- г) інструментальний.

Умовою безперебійного виробництва є правильна експлуатація, обслуговування і ремонт устаткування. Верстати й агрегати в ході виробництва зношуються, втрачають точність і 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 сировини, напівфабрикатів, заготівок, 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 виробляє самостійно, решту закуповує. Тому *інструментальний підрозділ* поєднує служби виробництва, зберігання і розробки нових інструментів і оснащення. Такими є основні функції допоміжного виробництва.

В основі сучасного виробництва лежить виробничий процес.

Виробничий процес - це систематичне і цілеспрямоване змінення в часі і просторі кількісних і якісних характеристик засобів виробництва і робочої сили для одержання з вихідної сировини готової продукції відповідно до заданої програми.

При цьому слід звернути увагу на наступне:

а) стосовно випуску готової продукції і технологічної значимості виробничі процеси підрозділяються на основні, допоміжні, підсобні і побічні;

б) за характером протікання в часі виробничі процеси підрозділяються на циклічні і нециклічні;

в) за характером руху предметів праці в часі процеси поділяються на безупинні, напівбезупинні, дискретні;

г) за ступенем можливості безпосереднього спостереження за ходом виробничих процесів вони поділяються на закриті, відкриті і напівзакриті.

Досить важливою характеристикою виробництва, яка так само, як і повторюваність партії виготовлюваних виробів, обумовлена типом виробництва, але вже в більшій мірі стосується його організаційних характеристик, є спосіб розташування устаткування в цехах і ділянках.

У залежності від способу розташування устаткування, який характеризує форму спеціалізації, а разом з тим і організаційну форму виробництва, розрізняють **технологічну** і **предметну** форми спеціалізації або технологічну і предметну організаційні форми виробництва.

При технологічній формі спеціалізації в цеху або на

ділянці цеху виконуються однорідні технологічні процеси й операції отримання заготованок, обробки деталей або складання складальних одиниць. Прикладом використання такої форми спеціалізації в цехах можуть бути механічні, ливарні, термічні, складальні, штампувальні та ін. цехи (ділянки), у яких розташоване устаткування, необхідне для відповідних технологічних процесів. При збільшенні обсягу виробництва може мати місце поглиблення технологічної спеціалізації по типу і габаритам устаткування, виду матеріалу та інших ознаках. Прикладом застосування технологічної форми спеціалізації на ділянках механічних цехів може бути розміщення устаткування у залежності від типу верстатів, наприклад, ділянки токарських, фрезерувальних, свердлильних й інших типів верстатів. Або ділянка травлення друкованих плат, свердління плат, гальванічного покриття та ін.

При предметній формі спеціалізації цехи і ділянки можуть спеціалізуватися з виготовлення одного або декількох однорідних виробів, у зв'язку з чим, устаткування розташовується в залежності не від типу, а від роду виконуваних процесів або операцій. Найчастіше верстати, необхідні для обробки або складання виробу, розташовуються у цьому разі за ходом технологічного процесу.

Часто предметна форма спеціалізації здійснюється в предметно-замкнених цехах або ділянках, у яких може концентруватися виготовлення окремих деталей, складальних одиниць або виробів на всіх його стадіях. Наприклад, предметними цехами є цехи виготовлення друкованих плат, гальванічних покриттів, лакофарбувальні та ін.

Як правило, технологічна форма спеціалізації (організації) характерна для одиничного і дрібносерійного виробництва, а предметна характерна для серійного і масового типів виробництва.

Перевага предметної форми організації над технологічною полягає в тому, що при предметній полегшується внутрішньо заводське кооперування, скорочуються витрати на транспортування виробів і тривалість виробничого циклу, підвищується відповідальність начальників цехів і майстрів за якість виробів.

У залежності від умов у цехах однієї організаційної форми, можуть бути окремі ділянки з різними формами спеціалізації, тобто з технологічною або предметною.

Слід зазначити, що серійне виробництво, в якому деталі й інші компоненти надходять на робоче місце обробки або складання партіями, має той недолік, що на робоче місце надходить відразу вся операційна партія виробів і залишається там доти, поки усі вироби не будуть оброблені або зібрані в складальну одиницю (виріб). Після цього вся партія деталей або складальних одиниць передається на інше, розташоване поруч робоче місце. При цьому час виконання операцій на різних робочих місцях буває різним.

Така організація праці вимагає, щоб на робочих місцях були відповідні площі для розміщення виробів. Крім цього, при подібній організації праці, час перебування виробів на робочих місцях дорівнює часу виготовлення однієї деталі або складальної одиниці, помноженої на кількість деталей або складальних одиниць у партії. У зв'язку з цим відповідно збільшується виробничий цикл, тобто час від моменту запуску виробу у виробництво до його повного виготовлення.

Зазначених недоліків можна, мабуть, уникнути, якщо деталь або складальну одиницю після закінчення обробки або складання на одному робочому місці відразу передавати на інше. Якщо при цьому тривалість операцій на всіх робочих місцях однакова або майже однакова, то всі деталі або складальні одиниці, що надходять по черзі з одного робочого місця на інше,

утворюють як би один безперервний потік. Тому така форма організації роботи одержала назву **потокової**. При поточної формі виробництва значно зменшуються площі цехів, у багато разів скорочується виробничий цикл виготовлення виробів, спрощується керування виробництвом, підвищується якість виробів і продуктивність праці.

Розрізняють виробничий і робочий цикл, цикл технологічної операції.

Які б форми поточного виробництва ні існували на сьогоднішній день, взагалі, поточною формою виробництва називається така форма, при якій операції обробки або складання деталей пристроїв закріплюються за устаткуванням або робочими місцями, розташованими в порядку виконання даних операцій, а оброблена деталь або складальна одиниця передається з одного робочого місця на інше відразу ж після закінчення попередньої операції, як правило, за допомогою спеціальних транспортних засобів.

Основа поточного виробництва – **потокова лінія**. Потокова лінія – виробнича ділянка, оснащена сукупністю машин і механізмів, призначених для виготовлення конкретної продукції і встановлених відповідно до послідовності операцій технологічного процесу, виконуваних із заданим ритмом.

Найбільш сприятливі умови для поточної форми організації створює масовий тип виробництва. Однак варто пам'ятати, що основна передумова для здійснення поточної форми виробництва – відповідне співвідношення між штучним часом, тобто тривалістю операції і тактом випуску.

Під тактом випуску розуміємо інтервал часу між послідовним випуском двох однакових одиниць продукції на поточної лінії.

Величина такту T визначається як відношення фонду часу, в будь-якому його проміжку, до обсягу випуску, наприклад, зміни, доби, місяця, або року. Якщо взяти, наприклад, за порівняльний проміжок часу один рік, то величина такту T виразиться такою загальною формулою

$$T = \frac{\Phi_p}{A_p} = \frac{D_p \cdot a \cdot b}{A_p}, \quad (3.3)$$

де Φ_p – річний фонд часу, год.;

A_p – річний об'єм випуску виробів, шт.;

D_p – кількість робочих днів за рік;

a – кількість робочих змін за добу;

b – фактична кількість годин роботи за зміну.

Величина тривалості операції або штучного часу на операцію може бути визначена шляхом безпосереднього вимірювання (хронометражем) чи аналітично, за допомогою технічного нормування.

У випадку, коли співвідношення між штучним часом на операцію t_{um} і тактом T , що прийнято називати показником або коефіцієнтом потоковості, дорівнює або більше одиниці, і якщо припустити деяке недовантаження робочих місць, і якщо виконується умова

$$\frac{t_{um}}{T} = K_n \geq 0,8, \quad (3.4)$$

тоді робочі місця протягом усього року будуть рівномірно і цілком завантажені тими самими операціями, і таке виробництво вже називається масово-потокним чи просто потокним. При меншому значенні показника поточності відповідно зменшується завантаження устаткування, яке не повинне бути меншим, ніж 80 % (при $K_n = 0,8$).

Коли показник поточності менше 0,8, тобто операції на робочих місцях виконуються набагато швидше, ніж це необхідно для виконання програми, то для забезпечення повного завантаження устаткування необхідно перейти до серійного чи серійно-поточного виробництва.

Серійно-поточним, чи як його ще називають змінно-поточним виробництвом, називається така організаційна форма виробництва, при якій вироби надходять на ділянку партіями, але обробка чи складання їх ведеться поточним методом. Після закінчення обробки чи складання однієї партії деталей, устаткування робочих місць ділянки відповідно переналагоджується, і на ділянку надходить партія інших деталей, технологічний процес виготовлення яких є подібним до попереднього. Ці деталі також виготовляються поточним методом.

Потокові і серійно-поточні лінії можуть бути однопредметними, коли з них виготовляються окремі предмети, чи груповими, коли на кожному робочому місці обробляється чи збирається одночасно група виробів. Багатопредметними називають і такі поточні лінії, на яких обробляються чи збираються одночасно не тільки група виробів, але й різні предмети по черзі, один за одним.

Масово-потоків, як і серійно-потоків ліній, можуть бути безперервно-потоківими – без строгої синхронізації.

У поточковому виробництві істотну роль має міжопераційний транспорт, тобто спосіб і пристрій переміщення виробів між робочими місцями. У залежності від типу лінії такі переміщення можуть бути примусовими, напіввільними і вільними.

Переміщення виробів по робочих місцях лінії виконують конвеєри, що мають різне конструктивне виконання.

У залежності від роду стрічки конвеєри можуть бути з гумовотканинною стрічкою, пластинчасті і ланцюгові, а в залежності від розміщення – наземні і підвісні. У деяких випадках роль конвеєра виконує обертовий стіл, навколо якого розміщені робочі місця.

При складанні великогабаритних і масивних виробів, наприклад, стійки, шафи, тумби поточкове складання може бути стаціонарним, при якому об'єкт складання залишається нерухомим на своєму робочому місці, а окремі складальні операції виконуються робітниками або бригадами, що послідовно переміщуються від одного робочого місця до іншого.

Поточкова форма організації виробництва найбільш ефективна з економічної точки зору.

Для будь-якого типу виробництва важливий елемент – технічна норма часу, що деякою мірою є критерієм оцінювання технологічного процесу виготовлення виробів.

Норма часу – це міра трудомісткості виробів і продуктивності праці. Сутність технічного нормування – визначення обґрунтованих норм часу і найбільш продуктивних режимів роботи устаткування.

Норма часу передбачає конкретну організацію й умови

роботи, на які вона розрахована, і які повинні бути створені на виробництві.

Впровадження у виробництво певної норми часу, у першу чергу, означає організацію праці відповідно до умов, що були передбачені при розробленні цієї норми (нормуванні).

Наукове обґрунтування норм часу здійснюється з урахуванням таких факторів: технічних (облік максимальних можливостей устаткування, технологічного оснащення і застосування прогресивної технології), економічних (облік найбільш оптимальних варіантів, що забезпечують мінімальні витрати часу), психологічних (облік психофізіологічних особливостей людини і вибір найбільш сприятливих методів праці). Таким чином, обґрунтована норма часу – це час, розрахований за допомогою методів технічного нормування, виходячи з найвигідніших технічних, економічних і психофізіологічних умов. Такі норми називають технічно обґрунтованими.

Класифікацію витрат робочого часу наведено на рис. 3.1.

Оперативний час обслуговування, час на відпочинок і фізіологічні потреби складають штучний час

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{оп}} + t_{\text{обс}} + t_{\text{оф}}, \text{ хв}, \quad (3.5)$$

норма калькуляційного часу складається зі штучного і підготовчо-заключного

$$t_{\text{штк}} = t_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n}, \text{ хв}, \quad (3.6)$$

де n – кількість деталей, що виготовляються, шт.

Вибір методу нормування залежить від типу виробництва, особливостей виробничих процесів, організаційної форми роботи і характеру виконуваних робіт.

3.4 Структура виробничого і технологічного процесів

Перехід до принципово нових ТП, що відповідають комплексу технічних, економічних та соціальних вимог, є основою виробничої діяльності підприємства в умовах жорсткої конкуренції на ринках збуту продукції, що випускається, і ґрунтується на розвитку технології – науки про засоби впливу на сировину, матеріали і напівфабрикати відповідними знаряддями виробництва.

Технологія – це сукупність методів обробки, виготовлення, зміни стану, властивостей, форми сировини, матеріалу чи напівфабрикатів, що використовуються в процесі виробництва для отримання готового виробу з найменшою вартістю та високою якістю.

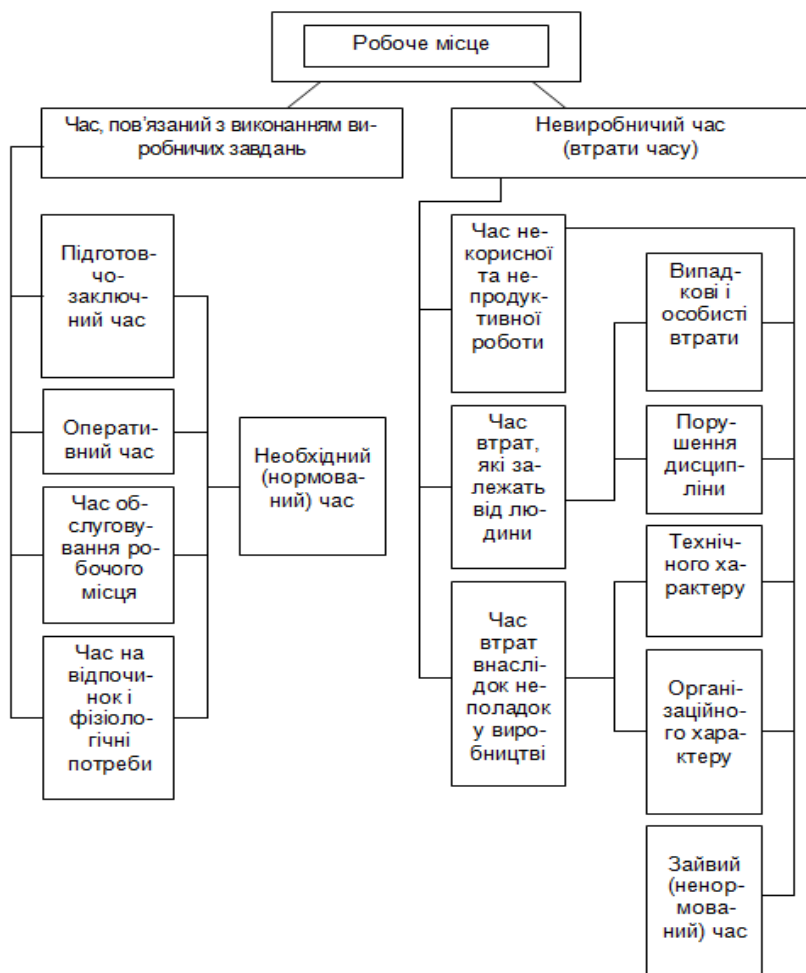


Рис. 3.1. Класифікація витрат робочого часу

З цих визначень випливає, що головна мета розвитку технології – це створення нових, технологічно доцільних, економічно ефективних, соціально обґрунтованих технологічних

процесів, що задовольняють вимогам суспільства.

За характером протікання в часі виробничі процеси поділяються на циклічні і нециклічні.

Циклічний виробничий процес характеризується певною циклічністю, повторюваністю процесу виготовлення продукції в часі і виробничому циклі. Тривалістю виробничого циклу називається календарний період часу від запуску вихідних предметів праці у виробництво до моменту закінчення виготовлення виробу.

Нециклічний виробничий процес не має чітко вираженої повторюваності випуску продукції певної номенклатури і, як правило, може виконуватися досить довго.

Тривалість виробничого циклу визначається співвідношенням

$$T_{\text{ц}} = T_o + T_{\text{к}} + T_{\text{тр}} + T_e + T_{\text{пер}}, \text{ год}, \quad (3.7)$$

де T_o – тривалість операційного циклу, год;

$T_{\text{к}}$ – тривалість виконання контрольних операцій, год;

$T_{\text{тр}}$ – тривалість внутрішньозаводського транспортування виробів, год;

T_e – тривалість природних процесів, год.;

$T_{\text{пер}}$ – час перерв, год.

За характером руху предметів праці в часі виробничі процеси поділяються на безперервні, напівбезперервні і дискретні.

За ступенем можливості безпосереднього спостереження за ходом процесу – на закриті, відкриті і напівзакриті.

Виробничий процес включає всі етапи, що проходить природний матеріал на шляху перетворення його в готовий продукт. На підприємствах електронного приладобудування найчастіше виконується тільки частина виробничого циклу, оскільки напівфабрикати у вигляді матеріалів і комплектуючих виробів (мікросхеми, електрорадіоелементи, з'єднувачі, кріпильні деталі і т.п.) надходять з інших спеціалізованих заводів. Виробничий процес протікає в просторі і часі.

У просторі, проходячи від однієї стадії до іншої (заготівельної, обробної, оздоблювальної, складальної, монтажної, регулювальної, іспитової), виробничий процес пов'язаний зі структурою підприємства.

Виробничий процес у часі складає цикл виготовлення виробу.

Процес виробництва носить складний гетерогенний (різнорідний за своїм складом) характер і являє собою сукупність взаємозалежних часткових процесів, які складають його структуру. Структура виробничого процесу – це сукупність взаємозалежних часткових процесів, спрямованих на забезпечення виготовлення продукції.

Структуру виробничого процесу наведено на рис. 3.2.

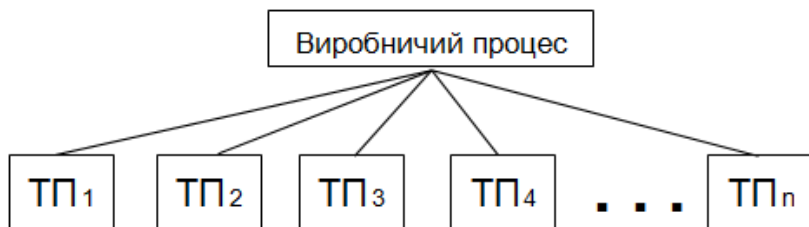


Рис. 3.2. Структурна схема виробничого процесу

Під ТП розуміють будь-який технологічний процес, що є невід’ємною складовою загального процесу виготовлення виробу. Так, ТП1 – заготівельний технологічний процес, пов’язаний із одержанням заготовок різної конфігурації і розмірів; ТП2 – технологічний процес механічної обробки (точінням, фрезеруванням, свердлінням, штампуванням, струганням і т. ін.) заготовок, напівфабрикатів, матеріалів з метою отримання готової деталі; ТП3 – технологічний процес складання виробів; ТП4 – технологічний процес монтажу виробів (паянням, зварюванням, склеюванням та ін.); ТП n – n -й технологічний процес, що входить у виробничий процес, наприклад, іспит виробу і т.ін.

Виробничий процес складається також з дій, які не приводять до фізичних або хімічних змін предметів праці. До таких дій відносяться контрольні, вантажно-розвантажувальні, транспортні, складські процеси та ін.

Технологічний процес є складовою частиною виробничого процесу. Технологічний процес – це частина виробничого процесу, що містить цілеспрямовані дії зі змінення і (або) визначення стану предмета праці.

Основна задача технолога полягає в побудові високопродуктивних технологічних процесів.

У структурному плані технологічний процес складається

з сукупності технологічних операцій, необхідних для виготовлення виробу відповідно до вимог креслення, ТУ.

Структурну схему технологічного процесу наведено на рис. 3.3.

Технологічна операція є основною структурною одиницею процесу й одиницею виробничого планування і обліку. На основі операцій оцінюється трудомісткість виготовлення виробів, і встановлюються норми часу і розцінки; визначається необхідна кількість робітників, устаткування, пристосувань і інструментів; собівартість виготовлення (складання); здійснюється календарне планування виробництва, контроль якості і термінів виконання робіт.

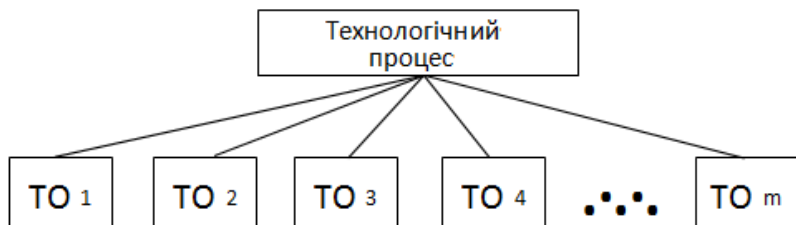


Рис. 3.3. Структурна схема технологічного процесу

Виробнича операція є частиною виробничого процесу з чітко вираженими метою і результатом, що виконується 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 поділяються на ручні, машинно-ручні, машинні, апаратні.

турні.

Класифікація технологічних процесів. Класифікація технологічних процесів здійснюється за рядом ознак, зокрема:

а) за фізичним впливом на об'єкт виготовлення розрізняють ТП:

1) структуроутворюючі, спрямовані на формування фізичної структури електронних компонентів, мікросхем загального і приватного застосування;

2) формотворні, необхідні для одержання із заготованок, напівфабрикатів, матеріалів і сировини готових деталей потрібної форми і розмірів;

3) складання і монтажу, метою яких є створення складальних одиниць і виробу в цілому;

б) за організацією виробництва розрізняють ТП:

1) одиничний ТП – процес виготовлення або ремонту виробу одного найменування, типорозміру і виконання, незалежно від типу виробництва;

2) типовий ТП – процес виготовлення групи виробів із загальними конструктивними і технологічними ознаками;

3) груповий ТП – процес виготовлення групи виробів з різними конструктивними, але загальними технологічними ознаками;

в) за освоєнням процесу розрізняють ТП:

1) робочий ТП – процес використовується для виготовлення об'єктів і виконується по робочій технологічній і (або) конструкторській документації;

2) перспективний ТП – розробляється як інформаційна основа для робочих процесів при переозброєнні виробництва і розрахований на застосування більш досконалих методів, більш продуктивних і економічно ефективних засобів оснащення, які

відповідають сучасним досягненням науки і техніки.

За послідовністю виконання розрізняють технологічні процеси виготовлення заготовок, термічної обробки, механічної обробки заготовок, вузлового і загального складання.

У технологічних процесах виконання заготовок відбувається перетворення матеріалу у вихідні заготовки деталей електронних засобів заданих розмірів і конфігурації шляхом лиття, обробки тиском, механічного різання та ін. У процесі термічної обробки (відпускання, загартовування, віджиг) відбуваються структурні перетворення, що змінюють властивості матеріалу заготовки.

У процесі механічної обробки заготовок відбувається послідовне змінення стану вихідної заготовки (її геометричних форм, розмірів і якості поверхонь) до отримання готової деталі.

Технологічний процес складання пов'язаний з утворенням рознімних і нерознімних з'єднань складових частин виробу.

Технологічний процес виконують на робочих місцях. Робочим місцем називається ділянка виробничої площі, обладнана відповідно до виконуваної на неї роботи. Технологічний процес розчленовують на операції. Технологічною операцією називають закінчену частину технологічного процесу, виконувану на одному робочому місці. Операція охоплює всі дії устаткування і робітників над одним або декількома оброблюваними об'єктами виробництва. Зміст операції змінюється в широких межах – від роботи, виконуваної на окремому верстаті (складальній установці) у звичайному виробництві, до роботи, виконуваної на автоматичній лінії, яка являє собою комплекс технологічного устаткування, пов'язаного єдиною транспортною системою і має єдину систему керування, в автоматизованому виробництві.

Установлення змісту і послідовності виконання операцій

входить до завдання розробки технологічного процесу.

Крім технологічних операцій виділяють допоміжні операції. До них відносяться транспортування, контроль, маркірування й ін.

Операції поділяють на установи, позиції, переходи і прийоми. Установ являє собою частину технологічної операції, виконувану при незмінному закріпленні оброблюваних заготовок або складальної одиниці, що збирається. Позиція є частиною операції і виконується при незмінному положенні інструменту щодо деталі. Технологічний перехід – це закінчена частина технологічної операції, що характеризується сталістю режимів, застосовуваних інструментів і поверхонь, утворених обробкою або з'єднанням під час складання. Прийом – це закінчена сукупність дій людини, застосовуваних при виконанні переходу або його частини і об'єднаних одним цільовим призначенням.

Унаслідок великого різноманіття конструктивного виконання і функціонального призначення ТЗА, у їх виробництві використовується значний перелік технологічних процесів, основаних на різних фізичних і хімічних методах виготовлення деталей, складальних одиниць і пристроїв.

Істотне значення для підвищення продуктивності праці й організації виробничого процесу мають диференціація процесів, спеціалізація ділянок і робочих місць.

Під диференціацією процесу розуміють розчленовування його на операції, а операції – на переходи і прийоми.

При обробці і складанні диференціація процесу приводить до можливості використання простого устаткування, організації потоку без автоматизації, значно спрощує зміст операцій, сприяє підвищенню продуктивності праці і якості

продукції. Ступінь диференціації процесу визначається вимогами конструкції, технології й організації виробництва ТЗА.

Поділ конструкції на блоки сприяє диференціації процесів.

Поряд з диференціацією процесів знаходить застосування і концентрація процесів. Концентрація передбачає формування операцій таким чином, щоб на одному робочому місці (у межах однієї операції) виконувалася досить велика частина ТП. Концентрація процесу характерна для стаціонарного складання.

Диференціація процесу характерна для потокового складання.

Типові технологічні процеси звичайно формуються на основі концентрованих операцій, виконуваних на автоматизованому устаткуванні. Групові процеси в значній мірі диференційовані по операціях при суміщенні переходів. Така побудова дає можливість створити продуктивні автоматизовані операції для великої кількості деталей, що входять у групу, навіть при різній послідовності операцій для кожної з деталей або вузлів.

Концентрація вимагає, як правило, значних витрат на технологічне устаткування й оснащення, що є економічно виправданим при крупносерійному і масовому виробництвах, а також дрібносерійному, основаному на груповому принципі.

Вимоги точності, пред'явлені до виготовлення або складання елементів ТЗА, у більшості випадків ведуть до необхідності концентрації процесу на основі використання механізованого або автоматизованого устаткування, що знижує похибки обробки і складання при істотному підвищенні продуктивності процесу.

При непотоковому виробництві технологічними границями розчленовування процесу є:

а) отримання в результаті виконання операції закінченої системи поверхонь деталі або закінченого складального елемента;

б) можливість використання простого (універсального) або переналагоджуваного устаткування;

в) зручність планування робочого місця і контролю;

г) забезпечення найменшої питомої ваги допоміжного часу в операції;

д) сталі для даного виробництва типові і групові операції, як за об'єктами, так і за змістом групового процесу.

При потоковому виробництві диференціація останнього визначається в основному ритмом і може здійснюватися на базі як ручної, так і автоматизованої праці.

Розчленовування процесу дає можливість керувати ритмом виготовлення деталі, вузла або ритмом партії. Тому в ряді випадків розчленовування процесу переслідує вирішення задач організації виробництва. Це відноситься і до спеціалізації ділянок і робочих місць.

Спеціалізація робочих місць за виконанням обмеженої кількості деталеоперацій дозволяє робітникові швидше освоїти технологічний процес і випускати продукцію високої якості.

Рациональна організація виробничого (технологічного) процесу являє собою складну проблему, вирішити яку можна шляхом математичного моделювання, глибокого аналізу стану виробництва і творчого підходу.

3.5 Основні принципи організації виробництва

При освоєнні випуску нової продукції окрім робіт технологічного характеру потрібно вирішити ряд питань організаційної підготовки виробництва (ОПВ): планування виготовлення освоюваних виробів (розрахунки ходу виробничого процесу, завантаження устаткування); забезпечення виробництва кадрами, матеріалами, напівфабрикатами, устаткуванням, інструментами, оснащенням і т.п. Виконується ОПВ паралельно з роботами технологічної підготовки виробництва (проектування технологічних процесів, проектування пристосувань та ін.) і являє собою кінцевий етап технічної підготовки виробництва і початок серійного випуску продукції.

У перелік робіт з організації виробництва входять підготовка і навчання кадрів, виконання робіт, пов'язаних з отриманням матеріалів, комплектуючих виробів, оснащення, інструменту, устаткування, вимірювальної апаратури, виготовленням необхідного оснащення.

Основна задача організації виробництва – забезпечити скорочення термінів освоєння нових виробів, які підлягають випуску, з мінімальними витратами і високим рівнем якості.

Ця надзвичайно складна і багатопланова задача повинна вирішуватися з урахуванням наступних принципів: системності, прогресивності, динамічності, наступності й економічності.

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:

- а) керування організацією виробництва повинне будуватися з мінімально можливою кількістю ієрархічних ступенів;
- б) процедура організації виробництва повинна 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 та ін.);
- накопиченням досвіду функціонування (самовдосконалення);

в) необхідно добиватися найкоротших шляхів проходження інформації;

г) дотримувати вимог персональної відповідальності виконавців;

д) розподіл функцій керування між виконавцями і побудова ієрархічних ступенів в організації виробництва повинні передбачати деякий раціональний ступінь централізації, при якому, з одного боку, досягаються достатня спеціалізація і повнота використання технічних засобів керування, а з іншого боку — забезпечується оперативність керування, властива децентралізації взагалі;

е) вирішення всіх задач організації виробництва повинне здійснюватися у повному взаємозв'язку з підпорядкуванням єдиній меті.

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

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

Технологічні передумови зводяться до виконання наступних умов: ретельне відпрацьовування технологічних процесів з максимальним розчленовуванням їх на окремі операції; вибір оптимальних режимів виготовлення виробів; застосування технічно обґрунтованих норм часу на виготовлення виробів; застосування сучасного високопродуктивного устаткування і оснащення; механізація і автоматизація контрольних, регулювальних, іспитових, транспортних і інших процесів, широка типізація і стандартизація технологічних операцій і процесів.

Організаційна передумова обумовлюється 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, та ін. розглядаються не як випадкові, а як закономірні явища.

У процесі організації виробництва (у тому числі і 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 і ін. 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), зате їхній зміст більш складний; у серійному і дрібносерійному виробництвах зміни, як правило, є звичайними явищами (система знаходиться в стані постійного змінювання).

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

Принцип наступності припускає 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 при вирішенні виробничих задач і прийнятті рішень про їх доцільність.

3.6 Гнучкі інтегровані виробництва (ГІВ) як вища форма організації виробництва

На сучасному етапі розвитку виробництва ТЗА підвищуються економічні і науково-технічні вимоги до виробництва, що обумовлено скороченням термінів відновлення номенклатури, збільшенням її конструктивної складності, підвищенням

вимог до стабільності основних параметрів виробів, що випускаються, і їхньої надійності. Для забезпечення зазначених вимог необхідна широка автоматизація виробництва, пов'язана зі створенням нового сучасного обладнання, технологічних процесів, систем організації виробництва і керування ним, що забезпечують підвищення продуктивності і поліпшення умов праці, скорочення в робочій силі і зниження рівня виробничого травматизму.

Специфічність сучасних задач автоматизації виробництва визначається тим, що у виробництві ТЗА спостерігається тенденція до збільшення частки серійного виробництва. Досвід експлуатації устаткування з ЧПК в дрібносерійному і серійному виробництвах показує, що вони забезпечують у 1,5...2,5 рази більшу продуктивність за штучним часом, ніж звичайне універсальне устаткування і вимагають меншої чисельності виробничого персоналу. У той же час виявлено, що простої устаткування, з організаційних причин через низький рівень автоматизації допоміжних операцій, значно знижують ефективність використання дорогих верстатів із ЧПК. Альтернатива цьому – створення гнучких виробничих систем і на їх основі гнучких інтегрованих виробництв (ГІВ).

В основі організації гнучкого виробничого процесу лежить не просто раціональне сполучення в просторі і в часі, а органічно пов'язана в єдиний процес сукупність основних, допоміжних і обслуговуючих процесів, що забезпечується інтеграцією процесів керування на базі широкої електронізації виробництва. ГВС і електронізація – організаційно-управлінська основа гнучкого виробництва і напрямок подальшого удосконалення його організації.

Організація гнучкого виробництва, як і будь-якого іншого, підпорядковується наступним загальним принципам:

- пропорційності, тобто забезпеченню однакової про-

пускнуї здатності різних ГВС за рахунок можливості часткового перерозподілу навантаження між ними;

- спеціалізації, тобто визначеному розподілу робіт між різними цехами, ділянками, окремими ГВС і ГВМ;

- стандартизації, яка є головним інструментом скорочення номенклатури виробів, що випускаються, дозволяє обмежити кількість різновидів і типів виробів одного призначення, збільшити масштаби виробництва і сприяє переходу з широкономенклатурних ГВС на більш продуктивні ГАВ;

- ритмічності шляхом скорочення браку, забезпечення випуску продукції за графіком;

- прямоточності, тому що в цьому випадку всі матеріальні потоки і запуски у виробництво матеріалів до виходу з заводу готової продукції відбуваються найкоротшим шляхом;

- автоматичності, що є однією з головних рис гнучкого виробництва.

Однак основними принципами організації виробництва, що розкривають цілком усі можливості ГАВ, є:

- безперервність процесів, що ліквідує або значно скорочує різні перерви у виробництві даного конкретного виробу (відсутні, наприклад, міжопераційні перерви і перерви партійності і комплектування, скорочуються різні чекання);

- паралельності процесів – передбачається одночасне виконання різних частин виробничого процесу. Фактично відбувається органічне злиття конструкторської і технологічної підготовки виробництва, основних і допоміжних процесів. Паралельність забезпечується також централізацією й інтеграцією процесів і керування. Принцип паралельності заслуговує на особливу увагу, тому що він багато в чому визначає організацію гнуч-

кого виробництва.

Високоавтоматизовані й інтегровані процеси, як правило, є програмувальними процесами, що і визначає їхню організацію. Наприклад, АРМ, що інтегрують САПР і АСТПВ із використанням відомого «меню», відповідають організації даного процесу. Програмувальна автоматизація, власне, і є одночасно й автоматизованою організацією виробництва. Організація виробництва повинна враховувати різні аспекти, головними з яких є гнучкість, продуктивність, якість і сталість цієї якості, величина капіталовкладень, рівень складності, як за окремими типами устаткування, так і для всієї системи в цілому.

Гнучкість виробництва закладається на стадії проектування, розробки креслень виробів і технології виготовлення.

На організацію виробництва, що використовує ГВС і ГВМ поряд із традиційним устаткуванням (змішане виробництво), впливають наступні найбільш характерні риси якості ГВС і гнучкого устаткування:

а) здатність утворювати деталі і здійснювати складання виробів в одній операції; якщо виготовлення почате, то воно не припиняється, поки не закінчиться цілком;

б) здатність на одному робочому місці виконувати різні операції з виготовлення деталей з автоматичним запуском в обробку нових деталей і без переналагодження устаткування;

в) здатність самонастроювання устаткування при виникненні випадкових відхилень;

г) здатність автоматичного контролю точностних параметрів виробів при їх виготовленні;

д) повне дотримання технологічної й організаційної дисципліни по всьому процесу виготовлення виробу;

е) однакова економічність виготовлення однієї деталі або партії деталей, розмір якої визначається потребою на складанні;

ж) мінімальні заділи і запаси, необхідні для роботи ГВС протягом однієї доби, з урахуванням можливих простоїв окремого устаткування, вирівнювання циклів виготовлення виробів і безлюдної роботи протягом установленого періоду.

Найбільш важливою складовою організації гнучкого інтегрованого виробництва є:

а) організація інструментального господарства. Автоматизоване інструментальне господарство виконує наступні централізовані функції:

- постійна інвентаризація загальної кількості ріжучого та вимірювального інструменту за всією номенклатурою, установленної кількості дублерів і відстеження місцезнаходження інструменту за різними ГВС;

- отримання через САПР-АСТПВ завдання на забезпечення потрібного інструменту і порівняння завдання з наявністю інструменту відповідно до результатів інвентаризації;

- закупівля і забезпечення своєчасного постачання стандартного ріжучого і вимірювального інструменту;

- отримання і прийняття в експлуатацію спеціального ріжучого і вимірювального інструменту;

- складування, розподіл і доставка об'єктів у відповідності з запитами інструментальних ділянок різних ГВС.

б) організація транспортування і складування. Одним з основних критеріїв ефективної організації ГВ є мінімально можливі і найкоротші матеріальні потоки між різними виробничими підрозділами і мінімально необхідні запаси і заділи. Цьому критерієві повинні відповідати схема розміщення різних виробництв, цехів, відділень, ГВС і прийнята система планування і складання графіків запуску і випуску продукції. На цих етапах практично вирішуються багато проблем і задачі організації

транспортування і складування. Чим меншими є переміщення, запаси, заділи і незавершене виробництво, тим менше потрібно транспорту і складів.

Гнучке виробництво відрізняється від традиційного серійного і потокового виробництв значно меншими матеріальними потоками, запасами і заділами. Відсутність партійності, багаторазових установок, перевантажень і перевезень, тривалого часу збереження зменшують обсяг транспортних потоків, складів і зустрічних перевезень. Це полегшує вирішення задач автоматизації і досягнення гнучкості транспортування і складування.

В організації автоматичного гнучкого транспортування і складування варто керуватися наступними правилами:

- заготовки, деталі, інструменти, спеціальні пристосування й оснащення, відходи виробництва повинні знаходитись в контейнерах, на піддонах, на палетах, у касетах або магазинах, на яких вони встановлюються і знімаються (якщо вручну, то тільки раз); подальші перевантаження повинні виконуватися автоматично роботами або робочими і спеціальними пристроями;

- усе, що транспортується (контейнери, піддони, палети, магазини й інша установлювальна тара, завантажена чи порожня), повинне знаходитися на автоматичних складах або спеціальних позиціях очікування і мати пристрій кодування для автоматичного розпізнавання того, що завантажено;

- приймальні місця різних видів транспорту, конвєсєрів, рольгангів, робочарів, позицій очікування, комірок складу повинні бути по можливості стандартними не тільки для даної галузі, але і відповідати міжнародним стандартам, бути уніфікованими для даного підприємства (заводу);

- склади варто розташовувати ближче до ГВС і в їх побудові головним критерієм залишаються найкоротші відстані між складом і верстатом.

Особливістю планування гнучкого виробництва є й те, що планування технічної підготовки виробництва і планування виробничої програми та виробничої потужності стають єдиним процесом внутрішньозаводського й оперативного планування, тому що в гнучкому інтегрованому виробництві процеси створення продукції і її виготовлення є безперервними, що органічно зливаються в єдиний процес. Загальною стає задача планування, тобто визначення початкових і кінцевих термінів випуску виробів, які значно частіше змінюються, а також обсягів і трудомісткості всіх робіт, пов'язаних зі створенням і виготовленням виробу.

При плануванні із широким використанням засобів обчислювальної техніки слід дотримуватися наступних правил:

а) розробляти як можна більше варіантів конструкції і виготовлення одного виробу;

б) не створювати і не розглядати будь-які штучні обмеження, користуватися досвідом і статистикою власного виробництва, даного заводу;

в) планування, як і виробничий цикл, повинне бути динамічним і гнучким до останнього моменту запуску виробу у виробництво;

г) з'єднувати плануванням усі дискретні процеси в єдиний безперервний процес;

д) переслідувати єдину мету планування – забезпечення виготовлення тільки необхідної на кожен момент на складанні кількості деталей при мінімальній собівартості і максимальній продуктивності;

е) усі рішення приймати на основі вартісних показників, включаючи і якість виробу.

Значні потенційні можливості радикального збільшення продуктивності праці, якими володіє інтеграція виробництва на базі САПР-АСТПВ-ГВС, можливості організації роботи устаткування на протязі тривалого часу у «безлюдному» режимі, впливають на зміст і характер праці в промисловості.

3.7 Продуктивність праці і шляхи її підвищення

Під продуктивністю праці розуміють кількість продукції, виготовленої в конкретний період часу, обумовлену витратами робочого часу на одиницю продукції. Витрати праці вимірюються робочим часом.

Зріст продуктивності праці означає збільшення продукції, вироблюваної за одиницю робочого часу, за рахунок економії праці, затрачуваної на одиницю продукції. У сучасних умовах практично жодна галузь промисловості, жодне підприємство не можуть нормально розвиватися і конкурувати на ринку, якщо не будуть приділяти серйозну увагу систематичному підвищенню продуктивності праці.

Одним з основних шляхів підвищення продуктивності праці є всебічна автоматизація 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. Таким чином, методи теорії продуктивності дозволяють не тільки кількісно підраховувати продуктивність устаткування чи економічну ефективність їхнього впровадження, але й аналізувати різні можливі варіанти автоматизованого устаткування, вибирати такі параметри проєктованих машин, які є оптимальними і забезпечують максимальну продуктивність або найбільший економічний ефект.

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 автоматів і автоматичних ліній. Тим самим з'являється можливість кількісно визначати, яким чином впливають будь-які зміни техніко-економічних параметрів аналізовуваних варіантів на їхні економічні показники.

Структурну схему математичної моделі наведено на рис. 3.4. Вона містить у собі:

а) первинні параметри, що характеризують технологію, конструкцію і компонування машин, рівень їхньої 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 харак-

теристику працездатності;

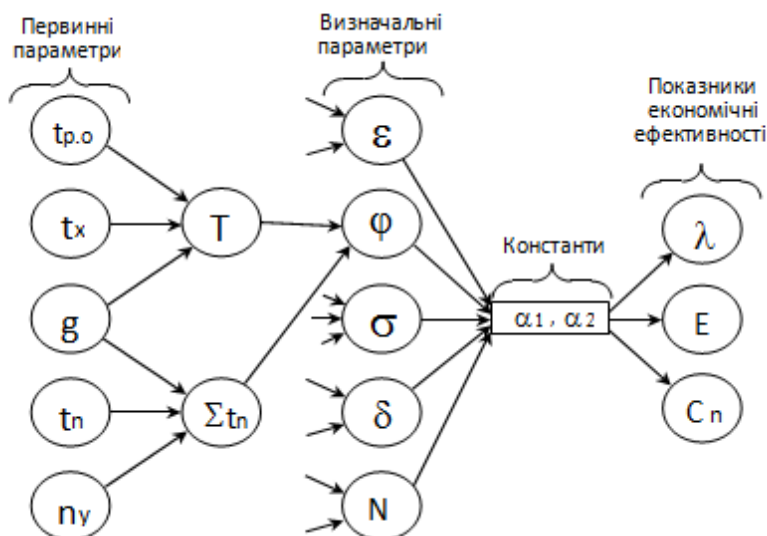


Рис. 3.4. Структурна схема математичної моделі взаємозв'язку показників продуктивності й ефективності обладнання автоматичних ліній

б) 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.;

в) постійні для даної моделі параметри, що входять у формули як константи, наприклад, нормативні показники амортизаційних відрахувань α_1 і т. ін.;

г) показники економічної ефективності: зростання продуктивності праці λ , коефіцієнт ефективності капіталовкладень E , приведені витрати C_n та ін.

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

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

а) вибрати 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.);

б) визначати, виходячи з необхідного економічного ефекту, яким сполученням технічних характеристик повинні характеризуватися проектовні автомати й автоматичні лінії, кількісно оцінювати граничні умови автоматизації;

в) оптимізувати технічні характеристики проектовних машин 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 математичними моделями теорії продуктивності, можна 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:

а) кожна робота для свого здійснення вимагає витрат часу і праці;

б) продуктивно витраченим вважається тільки той час, що витрачається на основні процеси обробки (наприклад, формування, контроль, складання та ін.). Весь інший час, включаючи час на допоміжні (холості) ходи робочого циклу і позациклові простой, є непродуктивно витраченим – втратами;

в) машина вважається ідеальною, якщо при високому потенціалі продуктивності, якості продукції, відсутні втрати часу на холості ходи і простой (машина безперервної дії, нескінченної довговічності й абсолютної надійності);

г) для виробництва будь-яких виробів необхідні витрати минулої (упредметненої) праці на створення засобів виробництва і підтримки їхньої працездатності, а також живої праці на безпосереднє обслуговування технологічного устаткування;

д) 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;

е) при розробленні технологічних процесів будь-який процес виробництва, узятий сам по собі, безвідносно до руки людини, варто розділяти на складові елементи;

ж) продуктивність машин межі не має;

з) 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;

и) 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 можна представити складеними з трьох компонентів:

а) одноразові витрати минулої праці T_n , необхідні для створення машин, устаткування, будинків, споруд та ін.;

б) поточні витрати минулої праці T_v , що містять у собі частину упередженої 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;

в) 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

$$T = T_n + N(T_{ж} + T_v). \quad (3.8)$$

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

$$A_{II} = W/T, \quad (3.9)$$

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

$$A_{II} = [\text{продукція} / \text{праця}].$$

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

Випущена придатна продукція вимірюється 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, а саме: [шт./люд.-год.]; [шт./грн.]; [грн./грн.].

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

При постійній продуктивності устаткування

$$W = Q_p N, \quad (3.10)$$

де Q_p – річний фактичний випуск продукції.

Підставляючи значення W і T у (3.9), отримуємо

$$A_{\pi} = \frac{Q_p \cdot N}{T_n + N(T_v + T_{ж})}. \quad (3.11)$$

Проаналізуємо отриману залежність графічно, виразивши W , T і A_{π} у функції строків служби N (рис. 3.5). Тут N – не поточний час експлуатації машини, а можливі строки служби як змінна величина, невідома в процесі проектування.

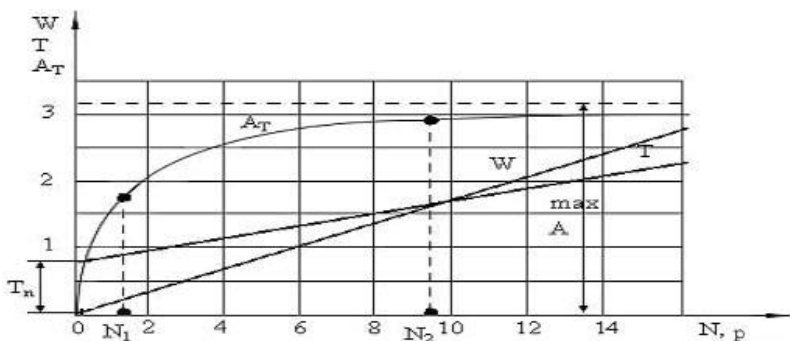


Рис. 3.5. Залежність випущеної продукції, експлуатаційних витрат і продуктивності праці від строків служби при незмінних експлуатаційних характеристиках

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 упередметненої праці T_n розкладаються в цьому випадку на більший обсяг випущеної продукції.

Поданий на рис. 3.5 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 прак-

тично припиняється, асимптотично наближуючись до своєї межі

$$A_{II} = \lim_{N \rightarrow 0} \frac{Q_p \cdot N}{T_n + N(T_v + T_{ж})} = \frac{Q_p}{T_v + T_{ж}}. \quad (3.12)$$

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 можна 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 їхнє 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 (3.9), (3.10) і графіки (рис. 3.5) справедливі для випадків, коли експлуатаційні показники машин – кількість випущеної продукції Q_{pi} і експлуатаційні витрати $(T_v + T_{ж})_i$ – 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 (3.10) продуктивності праці. Приймаючи живу працю за міру (масштаб) оцінки минулої праці, відповідні витрати можна виразити в одиницях живої праці, вводячи коефіцієнти K і m

$$K = \frac{T_n}{T_{\text{жс}}} , \quad m = \frac{T_v}{T} , \quad (3.13)$$

де K – коефіцієнт технічної озброєності живої праці, який характеризує співвідношення одночасних витрат упередметненої 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 упередметненої праці на інструмент, електроенергію, допоміжні матеріали і ремонт до річних витрат живої праці.

Так, якщо робітник обслуговує машину чи систему машин ($T_{\text{жс}} = 1$), 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 $K/N + m + 1$ людина, а за весь термін служби об'єкта $K + N(m + 1)$ людина.

Отже,

$$T = T_{\text{жс}} [K + N(m + 1)]. \quad (3.14)$$

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

Підставляючи значення T з формули (3.14) в залежність (3.12), отримуємо

$$A_T = \frac{N * Q_r}{[ж + N(m + 1)] T_c} = \frac{Q_r}{T_c} * \frac{N}{ж + N(m + 1)}. \quad (3.15)$$

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

$$A = \frac{Q_p}{T_{\text{жс}}} * \frac{N}{N} = \frac{Q_p}{T_{\text{жс}}} = A_{\text{жс}}. \quad (3.16)$$

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

$$\lambda = A_{T2} / A_{T1}, \quad (3.17)$$

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

$$A_{\pi 1} = N \frac{Q_1}{[K_1 + N(m_1 + 1)]T_{\text{ж}1}}. \quad (3.18)$$

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

$$A_{\pi 2} = N \frac{Q_2}{[K_2 + N(m_2 + 1)]T_{\text{ж}2}}. \quad (3.19)$$

Зростання продуктивності праці складе

$$\lambda = \frac{NQ_2[K_2 + N(m_2 + 1)]T_{\text{ж}2}}{NQ_1[K_1 + N(m_1 + 1)]T_{\text{ж}1}} = \frac{Q_2}{Q_1} \cdot \frac{T_{\text{ж}2}}{T_{\text{ж}1}} - \frac{K_2 + N(m_2 + 1)}{K_1 + N(m_1 + 1)} \quad (3.20)$$

Введемо безрозмірні коефіцієнти, що характеризують порівняльні техніко-економічні показники обох варіантів виробництва:

$\varphi = Q_2 / Q_1$ – коефіцієнт зростання продуктивності засобів виробництва, що показує в скільки разів підвищується продуктивність при другому варіанті в порівнянні з вихідним;

$\varepsilon = T_{\text{ж}1} / T_{\text{ж}2}$ – коефіцієнт скорочення живої праці, що показує в скільки разів скорочується жива праця при другому варіанті в

порівнянні з вихідним; $\sigma = T_{n2}/T_{n1}$ – коефіцієнт зміни вартості засобів виробництва; δ – коефіцієнт зміни поточних експлуатаційних витрат на одиницю продукції. Тоді

$$\frac{T_{v2}}{T_{v1}} = \varphi \delta. \quad (3.21)$$

Величина поточних експлуатаційних витрат (інструмент, електроенергія, допоміжні матеріали та ін.) звичайно пропорційна випускові продукції. Тому у формулі (3.21) коефіцієнт φ відображує зміну масштабів виробництва, а коефіцієнт δ – зміну поточних експлуатаційних витрат на одиницю виробу.

Визначимо величини K_2 і m_2 через безрозмірні коефіцієнти:

$$K_2 = \frac{T_{n2}}{T_{ж2}} = \frac{T_{n1} \cdot \sigma}{T_{ж1}/\varepsilon} = \frac{T_{n1}}{T_{ж1}} \cdot \sigma \varepsilon = K \sigma \varepsilon; \quad (3.22)$$

$$m_2 = \frac{T_{v2}}{T_{ж2}} = \frac{T_{v1} \cdot \sigma}{T_{ж1}/\varepsilon} = \frac{T_{v1}}{T_{ж1}} \cdot \varphi \delta \varepsilon = m \delta \varphi \varepsilon. \quad (3.23)$$

Підставляючи значення K_2 і m_2 , а також φ і ε в формулу (3.20), отримуємо формулу, в якій зростання продуктивності праці виражене безпосередньо через порівняльні техніко-економічні показники обох варіантів продуктивності

$$\lambda = \varphi \varepsilon \frac{K + N(m+1)}{K\sigma\varepsilon + N(m\delta\varphi\varepsilon + 1)}. \quad (3.24)$$

В формулі (3.24) добуток $\varphi\varepsilon$ представляє собою зростання продуктивності живої праці

$$\lambda_{\text{жс}} = \varphi \varepsilon.$$

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 (3.24) отримує вигляд

$$\lambda = \lambda_{\text{жс}} \cdot \frac{K + N(m+1)}{K\sigma\varepsilon + N(m\delta\varphi\varepsilon + 1)}. \quad (3.25)$$

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 (3.24) на ε , отримуємо

$$\lambda = \varphi \frac{K + N(m+1)}{K\sigma + N(m\delta\varphi + 1/\varepsilon)}. \quad (3.26)$$

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 продуктивності суспільної праці.

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

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 ε). Воно досягається завдяки

удосконаленню засобів виробництва і керування, зміні організації праці та ін.

Реалізацію шляху $\mathcal{E}$ можна ілюструвати таким чином: за базу прийнято поточкову лінію, скомпоновану з верстатів, що обслуговуються операторами (рис. 3.6, а).

На перших стадіях автоматизації верстати 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.3.6, б). Такий шлях автоматизації є одним з найпоширеніших, тому що дозволяє використовувати існуючий парк устаткування, розширюючи фронт автоматизації, скоротити кількість робітників при обслуговуванні верстатів. Прикладами реалізації першого шляху є автоматичні лінії з типового (універсального) устаткування.

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 їхньої вартості.

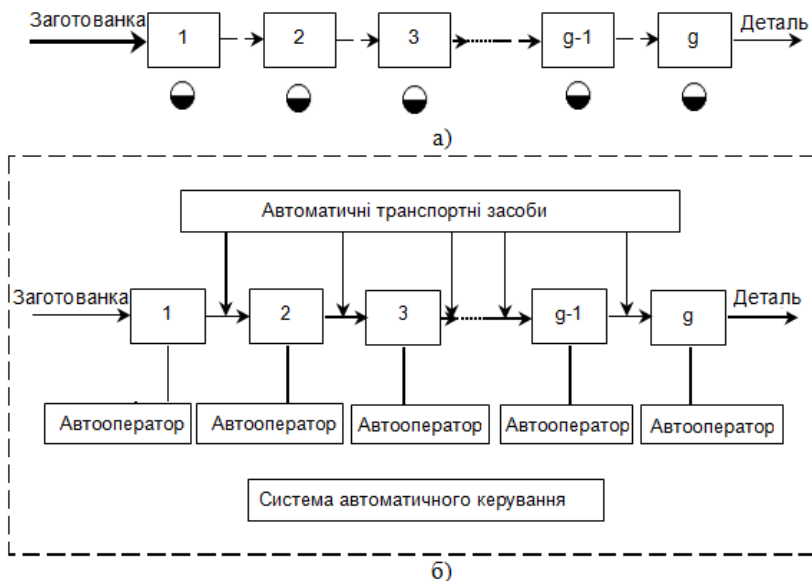


Рис. 3.6. Технологічні системи машин: а – поточна лінія з виконанням допоміжних операцій вручну; б – автоматична лінія

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 технологічних процесів 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.

3.8 Якість продукції

Підвищення якості продукції завжди було предметом особливої уваги виробників і споживачів.

Важливою умовою ефективності сучасного промислового виробництва є постійне поліпшення якості продукції. Необхідність поліпшення якості продукції обумовлена постійно зростаючою складністю техніки, ростом потреб населення, розширенням експортних можливостей продукції високої якості, ринковою кон'юнктурою і твердою конкуренцією на вітчизняному і світовому ринках.

Підвищення якості продукції в основному здійснюється за двома напрямками. По-перше, удосконалюється якість продукції, що випускається, без внесення у неї принципових змін; по-друге, створюються нові види продукції, основані на використанні нових науково-технічних ідей і досягнень. Можна виділити наступні етапи створення продукції, що визначають її якість:

а) планування. На цьому етапі варто закладати в планову документацію не тільки кількісні, але і якісні, стратегічні показники, такі як: перспективність; кон'юнктура ринку; споживчий попит; рекламна індустрія; маркетингова політика; райони збуту, їхній політичний клімат і економічний рівень, що дозволяють прогнозувати довготривалість постачання і реалізації продукції;

б) проектування. У процесі проектування і розробки конструкторської документації повинні бути враховані якісні показники планування, що знаходять своє відображення в конструкторських характеристиках проектуваних виробів – масогабаритних, ергономічних, техніко-експлуатаційних, економічних, соціальних, екологічних та ін.

в) виробництво. На етапі виробництва формуються і реалізуються багато якісних показників попередніх етапів. На ета-

пі виробництва показники якості, що закладаються, забезпечуються техніко-організаційними заходами: застосуванням прогресивної технології, використанням сучасних якісних матеріалів, раціональною формою організації виробництва, дотриманням технологічної дисципліни і т. ін.

г) експлуатація. На етапі експлуатації виявляються переваги і недоліки якісних показників продукції. На цьому етапі основною задачею є збереження наявних якостей і забезпечення належних умов експлуатації, обумовлених технічними умовами на виріб.

Поліпшення якості продукції пов'язане з певними витратами праці і матеріальних засобів. У цьому випадку виникає питання про співвідношення між величиною витрат на всіх етапах формування якості й одержуваним у результаті ефектом від використання продукції.

У цьому зв'язку підвищення якості продукції необхідно розглядати із соціальної, технічної й економічної точок зору. Ці три аспекти знайшли своє відображення у формулюванні поняття «якість продукції».

Якість продукції – це сукупність властивостей продукції, що обумовлюють її придатність задовольняти певні потреби відповідно до її призначення.

Щоб зрозуміти й опанувати технологію якості, необхідно виявити зв'язок понять продукція, параметр, показники якості.

Продукцією називають предмет праці, що пройшов усі стадії виробничого процесу на даному підприємстві і є придатним до безпосереднього споживання.

Ознака продукції – це якісна чи кількісна характеристика будь-яких властивостей або станів продукції.

Серед якісних ознак часто виділяють альтернативні, які можуть мати лише два взаємовиключних варіанти (наприклад, наявність або відсутність дефекту; гарний або поганий; подобається чи не подобається і т.п.)

Кількісну характеристику властивостей продукції називають параметром продукції, тобто параметр продукції – це ознака продукції, що кількісно характеризує будь-які її властивості або стани.

Показник якості продукції – це кількісна характеристика однієї або декількох властивостей продукції, що входять у її якість, розглянута стосовно до певних умов її створення, експлуатації або споживання.

Показники якості поділяються на: одиничні, комплексні, інтегральні та узагальнені.

Одиничний показник – це показник, що характеризує одну з властивостей продукції. Наприклад, строк служби, маса, розмір виробу.

Комплексний показник – показник, що характеризує відразу кілька властивостей продукції. Наприклад, продуктивність і надійність установки, маса, габарити і споживана потужність верстата і т. ін.

Інтегральний показник якості – показник, що відображує співвідношення сумарного корисного ефекту від експлуатації або споживання продукції і сумарних витрат на її створення й експлуатацію або споживання. Він застосовується для оцінки доцільності постановки даного варіанта продукції на виробництво або подальшої експлуатації з урахуванням збільшених витрат на технічне обслуговування і ремонт.

Інтегральний показник визначається за допомогою формули

$$J = \frac{P_{\Sigma}}{Z_c + Z_e}, \quad (3.27)$$

де P_{Σ} – корисний річний ефект від експлуатації продукції, виражений у натуральних одиницях (м, кг, шт. та ін.);

Z_c – сумарні капітальні витрати на створення продукції (грн.);

Z_e – сумарні експлуатаційні (поточні) витрати, що відносяться до одного року, грн.

Узагальнений показник якості відноситься до такої сукупності властивостей продукції, за якою прийнято оцінювати якість продукції. Таким узагальненим показником, наприклад, для технологічного устаткування може бути продуктивність.

При оціненні рівня якості продукції використовуються базові і відносні показники. За базові показники приймаються показники якості продукції, прийняті за основу при оціненні її якості (наприклад, показники перспективних зразків).

Відносний показник якості продукції визначається як відношення значення показника якості оцінюваної продукції до відповідного значення базового показника, тобто

$$g = \frac{P}{P_o}, \quad (3.28)$$

де P – показник якості продукції;

P_{σ} – базовий показник.

Рівень якості продукції – відносна характеристика якості продукції, основана на порівнянні значень показників оцінюваної продукції з базовими значеннями.

Техніко-економічні показники якості продукції розділяються на кілька груп:

а) показники призначення характеризують властивості продукції, що визначають її основні функції і обумовлюють область її застосування:

– класифікаційні показники визначають належність продукції до певної класифікаційної групи. До них відносяться, приміром, потужність електродвигуна, передаточне число редуктора і т. ін.;

– функціональні показники якості характеризують корисний ефект від експлуатації або споживання продукції. Такими показниками є: продуктивність верстата, точність вимірювального приладу і т. ін.;

– конструктивні показники визначають зручність монтажу й установки продукції, її взаємозамінність, можливості агрегування. До конструктивних показників відносяться: коефіцієнт складальності, габаритні приєднувальні розміри і т. ін.;

б) показники надійності характеризують властивості безпеки, довговічності, ремонтпридатності і зберігаємості;

в) показники технологічності характеризують властивості продукції, що обумовлюють оптимальний розподіл витрат матеріалів, засобів, праці і часу при технологічному підготуванні виробництва, виготовленні й експлуатації продукції;

г) ергономічні показники характеризують ступінь відповідності виробу комплексу гігієнічних, антропометричних,

фізіологічних, психологічних вимог, що встановлюються на основі дослідження систем: людина-машина, людина-робоче місце, людина-зовнішнє середовище, людина-предмет;

д) естетичні показники характеризують інформаційну виразність, раціональність форми, цілісність композицій і досконалість виробничого виконання продукції;

е) патентно-правові показники характеризують новизну і патентний захист технічних рішень. Підрозділяються на показники патентного захисту і показники патентної чистоти;

ж) екологічні показники характеризують рівень шкідливих впливів на навколишнє середовище, що виникають при експлуатації або споживанні продукції;

з) показники безпеки характеризують особливості продукції, що обумовлюють безпеку обслуговуючого персоналу при її використанні.

Методи визначення значень показників якості продукції.

Розрізняють наступні методи:

а) експериментальний метод, при якому для визначення показників використовуються технічні вимірювальні засоби або досвід експлуатації виробу, коли підраховують події чи об'єкти, що володіють певними ознаками;

б) розрахунковий метод, при якому значення показників якості обчислюються за допомогою параметрів продукції, визначених іншими методами. Для цього необхідно мати теоретичні або експериментальні залежності показників якості від параметрів продукції;

г) метод опитувань, може бути застосований в різних формах, які отримали назви: органолептичний, соціологічний,

експертний.

Органолептичний метод оснований на аналізі сприйняття органів почуттів (зору, нюху, дотику, слуху, смаку) без застосування технічних вимірювальних або реєстраційних засобів.

Соціологічний метод оснований на збиранні й аналізі думок фактичних чи можливих споживачів продукції. Можуть застосовуватися усні опитування, спеціальні анкети-запитальники та ін.

Експертний метод оснований на висновках групи фахівців-експертів.

Слід зазначити, що якість сама по собі не виявляється, її потрібно планувати, забезпечувати умови її формування, мати методичні рекомендації з розрахунку та аналізу показників якості і керувати процесом забезпечення якості продукції.

Процес керування якістю продукції, як і будь який процес керування, є інформаційним процесом.

Керування якістю, як складальною імовірнісною системою, практично може бути здійснено шляхом свідомої цілеспрямованої дії на входи цієї системи при безперервному спостереженні за станом її виходів, тобто шляхом використання загального принципу керування.

Під виходами системи керування якістю варто розуміти показники якості продукції. Процес керування якістю повинен бути спрямований на удосконалення саме цих показників. У цьому і полягає цільова функція процесу керування якістю продукції.

На рис.3.7 наведено схему керування технологічним процесом з метою забезпечення високої якості продукції.

Введемо наступні умовні позначки: δ_1 – зміна технології в результаті відпрацювання сигналу керування $\delta_1(U_1, U_2, \dots, U_n)$; δ_2 – зміна конструкції виробів у результаті керування $\delta_2(U_1, U_2, \dots, U_n)$; δ_3 – зміна оснащення в результаті керування $\delta_3(U_1, U_2, \dots, U_n)$; δ_4 – зміна характеристик і складу устаткування в результаті керування $\delta_4(U_1, U_2, \dots, U_n)$; δ_5 – зміна характеристик інструменту в результаті керування $\delta_5(U_1, U_2, \dots, U_n)$; δ_6 – зміна характеристик робочої сили в результаті керування $\delta_6(U_1, U_2, \dots, U_n)$; δ_7 – зміни матеріалів, що поставляються, компенсуючих виробів і сировини в результаті $\delta_7(U_1, U_2, \dots, U_n)$ керування.

Оператори $W_{01}, W_{02}, \dots, W_{07}$ характеризують діяльність окремих служб підприємства з відпрацювання відповідних сигналів керування $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_7$ у зв'язку зі зміною факторів, що впливають на якість продукції.

У розпорядженні керівництва підприємства є сукупність методів впливу на функціональні служби (методи організаційно-розпорядницькі (U_1), методи техніко-економічні (U_2), правові (U_3), соціально-психологічні та інші).

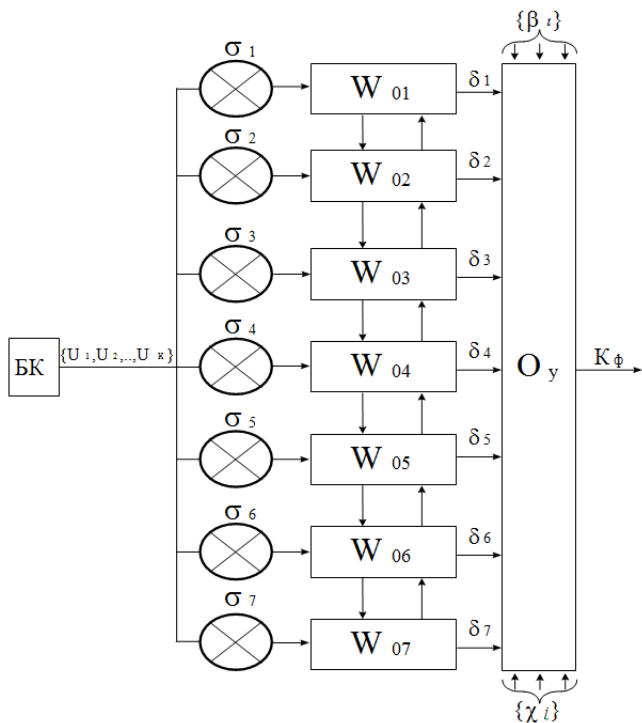


Рис. 3.7. Схема керування технологічним процесом з метою забезпечення високої якості продукції

Задача вибору оптимальної сукупності методів керування, визначення виду, інтенсивності і взаємозв'язку впливів у каналах керування вирішується блоком керування (БК). У реальних умовах окрім керуючих впливів (δ_n) на об'єкт керування діють ще детерміновані (β_i) і випадкові (χ_i) зовнішні збурення.

Таким чином, рівень якості, що є вихідною величиною

об'єкту керування (ОК), є випадковою функцією керуючих впливів (δ_n) зовнішніх детермінованих (β_i) і випадкових збурень (x_i).

Організуючою основою реалізації процесу керування є система керування (рис.3.8).

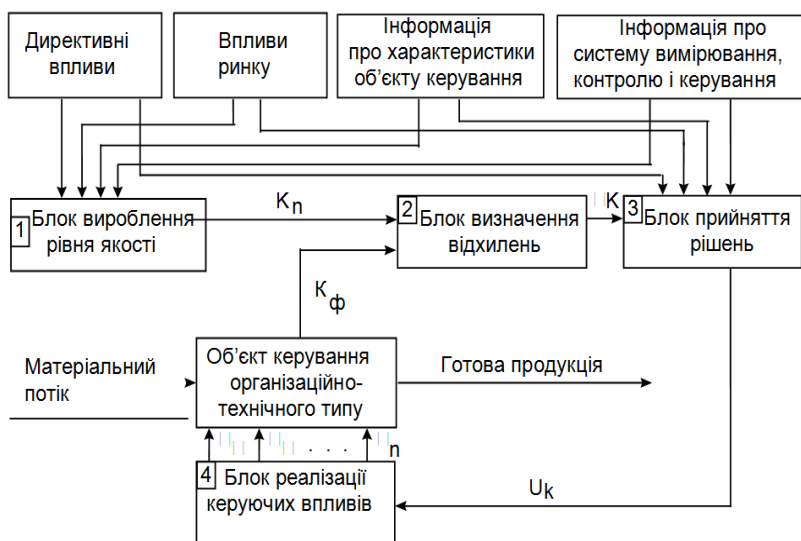


Рис. 3.8. Схема системи керування якістю продукції

Математична модель керування якістю продукції. При розгляді процесу керування якістю продукції в самому загальному вигляді передбачається наявність двох основних множин: Q і W . Перша – це множина готової, проектуваної продукції або продукції, що знаходиться в експлуатації

$$Q = \{g_i\}, \quad (3.29)$$

де g_i – i -а властивість продукції.

Ці властивості, будучи в достатньому ступені формалізовані, по суті справи являють собою параметри, використовуючи які, можна оцінювати якість продукції. До них відносяться експлуатаційні, техніко-економічні, технологічні та інші параметри. Оптимізація цих параметрів складає цільову функцію процесу керування якістю продукції.

Друга множина являє собою сукупність факторів, що суттєво впливають на якість продукції

$$W = \{w_j\}, \quad (3.30)$$

де w_j – j -й фактор.

До них відносяться параметри, що характеризують вихідні для виробництва матеріали, рівень кваліфікації робітників, параметри технологічного процесу і т. ін.

Параметри множини W повинні задовольняти як мінімум двом умовам:

а) вони повинні бути взаємозалежними з параметрами множини Q , тобто суттєво впливати на них;

б) вони самі повинні підкорятися зовнішньому впливові, тобто повинні бути керовані.

в) розробка алгоритмів оптимального керування або вибір методів прогнозування поведінки системи для найбільш раціональної організації її функціонування.

Процес створення нових виробів – один з найбільш складних і важких для моделювання. Це пояснюється тим, що він складається з певної кількості великих і дрібних етапів, підетапів, операцій та інших послідовно чи паралельно здійснюваних актів переходу від менш досконалого і незавершеного до більш конкретного і закінченого. Кожен етап, акт (чи крок) процесу може відрізнятися від попередніх і наступних за формою і змістом, мати різну тривалість, бути рознесеним в просторі і в часі. Разом з тим, усе це різноманіття і розмаїтість відмінних рис кожного кроку на шляху створення виробу необхідно звести до такої безлічі властивостей, яка б відображала реальний стан і була реально доступною для аналізу в процесі дослідження якості продукції; а також дозволяла б оформити процеси створення і аналізу виробу.

Узагальнену модель керування системою за допомогою зворотного зв'язку (ЗЗ) показано на рис.3.9. Тут «керування» включає адміністративний апарат підприємства або керуючий центр якості продукції, що організує функціонування «входу» (усе, що необхідно для виробничого процесу: устаткування, люди, документація, матеріали і т. ін.) і «процесу» (ТП, взаємодія техніки і людини, діяльність системи) з метою досягнення необхідного «виходу» (продукції). «Вихід» контролюється на відповідність вимогам. ЗЗ здійснює регулювання шляхом порівняння фактичного виходу з планованим і вироблення сигналу корекції, тобто ЗЗ сприймає відхилення «виходу» від норми (збої, помилки, дефекти) і дає попередження про небезпеку збою чи відмову системи. «Керування» здійснює вплив на вхід і процес.

Для відображення складних керованих процесів, якими є процеси керування якістю на етапах розробки і виробництва,

необхідна модель, що встановлює взаємозв'язок інформації про вхід X , процес Z , і вихід Y . Таку модель можна зобразити у вигляді, наведеному на рис.3.10, функції контролю тут поширюються і на вихід, і на процес, і на вхід. Окрім вимірювання контрольованих величин X , Y , Z і порівняння їх з установленими нормами, здійснюється запам'ятовування й аналіз даних, у результаті чого установлюється взаємозв'язок $Y = f(X, Z)$.

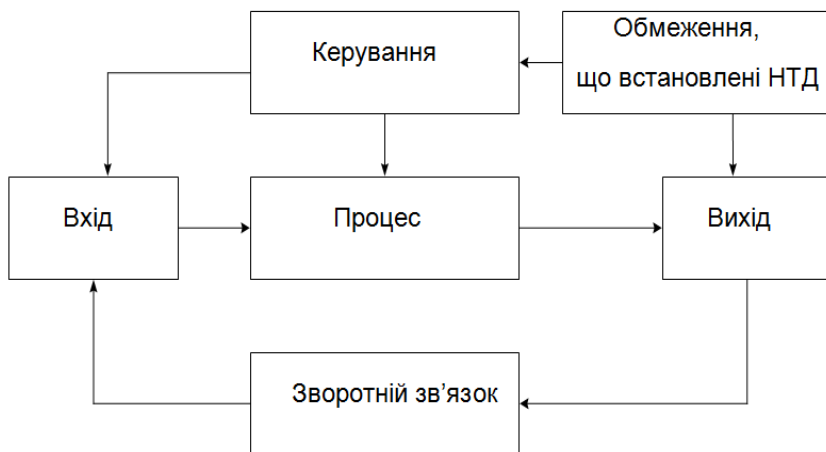


Рис. 3.9. Модель керування якістю продукції

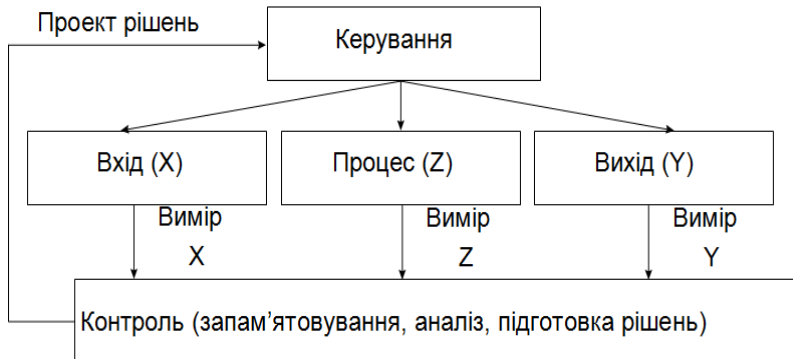


Рис. 3.10. Модель керування складним виробничим процесом для забезпечення якості продукції

Ця модель дозволяє спостерігати за входом, процесом і виходом.

Для подальшої формалізації системи керування якістю представимо її у вигляді, який показано на рис.3.11. Основою такої системи є підсистема забезпечення, яка містить X , Y и Z . Позначимо її через $U(X, Y \text{ и } Z)$. Саме ця підсистема виконує роботу (Z), вона споживає все необхідне для виробничого процесу (X) і видає продукцію (Y).

Наступними важливими підсистемами є контролюючі і керуючі. Позначимо контролюючу підсистему $W(X, Y, Z)$, а керуючу через $V(X, Y, Z)$.

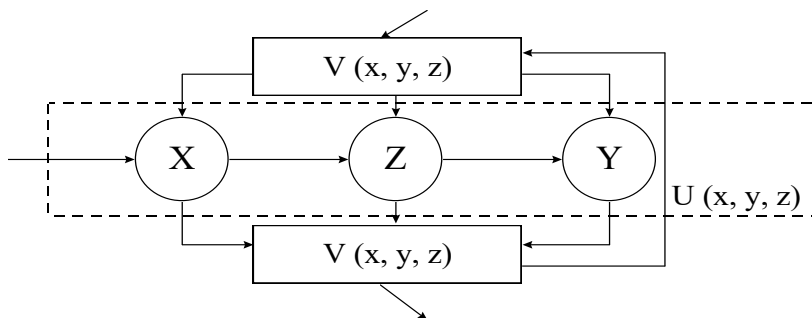


Рис. 3.11. Формалізована модель системи керування якістю

Вони здійснюють добування, обробку, збереження і передавання інформації про X , Y і Z для стабілізації і підтримки стійкого стану всієї системи.

Зв'язки в системі можуть бути як односторонніми $U(X, Y \text{ і } Z) \rightarrow W(X, Y, Z) \rightarrow V(X, Y, Z)$, так і двосторонніми $U \leftrightarrow W \leftrightarrow V \leftrightarrow U$. Такий взаємозв'язок підсистем U , W і V спостерігається на всіх рівнях організації, починаючи від нижчого (на рівні операцій) і закінчуючи вищим. Отже, усі процеси в системі можна розглядати з позицій нижчого або вищого рівнів.

Кожна підсистема являє собою об'єднання підсистем нижчого рівня

$$U = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m U_{ij}, W = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij} V = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m V_{ij}. \quad (3.32)$$

Для формалізації і згортки розмаїтості етапів і операцій

складного процесу керування представимо його у вигляді, показаному на рис 3.12.

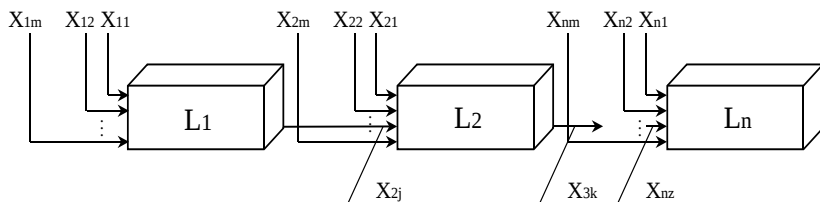


Рис. 3.12. Післяопераційний процес створення виробу з забезпеченням якості на кожній операції

Тоді кожну L_k операцію можна описати множиною векторів входів

$$X_{k-1} = \{X_{k-1,1}; X_{k-1,2}; \dots X_{k-1,n}\}, \quad (3.33)$$

та множиною векторів виходів

$$X_k = \{X_{k1}; X_{k2}; \dots X_{kn}\}, \quad (3.34)$$

або у загальному вигляді

$$X_k = S_k X_{k-1}, \quad (3.35)$$

де S_k – матриця операції L_k , що відображає всі інфор-

маційні зв'язки усередині цієї операції.

Контроль і керування якістю можуть проводитися лише у випадку, коли є потрібне значення вихідного вектору

$$X_{knn} = \{X_{k1np}; X_{k2np}; \dots X_{knnp}\},$$

$X_{k\phi}$ і вимірюване або фактичне значення $X_{k\phi} = \{X_{k1\phi}; X_{k2\phi}; X_{k3\phi}; \dots X_{kn\phi}\}$, а також відомі керовані параметри матриці S_k . У цьому випадку послідовність робіт зі створення виробів можна описати ланцюгом Маркова. Для цього перехід від етапу α_i до α_{i+1} за необхідний проміжок часу t_{i+1} можна представити у вигляді

$$P_{ij} = P\{\alpha_{i+1}\} = P\{X_{i\phi} \in X_{imp}\} = P\left\{\alpha_{k+1} = \frac{\alpha_i}{\alpha_k} = \alpha_i\right\}. \quad (3.36)$$

При цьому повинна виконуватися умова

$$\sum_{i=0}^{n-1} P\{\alpha_{i+1}\} = 1, \quad (3.37)$$

яка складається з того, що якщо для створення виробу необхідний період часу $T_{mp} = \sum_{i=1}^n t_i$, то в будь-який момент $t \leq T_{mp}$ система знаходиться в одному зі станів $\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}$.

У цьому випадку процес створення виробу можна представити у вигляді імовірнісної схеми двома способами. Перший зводиться до складання матриці імовірностей переходу $\{P_{ij}\}_{n,n}$ зі стану i в стан j . Другий спосіб зводиться до зображення імовірнісної схеми процесу за допомогою діаграми переходів або графу імовірностей переходу системи з одного стану в інший.

Статистичний взаємозв'язок показників якості виробу з визначальними факторами. У загальному випадку якість продукції K є функцією $K = \varphi(z_1, z_2, \dots, z_n)$ від показників якості продукції $z_i (i = \overline{1, n})$. У свою чергу, z_1 функціонально пов'язаний з визначальними факторами $X_j (j = \overline{1, K})$. Тому

$$K = f(x_1, x_2, \dots, x_k), \quad (3.38)$$

і коливання якості δK , обумовлене варіацією факторів δx_j , можна представити деяким співвідношенням

$$\delta K = F(\delta x_1, \delta x_2, \dots, \delta x_k).$$

Технічні умови встановлюють перелік показників якості продукції або параметрів $Z_i (i = \overline{1, m})$, що повинні знаходитися в межах установлених норм при впливі зовнішніх факторів B_j , $j = 1, 2, \dots, n$ (j – кількість зовнішніх факторів: кліматичних, механічних, технологічних, організаційних та ін.). Виріб вва-

жається придатним, якщо всі його параметри Z_i знаходяться в межах установлених границь, тобто якщо виконуються нерівності

$$Z_{11н} \leq Z_1(B_1) \leq Z_{11в}, \quad Z_{ijн} \leq Z_i(B_j) \leq Z_{ijв}, \quad Z_{mnн} \leq Z_m(B_n) \leq Z_{mnв}, \quad (3.39)$$

де $Z_{ijн}$ і $Z_{ijв}$ – нижні і верхні границі i -х параметрів при j -х умовах ($i = \overline{1, m}, m; j = \overline{1, n}$).

Відповідно до встановленого в ТУ порядку оцінки якості продукції зручно прийняти наступне формулювання для кількісної оцінки якості.

Кількісною характеристикою якості виробу є P_k – імовірність відповідності його фактичних параметрів необхідним, тобто

$$\begin{aligned} P_k &= P_{11} \{Z_{11н} \leq Z_1(B_1) \leq Z_{11в}\} \times \\ &\times P_{12} \{Z_{12н} \leq Z_i(B_j) \leq Z_{12в}\} \dots \\ &\dots P_{mn} \{Z_{mnн} \leq Z_m(B_n) \leq Z_{mnв}\}, \end{aligned} \quad (3.40)$$

або

$$P_k = \prod_{i \in m} \prod_{j \in n} P_{ij}. \quad (3.41)$$

Тут P_{ij} – імовірність відповідності i -го параметру вимогам ТУ при j -му впливі

$$P_{ij} = \frac{(N - n_{ij})}{N}, \quad (3.42)$$

де n_{ij} – кількість відмовлень виробів за i -м параметром при j -му впливі;

N – загальна кількість випробовуваних виробів.

Вихідний вираз (3.40) справедливий в тому випадку, якщо контрольовані параметри Z_λ взаємно не корельовані. У протилежному випадку потрібно вводити умовні імовірності.

Зручність виразів (3.40) – (3.42) для кількісної оцінки якості продукції очевидна: вони не вимагають зміни існуючих форм обліку відмовлень n_{ij} , що звичайно приводяться в таблицях вимірів і іспитів.

Розглянемо взаємозв'язок показників якості продукції з технологічними факторами $y_2(z = \overline{1, \alpha})$ і з властивостями вихідних матеріалів для виробництва продукції $x_t(m = \overline{1, S})$.

Взаємозв'язок показників якості продукції Z_λ з технологічними факторами можна представити у формі поліноміального регресивного рівняння, отриманого статистичними методами або методами факторного експерименту

$$Z_{\lambda} = a_0 + \sum_{i=1}^r a_i y_i + \sum_{i=1}^t b_i x_i + \sum_{i,j=1}^t a_{ij} x_i x_j + \sum_{i,j=1}^r b_{ij} y_i y_j + \sum_{i,j=1} c_{ij} x_i x_j. \quad (3.43)$$

Знайдені за допомогою (3.36) для кожних фіксованих y_i і x_i значення Z_{λ} дають можливість перевірити відповідність параметра продукції технічним умовам чи технічному завданню.

Аналіз ефективності системи керування якістю продукції. Для оцінки ефективності системи S і її підсистем U , W і V застосуємо методологію аналізу і синтезу, характерну для загальних систем. При цьому будемо виходити з того, що показники ефективності P_k , P_t і P_{ε} в підсистемі $U(x, y, z)$ не можуть бути збережені і поліпшені без зусиль і витрат у системах W і V . Показник якості P_k задається формулою (3.40); P_t (показник оперативності) – це імовірність події $m \leq t_{\text{пл}}$, тобто $P\{m \leq t_{\text{пл}}\}$; P_{ε} – імовірність того, що при функціонуванні системи усі вимоги до економічних показників буде виконано, тобто

$$P_{\varepsilon} = P\{C_{in} \leq C_i \leq C_{iv}\}, \quad (3.44)$$

де C_{in} і C_{iv} – нижні і верхні норми економічних показників C_i .

Ефективність системи S залежить не тільки від наявних ресурсів R , але і від способів їхнього використання, способів і стратегій дії внутрішніх підсистем.

Загальний критерій ефективності системи S можна виразити трьома складовими: якістю виконання задачі P_k , часом виконання t і економічними витратами ε . Взаємозв'язок цих показників із загальним показником ефективності можна представити у вигляді

$$P_{\text{эф}} = P_k \cdot P_{\varepsilon} \cdot P_t. \quad (3.45)$$

Оскільки показник якості P_k не планується так жорстко, як P_{ε} і P_t , то ефективність роботи системи фактично оцінюється співвідношенням

$$P_{\text{эф}} = P_{\varepsilon} \cdot P_t, \quad (3.46)$$

яке допускає досягнення планових показників при значних коливаннях якісних показників.

Показник ефективності системи S є показником більш високого рангу, ніж показник якості, тому що він містить у собі останній. Тому можна стверджувати, що комплексний показник $P_{\text{эф}}$, подібно до P_k , містить у собі велику кількість ієрархічних показників. Тому ефективність можна оцінити за співвідношенням

$$Z_k = \frac{Qg_1}{g_0}, \quad (3.47)$$

де $Q = Q_1 / Q_0$; Q_1 і Q_0 – відповідно плановий і фактичний показник якості продукції;

g_1 і g_0 – кількість планових і реалізованих виробів.

Узагальнений по всьому підприємству комплексний показник якості продукції, який оцінюється бальним методом, можна визначити за формулою

$$Q = \sum_{i=1}^n g_i v_i / \sum_{i=1}^n v_i, \quad (3.48)$$

де g_i – оцінка в балах кожного виду продукції;

v_i – обсяг виробництва відповідних видів продукції.

У промисловості практикується метод економічного стимулювання підвищення якості продукції. Економічні показники виробництва виробів залежать від обсягу їхнього річного випуску Q_p (рис.3.13).

Тому і ціна C є функцією Q_p

$$C = f(Q_p).$$

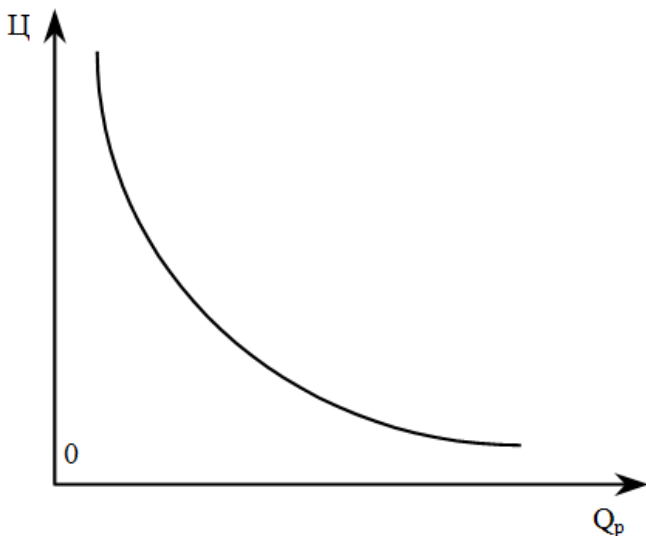


Рис. 3.13. Залежність ціни Π від обсягу річного випуску виробів

В свою чергу $Q_p = f(T_q)$, де T_q – час випуску виробів. Отже, і $\Pi = \Pi(T_q)$. Для стимулювання виробництва нових виробів пропонується встановлювати Π таку, щоб забезпечувалася рентабельність

$$\Pi = C(1 + \rho)(1 + \Delta\rho), \quad (3.49)$$

де C – повна собівартість виробу;

ρ – рівень рентабельності, що передбачає відшкодування витрат підприємству-виготовлювачеві за основні і нормовані

оборотні кошти;

$\Delta\rho$ – рівень додаткової рентабельності даного виробу, прийнятий при встановленні ціни.

Комплексне оцінення ефективності системи S можна зробити з урахуванням сумарного показника ефективності

$$\varepsilon_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n b_i \varepsilon_i, \quad (3.50)$$

та сумарного показника витрат

$$C = \sum_{j=1}^m C_j, \quad (3.51)$$

шляхом визначення відношення

$$K = \varepsilon_{\Sigma} / C, \quad (3.52)$$

або різниці

$$K = \varepsilon_{\Sigma} - C. \quad (3.53)$$

У виразах (3.52) і (3.53) K є кількісною мірою ефективності системи S , що визначається, виходячи з враховуваних показників ε_i і вагових коефіцієнтів b_i (у вартісному вираженні). У загальному випадку кількість показників ефективності ε_i може не дорівнювати кількості враховуваних витрат $C_i (n \neq m)$.

За допомогою наведених співвідношень можна дати порівняльну оцінку ефективності різних систем S_α , наприклад, старої S_1 і нової S_2 ; підсистем U_1 і U_2 , W_1 і W_2 , V_1 і V_2 .

Це порівняння може здійснюватися як за комплексними показниками ε_Σ , так і за частковими показниками ефективності ε_i .

Запитання для самоперевірки

1. Чому конструктивно-технічні особливості ТЗА залежать від частоти?
2. Як реалізується системний підхід у виробництві ТЗА?
3. Як реалізуються вимоги до сучасних ТЗА при їх виробництві?
4. Які сучасні тенденції створення ТЗА?
5. Поясніть, яким чином виробничий процес пов'язаний з технологічним.
6. Поясніть зв'язок між продуктивністю праці й організацією ТП.
7. Як реалізуються основні принципи організації виробництва в гнучкому інтегрованому виробництві?
8. Поясніть зв'язок між продуктивністю устаткування, обсягом продукції, що випускається, і сумарними витратами на виробництво.
9. Яким чином оцінюють прогресивність нової техніки?
10. Як чином можна оцінити якість продукції?
11. Поясніть схему керування ТП з метою забезпечення високої якості продукції.
12. Як класифікують елементи ТЗА?
13. Яким конструктивно-технологічним вимогам повинні відповідати ТЗА?
14. Поясніть поняття «мікромініатюризація».
15. Що таке тип виробництва? Які типи виробництва ви знаєте? Охарактеризуйте кожний з них.
16. Що таке коефіцієнт закріплення операцій?
17. Як визначається кількість робочих місць? Яким основним вимогам повинне задовольняти кожне підприємство?

4 ТЕХНІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

4.1 Організація науково-дослідних робіт

4.1.1 Поняття науково-дослідної роботи (НДР)

Діяльність – це специфічна форма відносин до навколишнього світу, зміст якої складає доцільну його зміну в інтересах людей, суспільства в цілому.

Діяльність містить у собі такі поняття:

- а) мета;
- б) засоби досягнення мети;
- в) процес діяльності;
- г) результат діяльності.

Творча діяльність – це діяльність, що характеризується новизною або унікальністю технічних рішень. Необхідною умовою творчої діяльності є практична цінність.

Науково-дослідна робота (НДР) є творчою діяльністю, виконуваною в рамках тематики досліджень підприємства, організації чи установи.

Метою НДР є створення нових наукових рішень у рамках загальної тематики досліджень.

Засоби досягнення мети – сукупність існуючих методів теоретичних і експериментальних досліджень.

Результатом НДР є:

- а) відкриття;
- б) винахід;
- в) корисна модель;
- г) раціоналізаторська пропозиція.

Відкриття – встановлення невідомих раніше об'єктивно існуючих закономірностей, властивостей, явищ навколишнього світу, що вносить докорінні зміни у рівень пізнання.

Винахід – нове технічне вирішення задачі в будь-якій галузі практичної діяльності, яке має істотні відмінності і дає позитивний економічний ефект.

Об'єктом винаходу є:

- а) пристрій;
- б) спосіб;
- в) речовина;
- г) застосування відомих раніше пристроїв, способів, речовин за новим призначенням.

Раціоналізаторська пропозиція – технічне рішення, що є новим і корисним для підприємства, організації або установи, в якій воно подане, і передбачає змінення конструкції чи технології виробництва виробів, застосовуваної техніки або складу матеріалів.

Рівнями винахідницьких задач є такі:

- а) використання готового об'єкта майже без змін за новим призначенням;

- б) вибір одного об'єкта з декількох;
- в) часткова зміна обраного об'єкта;
- г) створення нового об'єкта або повне його змінення;
- д) створення нового комплексу об'єктів.

4.1.2 Основні етапи НДР, їх зміст

Основними етапами НДР є:

- а) інформаційний огляд з тематики наукових досліджень;
- б) постановка задачі;
- в) математичне і фізичне моделювання об'єкта досліджень;
- г) проведення експериментальних досліджень;
- д) уточнення задачі;
- е) доробка розроблених моделей і повторне проведення експериментальних досліджень;
- ж) оформлення результатів НДР.

На етапі інформаційного огляду виконуються такі види робіт:

- а) визначення класу об'єкта досліджень відповідно до міжнародного класифікатора винаходів (МКВ) і універсальної десятикової класифікації (УДК);

б) визначення необхідної глибини інформаційного пошуку (кількості останніх років, протягом яких публікації підлягають розгляду);

в) проведення огляду патентної документації;

г) проведення бібліографічного огляду за досліджуваною тематикою;

д) оформлення звіту з проведених досліджень.

На етапі постановки задачі здійснюється формулювання задачі дослідження для досягнення кінцевого результату.

На етапі математичного і фізичного моделювання об'єкта досліджень виконуються такі види робіт:

а) вибір математичного апарата для опису об'єкта досліджень;

б) формулювання граничних умов функціонування об'єкта, формулювання умовностей і спрощень;

в) математичне моделювання об'єкта досліджень;

г) побудова й аналіз фізичної моделі об'єкта досліджень;

д) оформлення результатів досліджень.

На етапі проведення експериментальних досліджень здійснюються:

а) проектування і виготовлення дослідного зразка;

б) дослідження дослідного зразка, виявлення недоліків проведеної розробки.

На етапі уточнення задачі здійснюється внесення змін у

постановку задачі на основі проведених теоретичних і практичних досліджень.

На етапі доробки розроблених моделей і повторного проведення експериментальних досліджень виконуються такі роботи:

а) визначення придатності математичного апарата, застосовуваного під час проведення наукових досліджень;

б) визначення коректності граничних умов, умовностей і спрощень;

в) уточнення граничних умов, умовностей і спрощень;

г) математичне моделювання об'єкта досліджень;

д) фізичне моделювання об'єкта досліджень;

е) оформлення результатів досліджень.

На етапі оформлення результатів НДР виконується таке:

а) оформлення патентної документації;

б) оформлення звіту за результатами НДР;

в) публікації в засобах масової інформації.

4.1.3 Об'єкти автоматизації НДР

До числа можливих об'єктів автоматизації НДР можна віднести такі:

а) бази даних і бази знань за тематикою наукових до-

сліджень;

б) методики розрахунків елементів систем і аналізу якості розроблювальних систем;

в) моделі типових елементів систем;

г) методики й апаратні засоби вимірювання контрольованих величин;

д) методики обробки результатів досліджень.

4.1.4 Методика автоматизації НДР

Під час проведення робіт з автоматизації НДР необхідно вирішити такі задачі:

а) автоматизація робіт з інформаційного огляду в рамках тематики досліджень;

б) автоматизація моделювання найбільш розповсюджених або уніфікованих елементів систем;

в) автоматизація оцінки якості розроблених систем;

г) автоматизація вимірювання контрольованої величини;

д) автоматизація обробки результатів вимірювань.

Розв'язувані задачі визначають напрямки виконуваних робіт.

Основними роботами, що здійснюються під час автоматизації наукових досліджень, є:

а) виділення основних класифікаційних ознак об'єкта дослідження;

б) розробка комп'ютерної бази даних і бази знань для опису об'єкта дослідження;

в) заповнення бази даних і бази знань для опису об'єкта дослідження;

г) виділення найбільш розповсюджених елементів систем;

д) розробка математичних моделей вибраних елементів систем;

е) складання бібліотеки програмного забезпечення для моделювання найбільш розповсюджених елементів систем;

є) визначення математичного забезпечення, необхідного для моделювання й аналізу об'єкта досліджень;

ж) вибір або, у разі необхідності, розробка пакета прикладних програм для здійснення моделювання об'єкта досліджень;

з) вибір методик для оцінки якості розроблюваних систем;

и) розробка програмного забезпечення для оцінки якості розроблюваних систем;

і) класифікація фізичних величин, що підлягають контролю в процесі досліджень;

ї) визначення діапазонів зміни вибраних величин;

й) розробка методик автоматизованого контролю досліджуваних величин;

к) розробка керуючих алгоритмів систем автоматизованого керування вимірюваннями фізичних величин;

л) розробка і виготовлення апаратних засобів автоматизації вимірювань;

м) вибір методик оцінки результатів вимірювань;

н) вибір або розробка програмного забезпечення для обробки результатів вимірювань;

о) складання бібліотеки прикладних програм для проведення науково-дослідних робіт;

п) навчання персоналу.

4.2 Організація конструкторської підготовки виробництва

4.2.1 Основні поняття

В основі автоматизації конструкторської підготовки виробництва лежать системи автоматизованого проектування (САПР).

САПР – організаційно-технічна система, що складається з комплексу засобів автоматизації проектувальних робіт.

Основними компонентами САПР є:

а) методичне забезпечення;

б) лінгвістичне забезпечення;

в) математичне забезпечення;

- г) програмне забезпечення;
- д) технічне забезпечення;
- е) інформаційне забезпечення;
- ж) організаційне забезпечення.

Методичне забезпечення містить опис САПР, дані про склад комплексу засобів автоматизації і порядок їхньої експлуатації.

Лінгвістичне забезпечення – сукупність спеціальних мовних засобів проектування, призначених для спілкування людини з технічними і програмними компонентами САПР.

Математичне забезпечення – математичні методи, моделі й алгоритми, необхідні для здійснення автоматизованого проектування.

Програмне забезпечення – комплекс програм і експлуатаційної документації до них.

Технічне забезпечення – комплекс усіх технічних засобів, використовуваних під час автоматизованого проектування і для підтримки засобів автоматизації у працездатному стані.

Інформаційне забезпечення – довідкова інформація, використовувана для вироблення проектних рішень (прототипи, устаткування тощо).

Організаційне забезпечення – комплект документів, що встановлює розподіл обов’язків усіх проектувальних і обслуговуючих підрозділів, відповідальність фахівців за певні види робіт, пріоритети користування засобами САПР і інші організаційні заходи.

4.2.2 Призначення автоматизованої системи конструкторської підготовки виробництва, її функції і класифікація

Призначенням автоматизованої системи конструкторської підготовки виробництва є забезпечення можливості автоматизованого проектування конструкції виробу в регламентованих умовах виробництва (тип виробництва, обсяг партії, періодичність виготовлення партій виробу даного найменування).

Основні вимоги до САПР:

- а) єдність принципів побудови об'єктів проектування;
- б) типізація і стандартизація елементів об'єктів проектування;
- в) уніфікація процесів проектування;
- г) великий обсяг проектних робіт при індивідуальних вимогах до кожного об'єкта проектування.

Основними функціями автоматизованої системи конструкторської підготовки виробництва є:

- а) автоматизований пошук і вибір з різних джерел необхідної інформації;
- б) автоматизований аналіз зазначеної інформації;
- в) автоматизоване виконання проектних, економічних і перевіряльних розрахунків;
- г) автоматизоване прийняття проектних рішень;
- д) автоматизоване оформлення результатів проектування у вигляді конструкторської, нормативно-технічної й експлуатаційної документації.

Інформаційні потоки САПР визначаються вхідною і вихідною інформацією для САПР.

Вхідною інформацією для САПР є:

- а) технічне завдання на розробку нового або модифікацію існуючого виробу;
- б) планові строки розробки виробу в цілому і його складових частинах;
- в) нормативно-технічна документація;
- г) нормативи планування рентабельності, собівартості, наведених витрат, витрат матеріалів, сировини тощо;
- д) конструкторсько-технологічні обмеження;
- е) класифікація і кодування виробів;
- ж) засоби і методика технічного контролю.

Вихідною інформацією є:

- а) комплект конструкторської, нормативно-технічної й експлуатаційної документації на виріб;
- б) стан робіт з проектування виробу і його складових частин;
- в) сировина, матеріали і покупні вироби, необхідні для виготовлення даного об'єкта.

Класифікація САПР здійснюється за такими класифікаційними ознаками:

- а) тип об'єкта проектування (наприклад, САПР машинобудівного виробництва, САПР об'єктів будівництва, САПР інте-

грованих систем тощо);

б) різновид об'єкта проектування (конкретний виріб);

в) складність об'єкта проектування (прості, середньої складності, складні, дуже складні);

г) рівень автоматизації проектування (визначається відсоток процедур, виконуваних автоматично);

д) комплексність автоматизації проектування (одноетапні, багатоетапні, комплексні САПР);

е) характер проектних документів, що випускаються (текстові і графічні документи, документи на різних видах носіїв);

ж) кількість проектних документів, що випускаються на протязі року (САПР малої – до 105, середньої – 105 - 106, високої – понад 106 документів на рік);

з) кількість рівнів у структурі технічного забезпечення (однорівневі, дворівневі тощо).

4.3 Технологічна підготовка виробництва (ТПВ)

4.3.1 Основні поняття

Технологічна підготовка виробництва – сукупність заходів, що забезпечують технологічну готовність виробництва.

Технологічна готовність виробництва – наявність на підприємстві повних комплектів конструкторської і технологічної документації та засобів технологічного оснащення, необ-

хідних для здійснення заданого обсягу випуску продукції з установленними техніко-економічними показниками.

Функціональний, виробничий і адміністративний склад системи ТПВ. Функціональний склад системи ТПВ показаний на рис. 4.1 і являє собою сукупність процесів, виконуваних відповідно до основних функцій ТПВ.

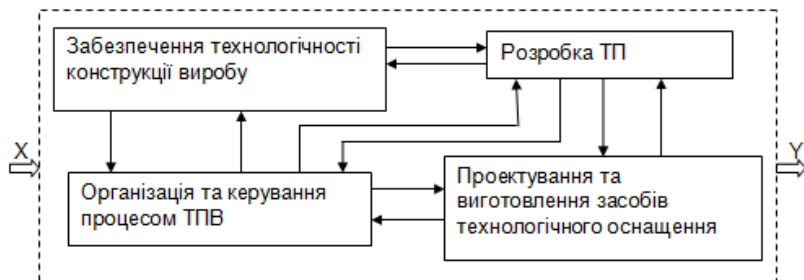


Рис. 4.1. Функціональна система ТПВ

Кожна задача характеризується отриманням певної кількості визначених вихідних документів.

До вхідної інформації (X) системи ТПВ (рис. 4.1) відносяться конструкторська і планово-економічна документація, плани з трудомісткості і собівартості, виробнича програма, директивні терміни освоєння продукції. Вихідна інформація (Y) містить відомості про якість і технічні характеристики виробу, потреби у виробничому устаткуванні і технологічному оснащенні та ін.

Основними видами виробництва є: ливарне, штампувально-заготівельне, механічне, зварювальне, термічне, виробництво деталей із пластмас, хіміко-гальванічне, складально-монтажне.

Адміністративний склад системи ТПВ відображає склад служб і виконавців, що беруть участь у підготуванні виробництва.

Функції ТПВ – комплекс задач з технологічної підготовки виробництва, об'єднаних загальною метою їхнього вирішення.

Основними функціями ТПВ є:

- а) забезпечення технологічності конструкції виробу;
- б) проектування технологічних процесів виготовлення виробів;
- в) вибір і розміщення устаткування;
- г) вибір засобів технологічного оснащення;
- д) розробка методів технічного контролю;
- е) нормування матеріально-технічних витрат;
- є) проектування і виготовлення засобів технологічного оснащення;
- ж) керування технологічною підготовкою виробництва.

Задача ТПВ полягає у виконанні закінченої частини робіт у складі певної функції технологічної підготовки виробництва.

Задачі з забезпечення технологічності конструкції виробу:

- а) проведення технологічного контролю конструкторської документації;
- б) оцінення рівня технологічності конструкції виробу;
- в) відпрацювання конструкції виробу на технологічність;

г) внесення необхідних змін у конструкцію виробу та документацію.

Задачі з розробки технологічних процесів:

а) розробка, стандартизація і використання типових технологічних процесів, технологічних процесів із застосуванням методів групової обробки;

б) розробка і застосування робочих технологічних процесів на деталі і складальні одиниці;

в) організація заводських фондів документації на типові технологічні процеси, технологічні процеси з застосуванням методів групової обробки і технологічні операції.

Задачі з проектування і виготовлення засобів технологічного оснащення:

а) проведення уніфікації і стандартизації засобів технологічного оснащення;

б) організація застосування засобів технологічного оснащення (у тому числі уніфікованих і стандартних), використання загальнодержавних і галузевих баз прокату цих засобів (якщо вони є);

в) проектування і виготовлення спеціальних засобів технологічного оснащення.

Задачі з організації і керування процесом ТПВ:

а) перспективне, річне і поточне планування розвитку й удосконалення ТПВ на підприємстві;

б) використання сучасних методів вирішення задач ТПВ із застосуванням засобів механізації й автоматизації інженерно-технічних і управлінських робіт;

в) організація й удосконалення структури служб ТПВ.

Основними вимогами до ТПВ є:

а) ТПВ повинна здійснюватися відповідно до правил і положень, встановлених діючими стандартами;

б) ТПВ має забезпечувати повну технологічну готовність підприємства до виробництва виробу вищої категорії якості відповідно до заданих техніко-економічних показників, що установлюють високий технічний рівень і мінімальні трудові і матеріальні витрати;

в) ТПВ повинна починатися з отримання вихідних документів на розробку і виробництво нових виробів, організацію нового або удосконалення діючого виробництва;

г) ТПВ має ґрунтуватися на застосуванні раціональних параметричних і типорозмірних рядів об'єктів виробництва і засобів технологічного оснащення, установлених стандартами відповідно до потреб народного господарства, населення, оборони країни й експорту;

д) порядок освоєння виробництва, контролю технічного рівня і якості виробів має відповідати вимогам стандартів на порядок розробки і постановку продукції на виробництво;

е) ТПВ повинна здійснюватися на основі застосування сучасних методів організації і керування (наприклад, системно-структурний аналіз; моделювання систем; економіко-математичні методи тощо);

є) розробка, оформлення і обіг документації під час ТПВ повинні здійснюватися відповідно до вимог стандартів уніфікованих систем документації, у тому числі стандартів Єдиної системи конструкторської документації, Єдиної системи технологічної документації;

ж) весь комплекс робіт має виконуватися відповідно до вимог безпеки праці.

4.3.2 Основний зміст робіт з ТПВ

Основними стадіями проектування і виготовлення виробу є:

- а) технічна пропозиція;
- б) технічне завдання;
- в) ескізний проект;
- г) технічний проект;
- д) робочий проект;
- е) виготовлення виробу.

Зміст робіт з ТПВ наведено у таблиці 4.1.

Слід зазначити, що наведений перелік робіт є типовим і рекомендованим для застосування.

Таблиця 4.1 – Основний зміст робіт з ТПВ

Стадії проектування та виготовлення виробу	Основний зміст робіт з ТПВ	Тип виробництва		
		одиничне	серійне	масове
Технічне завдання	Установлені вимоги до виробу, що розробляється, за показниками технологічності. Установлення підприємства виробника	+		
Технічна пропозиція	Проведення на підприємстві виробнику аналізу організаційно-технічного рівня виробництва	+		
Ескізний проект	Розробка плану заходів з підвищення організаційно-технічного рівня виробництва	+		
Технічний проект	Визначення потреб у додаткових засобах технологічного оснащення. Визначення номенклатури технологічних процесів за видами виробництва, які підлягають розробленню. Проведення експериментально-дослідних робіт з удосконалення технології виготовлення. Визначення і розміщення замовлень на виробництво з кооперації заготованок, деталей, складальних одиниць, технологічного оснащення.	+		

Робоча доку- ментація	Класифікація деталей, складальних одиниць виробу за діючими технологічними процесами і стандартними засобами технологічного оснащення. Розробка прогресивних технологічних процесів виготовлення, контролю, випробування виробу. Розробка відомості потреби в засобах технологічного оснащення. Розробка технічних завдань на дослідно-конструкторські роботи зі створення спеціальних засобів технологічного оснащення. Розробка відомостей потреби в сировині, матеріалах та комплектуючих виробах. Розрахунок планової трудомісткості виготовлення виробу.	+		
Виготовлення виробу	Виготовлення засобів технологічного оснащення. Переналадження технологічного оснащення і перекомпонування обладнання. Впровадження розроблених технологічних процесів. Перевірятьний розрахунок техніко-економічних показників виготовлення виробу. Оцінка та атестація технологічного процесу і технологічного рівня виробництва.	+	+	

4.3.3 Оцінка рівня технологічної підготовки виробництва

Показники рівня технологічної підготовки виробництва для підприємств електронної галузі наведено в табл. 4.2.

Основний зміст робіт з ТПВ, які виконуються на стадії проектування й виготовлення виробу, приведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.2 – Показники рівня технологічної підготовки виробництва

Показники	Нормативний рівень	Формула розрахунку	Прийняті позначення
1. Коефіцієнт застосування типових технологічних процесів	0,8	$K_{1,1} = \frac{Q_{т.т.п}}{Q_{т.п}}$	$Q_{т.т.п}$ – кількість застосовуваних типових технологічних процесів виготовлення, контролю, випробування; $Q_{т.п}$ – загальна кількість застосовуваних технологічних процесів
2. Коефіцієнт автоматизації проектування технологічних процесів	0,6	$K_{1,2} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Q_{а.т.п}}{Q_{т.п}}}{n}$	$Q_{а.т.п}$ – кількість технологічних процесів, спроектованих автоматизовано за допомогою ЕОМ за рік; $Q_{т.п}$ – загальна кількість спроектованих за рік технологічних процесів; n – кількість років
3. Коефіцієнт уніфікації технологічної документації	0,9	$K_{1,3} = \frac{Q_{у.ф}}{Q_{ф}}$	$Q_{у.ф}$ – кількість найменувань форм документів, які відповідають стандартам; $Q_{ф}$ – загальна кількість найменувань форм документів, які застосовуються в ТПВ
4. Коефіцієнт забезпеченості нормативами для проектування	0,85	$K_{1,4} = \frac{Q_{н}}{Q_{п.н}}$	$Q_{н}$ – загальна кількість нормативів, які є на підприємстві, для вирішення задач ТПВ; $Q_{п.н}$ – потрібна кількість нормативів для вирішення задач ТПВ
5. Коефіцієнт автоматизації підготовки програм для верстатів ЧПК	0,7	$K_{1,5} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Q_{а.к.п}}{Q_{о.к.п}}}{n}$	$Q_{а.к.п}$ – кількість програм, які підготовлені за допомогою ЕОМ (автоматизованих) за рік; $Q_{о.к.п}$ – загальна кількість розроблених за рік програм; n – кількість років

Продовження таблиці 4.2

Показники	Нормативний рівень	Формула розрахунку	Прийняті позначення
6. Коефіцієнт уніфікації класифікаторів техніко-економічної інформації (ТЕІ)	0,71	$K_{1,6} = \frac{Q_{y,k}}{Q_k}$	$Q_{y,k}$ – загальна кількість класифікаторів ТЕІ, які використовуються в ТПВ і відповідають загальнодержавним та галузевим системам класифікації; Q_k – загальна кількість класифікаторів ТЕІ, які використовуються в ТПВ
7. Коефіцієнт автоматизації проектування засобів технологічного оснащення	0,58	$K_{2,1} = \frac{0,2K_{2,1,1} + 0,4K_{2,1,2} + 0,25K_{2,1,3}}{0,85}$	
8. Коефіцієнт автоматизації проектування інструменту	0,72	$K_{2,1,1} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Q_{a,i}}{Q_n}}{n}$	$Q_{a,i}$ – кількість типорозмірів інструменту, спроектованого автоматизовано на ЕОМ на протяженні року; Q_n – загальна кількість типорозмірів спроектованого за рік інструменту; n – кількість років
9. Коефіцієнт автоматизації проектування оснащення	0,55	$K_{2,1,2} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Q_{a,o}}{Q_o}}{n}$	$Q_{a,o}$ – кількість типорозмірів оснащення, спроектованого автоматизовано на ЕОМ за рік; Q_o – загальна кількість типорозмірів спроектованого за рік оснащення; n – кількість років
10. Коефіцієнт автоматизації проектування технологічного обладнання	0,5	$K_{2,1,3} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Q_{a,t,o}}{Q_{t,o}}}{n}$	$Q_{a,t,o}$ – кількість типорозмірів технологічного обладнання, спроектованого автоматизовано на ЕОМ за рік; $Q_{t,o}$ – загальна кількість типорозмірів спроектованого за рік технологічного обладнання; n – кількість років

11. Коефіцієнт застосування стандартних засобів технологічного оснащення	0,69	$K_{2,2} = \frac{0,15K_{2,2,1} + 0,25K_{2,2,2} + 0,4K_{2,2,3} + 0,18K_{2,2,4}}{0,98}$
--	------	---

Продовження таблиці 4.2

Показники	Нормативний рівень	Формула розрахунку	Прийняті позначення
12. Коефіцієнт стандартизації технологічного оснащення	0,75	$K_{2,2,1} = \frac{Q_{сг.о}}{Q_{о.о}}$	$Q_{сг.о}$ – загальна кількість типорозмірів стандартних систем оснащення, які використовуються на підприємстві при виготовленні виробів; $Q_{о.о}$ – загальна кількість типорозмірів оснащення, яке використовується на підприємстві при виготовленні виробів
13. Коефіцієнт спеціалізації проектування технологічного оснащення	0,66	$K_{2,2,2} = \frac{Q_{с.о}}{Q_{о.о}}$	$Q_{с.о}$ – загальна кількість типорозмірів оснащення, спроектованого при освоєнні виробів спеціалізованою проектною організацією
14. Коефіцієнт спеціалізованого виробництва технологічного оснащення	0,6	$K_{2,2,3} = \frac{Q_{с.п.о}}{Q_{о.о}}$	$Q_{с.п.о}$ – загальна кількість типорозмірів оснащення, виготовленого на спеціальних підприємствах з виготовлення технологічного оснащення, на вироб
15. Коефіцієнт спеціалізованого виробництва інструменту	0,9	$K_{2,2,4} = \frac{Q_{с.п.и}}{Q_{о.и}}$	$Q_{с.п.и}$ – загальна кількість типорозмірів інструмента, виготовленого на спеціалізованих інструментальних заводах, на вироб; $Q_{о.и}$ – загальна кількість типорозмірів використовуваного інструмента на вироб

16. Коефіцієнт спадковості засобів технологічного оснащення	0,44	$K_{2.3} = \frac{0,29 K_{2.3.1} + 0,24 K_{2.3.2} + 0,34 K_{2.3.3}}{0,87}$	
17. Коефіцієнт застосування агрегатного обладнання	0,38	$K_{2.3.1} = \frac{Q_{\text{аг.ос}}}{Q_{\text{ос}}}$	$Q_{\text{аг.ос}}$ – кількість агрегатного обладнання, яке використовується на підприємстві при виготовленні виробу; $Q_{\text{ос}}$ – загальна кількість обладнання на виріб
18. Коефіцієнт застосування верстатів с ЧПК	0,28	$K_{2.3.2} = \frac{Q_{\text{чпу}}}{Q_{\text{ос}}}$	$Q_{\text{чпу}}$ – кількість обладнання з ЧПК на виріб

Продовження таблиці 4.2

Показники	Нормативний рівень	Формула розрахунку	Прийняті позначення
19. Коефіцієнт застосування переналаджувального оснащення	0,6	$K_{2.3.3} = \frac{Q_{\text{п.о}}}{Q_{\text{о.о}}}$	$Q_{\text{п.о}}$ – кількість типорозмірів переналаджуваних систем оснащення на виріб
20. Коефіцієнт технологічності конструкцій виробів	0,61	$n_1 = \frac{K}{K_s}$	K – показник, досягнутий в процесі проектування або після його завершення; K_s – показник базовий, відносно якого здійснюється порівняння; K і K_s – визначаються відповідно до нормативно-технічних документів
21. Коефіцієнт уніфікації виробів	0,65	$n_{11} = \frac{n_y}{n_d} = \frac{n_d - n_o}{n_d}$	n_y – кількість типорозмірів уніфікованих деталей у виробі (включаючи стандартні); n_o – кількість типорозмірів оригінальних деталей у виробі; n_d – загальна кількість типорозмірів деталей у виробі

22. Коефіцієнт використання матеріалів	0,64	$n_{12} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n M_i} \sum_{i=1}^n M_i$	M_M – маса матеріалу, витраченого на виготовлення складової частини виробу; M – маса складової частини виробу
23. Коефіцієнт завантаженості обладнання	0,8	$n_{21} = \frac{F_d}{F_n}$	F_d – дійсний річний фонд часу одиниці технологічного обладнання в годинах; F_n – номінальний річний фонд часу в годинах
24. Питома вага застосування прогресивних високоефективних методів обробки	0,45	$n_{22} = \frac{Q_{e.m}}{Q_m}$	$Q_{e.m}$ – кількість ефективних методів обробки, застосовуваних при виготовленні виробу; Q_m – загальна кількість методів, застосовуваних при виготовленні виробу

Продовження таблиці 4.2

Показники	Нормативний рівень	Формула розрахунку	Прийняті позначення
25. Коефіцієнт оснащення технологічних процесів	0,8	$n_{23} = \frac{Q_{o.o}}{Q_d}$	$Q_{o.o}$ – загальна кількість типорозмірів оснащення, яке використовується на підприємстві при виготовленні виробів; Q_d – кількість деталей виробу, виготовлених на підприємстві
26. Коефіцієнт стійкості і терміну служби інструментів	1,0	$n_{24} = \frac{F_e}{F_p}$	F_e – фактичний ресурс роботи інструмента в годинах; F_p – розрахунковий ресурс роботи інструмента в часах
27. Питома вага автоматичних обробляючих систем	0,41	$n_{31} = \frac{Q_{a.o.c.}}{Q_{o.b.}}$	$Q_{a.o.c.}$ – кількість шифрів автоматичних обробляючих систем, працюючих в комплексі з ЕОМ, при виготовленні виробу
28. Коефіцієнт застосування автоматичного і напівавтоматичного обладнання	0,62	$n_{32} = \frac{Q_{a.o.b.}}{Q_{o.b.}}$	$Q_{a.o.b.}$ – кількість шифрів автоматичного і напівавтоматичного обладнання на виробі

29. Питома вага технологічного обладнання автоматичних системах	0,51	$n_{3,3} = \frac{Q_{об.ас}}{Q_{об}}$	$Q_{об.ас}$ – кількість обладнання, працюючого у складі автоматичних систем, які керуються від ЕОМ
30. Коефіцієнт комплексної механізації транспортно-складських операцій	0,78	$n_{3,4} = \frac{Q_{м.т.р.о}}{Q_{т.р.о}}$	$Q_{м.т.р.о}$ – кількість механізованих транспортно-складських операцій; $Q_{т.р.о}$ – загальна кількість транспортно-складських операцій у виробничому процесі виробу
31. Коефіцієнт застосування засобів ОТ у виробничому процесі	0,45	$n_{3,5} = \frac{Q_{оп.вт}}{Q_{оп}}$	$Q_{оп.вт}$ – кількість операцій у виробничому процесі виробу, виконаних за допомогою ОТ; $Q_{оп}$ – кількість операцій у виробничому процесі виробу
32. Коефіцієнт застосування робіт	0,23	$n_{3,6} = \frac{Q_{оп.р}}{Q_{оп}}$	$Q_{оп.р}$ – кількість операцій у виробничому процесі виробу, виконуваних роботами

Продовження таблиці 4.2

Показники	Нормативний рівень	Формула розрахунку	Прийняті позначення
33. Коефіцієнт кооперованих поставок комплектуючих виробів	0,66	$n_{4,1} = \frac{Q_{кп.к}}{Q_{кп}}$	$Q_{кп.к}$ – кількість комплектуючих виробів, одержуваних за кооперацією; $Q_{кп}$ – загальна кількість комплектуючих виробів
34. Коефіцієнт спеціалізації виробництва деталей та вузлів загального застосування	0,72	$n_{4,2} = \frac{Q_{д.ос.сп}}{Q_{д.оп}}$	$Q_{д.ос.сп}$ – кількість деталей та вузлів загального застосування, виготовлених на спеціалізованих підприємствах і одержуваних за кооперацією; $Q_{д.ос}$ – загальна кількість деталей та вузлів загального застосування у виробі

35. Коефіцієнт застосування автоматизованих систем керування виробничими процесами	0,67	$n_{5.1} = \frac{Q_{оп.АСК}}{Q_{оп}}$	$Q_{оп.АСК}$ – кількість технологічних операцій виробничого процесу, що мають АСК
36. Коефіцієнт застосування групових методів обробки	0,55	$n_{5.2} = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ДСЕi}}{N_{ДСЕ}}$	$n_{ДСЕi}$ – річна програма i -ї операції групових ділянок; k – кількість технологічних операцій групових ділянок обробки; $N_{ДСЕ}$ – загальна річна програма виробу
37. Коефіцієнт застосування поточкових ліній	0,62	$n_{5.3} = \frac{\sum_{i=1}^m n_{ДСЕi}}{N_{ДСЕ}}$	$n_{ДСЕi}$ – річна програма i -ї поточної лінії; m – кількість поточкових ліній; $N_{ДСЕ}$ – загальна річна програма виробу

4.3.4 Технологічність конструкції

4.3.4.1 Основні поняття

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, застосовувані

технологічні процеси.

Забезпечення технологічності конструкції виробу – функція підготовки виробництва, що передбачає взаємозалежне вирішення конструкторських і технологічних задач, спрямованих на підвищення продуктивності праці, досягнення оптимальних матеріальних і трудових витрат і скорочення часу на виробництво, технічне обслуговування і ремонт виробу.

Види технологічності конструкції виробу:

- а) виробнича – відповідає етапу виробництва виробу;
- б) експлуатаційна – відповідає етапу експлуатації і поточного ремонту виробу;
- в) ремонтна – відповідає усім вимогам ремонту, крім поточного.

Для забезпечення технологічності конструкції виробу передбачене виконання таких заходів:

- а) відпрацьовування конструкції виробу на технологічність на всіх стадіях розробки, під час технологічної підготовки виробництва і, у разі необхідності, під час виготовлення виробу;
- б) удосконалення умов виконання робіт під час виробництва, експлуатації та ремонту виробів і фіксація прийнятих рішень у технологічній документації;
- в) кількісна оцінка технологічності конструкції виробів;
- г) технологічний контроль конструкторської документації (КД);
- д) підготовка і внесення змін у КД за результатами технологічного контролю, що забезпечують досягнення базових показників технологічності.

Відпрацьовування конструкції на технологічність здійснюється спільно розроблювачами конструкторської і технологічної документації, підприємствами-виготовлювачами виробу і представниками замовника (фахівцями з технічного обслуговування і ремонту виробів).

Вимоги до технологічності конструкції деталі на стадії ТПВ:

а) конструкція деталі повинна складатися зі стандартних і уніфікованих конструктивних елементів або бути стандартною в цілому;

б) деталі повинні виготовлятися зі стандартних чи уніфікованих заготовок;

в) розміри і поверхні деталі повинні мати оптимальні точність і шорсткість;

г) фізико-хімічні і механічні властивості деталей повинні відповідати вимогам технології виготовлення;

д) показники базової поверхні (точність, шорсткість) деталі мають забезпечувати точність установлення, оброблення та контролю;

е) заготовки повинні бути отримані раціональним способом з урахуванням заданого обсягу випуску та типу виробництва;

є) метод виготовлення повинен забезпечувати можливість одночасного виготовлення кількох деталей;

ж) сполучення поверхонь різних класів точності та шорсткості мають відповідати застосовуваним методам і засобам обробки;

з) конструкція деталі повинна забезпечувати можливість застосування типових і стандартних ТП виготовлення.

Види оцінки технологічності конструкції виробу:

а) якісна – проводиться на початковому етапі за двобальною системою: відповідає – не відповідає;

б) кількісна – проводиться з метою визначення показників технологічності.

Послідовність робіт під час оцінки технологічності конструкції виробу:

а) розрахунок показників технологічності конструкції;

б) визначення показників рівня технологічності конструкції виробу;

в) розробка рекомендацій з поліпшення показників технологічності конструкції виробу;

г) внесення змін у конструкцію з метою забезпечення технологічності.

Склад показників технологічності конструкції деталі наведений у табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Склад показників технологічності конструкції виробу

Показники технологічності конструкції виробу	Стадія розробки КД	
	дослідного зразка (дослідної партії)	серійного (масового виробництва)
Трудомісткість виготовлення виробу	немає	так
Технологічна собівартість	немає	так
Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів	так	не обов'язково

Рівень технологічності за трудомісткістю виготовлення

$$K_{PT} = \frac{T_B}{T_{BB}},$$

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.

Базовий показник трудомісткості виготовлення виробу визначається так:

$$T_{BB} = T_A \cdot K_{CK} \cdot K_T,$$

де T_A – трудомісткість конструкції, що є аналогом проєктованого виробу, н-рік;

K_{CK} – коефіцієнт складності проєктованої конструкції;

K_T – коефіцієнт зниження трудомісткості.

Коефіцієнт складності проєктованої конструкції визначається з виразу

$$K_{CK} = P / P_A,$$

де P – технічний параметр конструкції проєктованого виробу (маса, потужність тощо) ;

P_A – технічний параметр конструкції аналога.

Коефіцієнт зниження трудомісткості визначається з виразу

$$K_T = \left[\frac{100}{100 + K_{IT}} \right] \cdot t_{IT},$$

де K_{IT} – планове зростання продуктивності праці, 1/міс;

$t_{\text{пр}}$ – період часу від початку проектування до запуску у виробництво, міс.

Рівень технологічності за технологічною собівартістю визначається з виразу

$$K_{\text{PC}} = C_{\text{T}} / C_{\text{BT}},$$

де C_{T} – технологічна собівартість виготовлення виробу, грн.;

C_{BT} – 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.

4.3.4.2 Правила забезпечення технологічності деталі на різних стадіях розробки конструкції

У залежності від належності слід розрізняти деталі:

- а) взаємозалежні;
- б) самостійні.

Взаємозалежними вважають деталі, що є складовими частинами інших виробів.

Самостійними є деталі, що не входять до складу інших виробів (наприклад, ложка, свердло, фреза тощо).

Правила забезпечення технологічності взаємозалежних деталей такі.

Забезпечення технологічності конструкції взаємозалежної деталі починається з розробки конструкторської документації на виріб, до складу якого вона входить.

На стадіях розробки проектно-конструкторської документації на виріб роботи з забезпечення технологічності конструкції деталей здійснюються у послідовності:

а) виявляють функції і конструктивні схеми основних деталей;

б) визначають можливості об'єднання функцій і зменшення кількості деталей у конструкції виробу;

в) визначають можливість наслідування конструкцій деталей, що включає стандартизацію й уніфікацію конструкцій деталей;

г) визначають технологічну раціональність конструктивних рішень у частині габаритних розмірів, використовуваних матеріалів, методів отримання заготовок і з'єднань з іншими деталями виробу;

д) виявляють деталі, що є змінними і потребують проведення спеціального контролю під час технічного обслуговування і планового ремонту.

Під час розробки технічного завдання на виріб встановлюють залежність окремих показників якості виробу і техніко-економічних вимог до нього від застосування нових матеріалів і методів виготовлення основних взаємозалежних деталей. Ця

залежність повинна вказуватися в технічному завданні на виріб.

На стадії розробки технічної пропозиції, під час аналізу варіантів принципів схем і компоновань виробу, слід виявляти оригінальні деталі, складні за конструкцією і потребуючі застосування нових матеріалів, технологічних процесів, спеціальних засобів технологічного оснащення.

На стадії розробки ескізного проекту під час відпрацювання конструктивної схеми і компоновання виробу здійснюються:

а) виявлення номенклатури і параметрів основних складних деталей;

б) аналіз складності конструкцій деталей і можливостей їх уніфікації та стандартизації;

в) визначення раціонального членування або об'єднання окремих деталей;

г) аналіз умов складання основних деталей, точності виготовлення і шорсткості робочих поверхонь;

д) визначення номенклатури змінних деталей і деталей, що ремонтується.

На стадії розробки технічного проекту під час підготовки остаточних конструктивних рішень виконують роботи із забезпечення технологічності основних складних деталей.

На стадії розробки робочої документації проводиться:

а) технологічний контроль конструкторської документації на деталі (за винятком документації на стандартні кріпильні вироби і покупки деталей);

б) оцінювання технологічності конструкцій деталей на від-

повідність основним вимогам, пропонованим до технологічності конструкції деталей і їх конструктивних елементів, з урахуванням умов складання виробу.

Оцінення технологічності конструкції деталі слід проводити у такій послідовності:

в) розрахунок показників технологічності конструкції;

г) визначення показників рівня технологічності конструкції;

д) розробка рекомендацій з поліпшення показників технологічності;

е) забезпечення технологічності конструкції шляхом внесення змін у конструкторську документацію.

Оцінка технологічності конструкції деталі може бути двох видів:

а) якісна;

б) кількісна.

Якісна оцінка (“добре – погано”, “припустимо – неприпустимо” тощо) передуює кількісній.

Кількісна оцінка характеризується показниками технологічності.

Кількісна оцінка технологічності проектованої конструкції деталі здійснюється на розсуд розробника:

а) у разі відносно високої трудомісткості (собівартості) деталі, порівняно з витратами в цілому на складальну одиницю;

б) для обґрунтування вибору оптимального варіанта конструкції;

в) для контролю якісної оцінки;

г) для накопичення статистичних даних про технологічність представників конструкцій різних класів деталей і подальшого використання цих даних під час відпрацьовування на технологічність конструкцій однотипних деталей.

4.3.4.3 Правила забезпечення технологічності складальної одиниці на різних стадіях розробки конструкції

Мета забезпечення технологічності конструкцій складальних одиниць – підвищення продуктивності праці та якості виробу за умови зниження витрат часу і коштів на розробку, технологічну підготовку виробництва, виготовлення, експлуатацію і ремонт.

Вимоги до технологічності конструкції складальної одиниці такі.

Конструкція складальної одиниці повинна задовольняти вимогам виготовлення, експлуатації та ремонту найбільш продуктивними й економічними способами при заданих умовах виробництва. Конструкція складальної одиниці відпрацьовується на технологічність комплексно, з огляду на взаємозалежність виробничої та експлуатаційної технологічності:

а) складових частин складальної одиниці;

б) виробу, до якого ця складальна одиниця входить як складова частина.

Вимоги до складу складальних одиниць такі:

а) складальна одиниця повинна розчленовуватися на ра-

ціональну кількість складових частин з урахуванням принципу агрегування;

б) конструкція складальної одиниці повинна забезпечувати можливість компонування зі стандартних і уніфікованих частин;

в) складання виробу не повинне обумовлювати застосування складного технологічного оснащення;

г) види використовуваних з'єднань, їх конструкції і місце розташування повинні відповідати вимогам механізації й автоматизації складальних робіт;

д) у конструкції складальної одиниці та її складових частин, що мають масу понад 16 кг, повинні передбачатися конструктивні елементи для зручного захоплення вантажопідйомними засобами, використовуваними в процесі складання, розбирання і транспортування;

е) конструкція складальної одиниці повинна передбачати базову складову частину, що є основою для розташування інших складових частин;

є) компонування конструкції складальної одиниці повинне дозволяти робити складання при незмінному базуванні складових частин;

ж) у конструкції базової складової частини необхідно передбачати можливість використання конструкторських баз як технологічних і вимірювальних;

з) компонування складальної одиниці повинне забезпечувати загальне складання без проміжного розбирання і повторного складання складових частин;

и) компонування складових частин складальної одиниці

повинне забезпечувати зручний доступ до місць, що вимагають контролю, регулювання і проведення інших робіт, регламентованих технологією підготовки виробу до використання за призначенням, технічного обслуговування і ремонту;

і) компоновання складальної одиниці і способи з'єднань повинні забезпечувати легкоз'ємність складових частин з малим ресурсом;

ї) компоновання складальної одиниці повинне передбачати раціональне розташування такелажних вузлів, монтажних опор та інших пристроїв для забезпечення транспортабельності виробу.

Вимоги до конструкції з'єднань складових частин:

а) кількість поверхонь і місць з'єднань складових частин у загальному випадку мають бути найменшими;

б) місця з'єднань складових частин повинні бути доступні для механізації складальних робіт і контролю якості з'єднань;

в) з'єднання складових частин не повинне вимагати складної і необґрунтовано точної обробки поверхонь, що з'єднуються;

г) конструкції з'єднань складових частин не повинні вимагати додаткової обробки в процесі складання.

Вимоги до точності і методу складання:

а) точність розташування складових частин має бути обґрунтована і взаємозалежна з точністю виготовлення складових частин;

б) вибір методу складання для даного обсягу випуску і типу виробництва повинен проводитися на підставі розрахунку

й аналізу розмірних ланцюгів;

в) розрахунок розмірних ланцюгів слід проводити, використовуючи методи максимуму-мінімуму або імовірнісний. Метод максимуму-мінімуму застосовують під час розрахунку коротких розмірних ланцюгів (з кількістю ланок менше п'яти) з високою точністю замикаючої ланки або багатоланкових розмірних ланцюгів з малою точністю замикаючої ланки;

г) під час вибору методу складання слід враховувати трудомісткість складальних робіт і витрати на виготовлення складових частин з точністю, яка необхідна для даного методу складання. Методи складання розташовуються за спадною продуктивністю праці складальних робіт у такому порядку:

- з повною взаємозамінністю;
- з неповною взаємозамінністю;
- з груповою взаємозамінністю;
- з регулюванням компенсаторами;
- з пригоном;

д) у конструкції повинні передбачатися пристрої, що забезпечують задану точність відносного розташування складових частин (центруючи, фіксуючі, компенсуючи тощо);

е) межі регулювання і параметри компенсаторів повинні розраховуватися на основі теорії розмірних ланцюгів;

є) компенсуючи, центруючи і фіксуючі пристрої повинні мати просту конструкцію і вільний доступ для робочого та контрольного інструмента.

Під час забезпечення технологічності складальних одиниць слід враховувати їх функціональне розташування в складі виробу. Складальні одиниці можуть бути:

а) складовою частиною виробу і не виконувати самостійних функцій (наприклад, корпус клапана з запресованою втулкою);

б) складовою частиною виробу і виконувати самостійні функції (наприклад, редукційний клапан насоса в окремому корпусі; насос в окремому корпусі відносно двигуна тощо).

Під час розробки технічного завдання на складальну одиницю визначається доцільність виділення технічних характеристик і вимог до технологічності її окремих складових частин і проводиться:

а) підготовка й аналіз вихідних даних для визначення базових показників технологічності для проекрованої конструкції;

б) розрахунок базових показників;

в) визначення меж припустимих відхилень від номінальних значень базових показників під час визначення рівнів технологічності конструкцій.

На стадії розробки технічної пропозиції під час аналізу варіантів принципів схем і компонувань складальної одиниці виявляються оригінальні складові частини підвищеної складності, що вимагають під час виготовлення застосування нових матеріалів, складних або маловивчених технологічних процесів, спеціальних засобів технологічного оснащення.

На стадії розробки ескізного проекту під час відпрацювання конструктивної схеми і компонування складальної одиниці проводиться:

а) раціональне членування складальної одиниці на складові частини, що виконують у ній певні функції;

б) аналіз компонування складальної одиниці та її членування на складові частини;

в) виявлення номенклатури й основних параметрів складових частин;

- г) визначення базової складової частини;
- д) визначення можливості уніфікації та стандартизації складових частин;
- е) вибір раціональних способів з'єднання складових частин;
- є) розрахунок розмірних ланцюгів, визначення точності взаєморозміщення складових частин і вибір відповідного методу складання;
- ж) вибір раціональних способів центрування, фіксування і регулювання положення складових частин під час складання;
- з) аналіз компонування складальної одиниці відповідно до вимог технічного обслуговування і ремонту;
- и) оцінка фізико-механічних властивостей використовуваних конструкційних матеріалів на відповідність вимогам раціональних технологічних процесів;
- і) аналіз можливості застосування типових технологічних процесів.

На стадії розробки робочої конструкторської документації проводиться:

- а) остаточне відпрацювання технологічності конструкцій усіх складових частин складальної одиниці;
- б) оцінка технологічності конструкції складальної одиниці та її складових частин на відповідність основним вимогам, пропонованим до технологічності конструкції в цілому, до складу і компонування складальної одиниці, з'єднань її складових частин, точності та способу складання.

Під час забезпечення технологічності конструкції на ста-

дії розробки робочої документації встановлюється загальна послідовність робіт:

а) вирішення питань раціонального виготовлення складальної одиниці в умовах дослідного виробництва без порушення технічних вимог до виробу, до складу якого вона входить;

б) аналіз досвіду виготовлення (складання) дослідного зразка (партії) для внесення необхідних змін у конструкцію;

в) аналіз даних заводських випробувань дослідного зразка (партії) і внесених змін у конструкцію;

г) технологічний контроль змін у конструкторській документації за даними виготовлення й випробування дослідного зразка (партії);

д) визначення показників технологічності та рівня технологічності конструкції, їх аналіз і розробка рекомендацій з підвищення якості виробу.

Одиничні показники технологічності визначаються за такими формулами.

Коефіцієнт застосування деталей:

$$K_{з.о} = \frac{D_{m.op}}{D_m},$$

де $D_{m.op}$ – кількість типорозмірів оригінальних деталей у виробі;

D_m – загальна кількість типорозмірів деталей у виробі без урахування нормалізованого кріплення.

Коефіцієнт застосування електрорадіоелементів:

$$K_{з\,еф\,е} = 1 - \frac{H_{т.ор.е\,р\,е}}{H_{т.е\,р\,е}},$$

де $H_{т.ор.е\,р\,е}$ – кількість типорозмірів оригінальних ЕРЕ у виробі;

$H_{т.е\,р\,е}$ – загальна кількість типорозмірів ЕРЕ у виробі.

До оригінальних деталей слід відносити складові частини (деталі, вузли, електрорадіоелементи), розроблювані та виготовлені вперше як самим підприємством-розроблювачем, так і в порядку кооперування з іншими підприємствами. До електрорадіоелементів відносяться транзистори, діоди, конденсатори, резистори, роз'єми, дроселі, котушки індуктивності, трансформатори, мікросбірки і мікросхеми різного ступеня інтеграції, мікромодулі тощо. Під типорозміром електрорадіоелемента розуміють габаритний розмір (без урахування номінальних значень).

Коефіцієнт застосовності вузлів:

$$K_{пов\,д} = 1 - \frac{D_m + E_m}{D + E},$$

де $E_{т.ор}$ – кількість типорозмірів оригінальних вузлів у виробі;

E_m – загальна кількість типорозмірів вузлів у виробі.

Коефіцієнт повторюваності деталей і вузлів:

$$K_{пов\partial} = 1 - \frac{D_m + E_m}{D + E},$$

де D – загальна кількість деталей (без нормалізованого кріплення) у виробі, шт.;

E – загальна кількість вузлів у виробі, шт.

Коефіцієнт повторюваності електрорадіоелементів:

$$K_{пов\epsilon\pi} = 1 - \frac{H_{\pi\epsilon\pi}}{H_{\epsilon\pi}},$$

де $H_{\epsilon\pi}$ – загальна кількість ЕРЕ, шт.

Коефіцієнт повторюваності мікросхем і мікрозбірок:

$$K_{пов\mu\sigma} = 1 - \frac{H_{\mu\mu\sigma}}{H_{\mu\sigma}},$$

де $H_{\mu\mu\sigma}$ – кількість типорозмірів корпусів мікросхем і мікрозбірок у виробі;

$H_{\mu\sigma}$ – загальна кількість мікросхем і мікрозбірок у виробі, шт.

Коефіцієнт повторюваності друкованих плат

$$K_{пов. \partial n} = 1 - \frac{H_{m \partial n}}{H_{\partial n}},$$

де $H_{m, \partial n}$ – кількість типорозмірів друкованих плат у виробі, у тому числі багат шарових (без обліку кількості шарів); типорозмір друкованої плати визначається габаритними розмірами і матеріалами, використовуваними у конструкції, без обліку розходжень у рисунку провідників;

$H_{\partial n}$ – загальна кількість друкованих плат у виробі, шт.

Коефіцієнт повторюваності матеріалів:

$$K_{пов. м} = 1 - \frac{H_{мм}}{D_{тор}},$$

де $H_{мм}$ – кількість макросортаментів матеріалів, застосовуваних у виробі.

Під макросортаментом розуміють певне сполучення марки матеріалу і його перетину (профілю), застосовуване як заготовка, наприклад сплав Д16Т (пруток діаметром 30 мм), сплав Д16Т (пруток діаметром 40 мм), сплав Д16Т (лист товщиною 2 мм) тощо.

Коефіцієнт використання мікросхем і мікрозбірок:

$$K_{в.мс} = \frac{H_{мс}}{H_{мс} + H_{ере}}.$$

Коефіцієнт установчих розмірів (кроків) електрорадіо-елементів:

$$K_{yp} = 1 - \frac{H_{yp}}{H_{ере}},$$

де H_{yp} – кількість видів установчих розмірів електрорадіоелементів у виробі.

Коефіцієнт складності друкованих плат

$$K_{с.дн} = 1 - \frac{H_{б.дн}}{H_{дн}},$$

де $H_{б.дн}$ – загальна кількість багатошарових друкованих плат, шт.

Коефіцієнт освоєння деталей

$$K_{ос.д} = 1 - \frac{D_{оп}}{D},$$

де D_{op} – загальна кількість оригінальних деталей у виробі, шт.

Коефіцієнт складності складання

$$K_{с.ск} = 1 - \frac{E_{m.ск}}{E_m},$$

де $E_{m.ск}$ – кількість типорозмірів вузлів, що входять у виріб, які вимагають регулювання в складі виробу з застосуванням спеціальних пристроїв або пригону чи спільної обробки з наступним розбиранням і повторним складанням.

Коефіцієнт складальності виробу

$$K_{зб} = \frac{E}{E + D}.$$

Коефіцієнт точності обробки

$$K_{m.об} = 1 - \frac{D_{m.об}}{D},$$

де $D_{m.об}$ – кількість деталей, шт., що мають розміри з допусками за 10 квалітетом і вище.

Технологічні показники визначаються наступними формулами.

Коефіцієнт автоматизації і механізації підготовки електрорадіоелементів до монтажу:

$$K_{\text{м.п.ере}} = \frac{H_{\text{м.п.ере}}}{H_{\text{ере}}},$$

де $H_{\text{м.п.ере}}$ – кількість ЕРЕ, шт., підготовка яких до монтажу може здійснюватися (чи здійснюється) механізованим або автоматизованим способом, тобто є механізми, устаткування чи оснащення (або технічна документація) для виконання цих операцій. До числа таких ЕРЕ включаються ЕРЕ, не потребуючі спеціальної підготовки до монтажу (реле, роз'єми, патрони тощо).

Коефіцієнт автоматизації та механізації монтажу виробу:

$$K_{\text{ам}} = \frac{H_{\text{ам}}}{H_{\text{м}}},$$

де $H_{\text{ам}}$ – кількість монтажних з'єднань, що можуть здійснюватися (або здійснюються) механізованим чи автоматизованим способом, тобто є механізми, устаткування чи оснащення (або технічна документація) для виконання монтажних з'єднань;

H_m – загальна кількість монтажних з'єднань.

Коефіцієнт автоматизації та механізації операцій контролю і настроювання електричних параметрів:

$$K_{m.k.n} = \frac{H_{m.k.n}}{H_{k.n}},$$

де $H_{m.k.n}$ – кількість операцій контролю і настроювання, які можна здійснити механізованим чи автоматизованим способом. До числа таких операцій включаються операції, що не вимагають засобів механізації;

$H_{k.n}$ – загальна кількість операцій контролю і настроювання.

Коефіцієнт застосування типових технологічних процесів:

$$K_{m.n} = \frac{H_{m.n}}{H_n},$$

де $H_{m.n}$ – кількість найменувань типових технологічних процесів усіх рівнів (галузевих, головних управлінь, підприємств), застосовуваних для виготовлення виробу;

H_n – загальна кількість найменувань технологічних процесів, застосовуваних для виготовлення виробів (у тому числі й оригінальних).

Коефіцієнт прогресивності формоутворення деталей:

$$K_{\phi} = \frac{D_{np}}{D},$$

де D_{np} – кількість деталей, шт., заготовки яких чи самі деталі отримані прогресивними методами формоутворення (штампуванням, пресуванням, порошковою металургією, литтям за виплавленими моделями, під тиском і в кокіль, паянням, зварюванням, склеюванням, із профільованого матеріалу).

Коефіцієнт складності обробки:

$$K_{c.o} = 1 - \frac{D_{\text{м}}}{D},$$

де $D_{\text{м}}$ – кількість деталей, шт. (включаючи запозичені і стандартні), що вимагає обробки зняттям стружки.

Коефіцієнт використання матеріалів:

$$K_{\text{в.м}} = \frac{M}{M_{\text{м}}},$$

де M – маса виробу без урахування комплектуючих, кг;

M_m – маса матеріалу, витраченого на виготовлення виробу, кг.

Основним показником, використовуваним для оцінки технологічності конструкції, є комплексний показник технологічності K , що визначається за допомогою співвідношення

$$K = \frac{\sum_{i=1}^s K_i \cdot \varphi_i}{\sum_{i=1}^s \varphi_i} = \frac{K_1 \cdot \varphi_1 + K_2 \cdot \varphi_2 + \dots + K_s \cdot \varphi_s}{\varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_s},$$

де K_i – значення показника за таблицею складу базових показників відповідного класу блоків;

φ – функція, що нормує вагову значимість;

i – порядковий номер показника у ранжированій послідовності (місце в таблиці);

S – загальна кількість відносних часткових показників у таблиці для i -ї стадії проектування виробу.

Рішення про достатній рівень технологічності приймається на основі рівня технологічності конструкції

$$K_y = \frac{K}{K_{\theta}},$$

де K – значення комплексного показника технологічності;

K_{σ} – значення базового показника, що визначається для даного класу блоків, стадії розробки та об'єму випуску (табл.4.4).

Таблиця 4.4 – Нормативи комплексних показників технологічності

Найменування класу блоків	Стадії розробки робочій документації		
	дослідний зразок	установлювальна серія	стале серійне виробництво
Електронні	0,40-0,70	0,45-0,75	0,50-0,80
Електромеханічні та механічні	0,30-0,50	0,40-0,55	0,45-0,60
Радіотехнічні	0,40-0,60	0,75-0,80	0,80-0,85
З'єднувальні, розподільні, комутаційні	0,35-0,55	0,50-0,70	0,55-0,75

Склад відносних окремих показників технологічності і значення функції φ для різних класів блоків наведено в табл. (4.5 – 4.8).

Таблиця 4.5 – Склад відносних окремих показників технологічності електронних блоків

Показник технологічності	Позначення	φ_i
Коефіцієнт використання мікросхем и мікрозбірок у блоці	$K_{и.м.с}$	1,000
Коефіцієнт автоматизації та механізації монтажу	$K_{а.м}$	1,000
Коефіцієнт механізації підготовки ЕРЕ	$K_{м.п.эрэ}$	0,750
Коефіцієнт механізації контролю та настроєння	$K_{м.к.н}$	0,500
Коефіцієнт повторюваності ЕРЕ	$K_{пов.эрэ}$	0,310
Коефіцієнт застосовності ЕРЕ	$K_{п.эрэ}$	0,187
Коефіцієнт прогресивності формоутворення	K_{ϕ}	0,110

Таблиця 4.6 – Склад відносних окремих показників технологічності електромеханічних та механічних блоків

Показник технологічності	Позначення	φ_i
Коефіцієнт точності обробки	$K_{т.ч}$	1,00
Коефіцієнт прогресивності формоутворення	K_{ϕ}	1,00
Коефіцієнт складності обробки	$K_{с.о}$	0,75
Коефіцієнт повторюваності деталей и складальних одиниць	$K_{пов.д.с}$	0,50
Коефіцієнт скла дальності	$K_{сб}$	0,310
Коефіцієнт складності збірки	$K_{с.сб}$	0,187
Коефіцієнт використання матеріалів	$K_{и.м}$	0,110

Таблиця 4.7 – Склад відносних окремих показників технологічності з'єднувальних і розподільних блоків

Показник технологічності	Позначення	фі
Коефіцієнт повторюваності матеріалів	$K_{пов.м.}$	1,00
Коефіцієнт складності збірки	$K_{с.сб.}$	1,00
Коефіцієнт точності обробки	$K_{тч.}$	0,75
Коефіцієнт прогресивності формоутворення деталей	$K_{ф.}$	0,50
Коефіцієнт використання матеріалів	$K_{и.м.}$	0,310

Таблиця 4.8 – Склад відносних окремих показників технологічності радіотехнічних блоків

Показник технологічності	Позначення	фі
Коефіцієнт механізації та автоматизації підготовки ЕРЕ до монтажу	$K_{м.п.эрэ}$	1,00
Коефіцієнт автоматизації та механізації монтажу	$K_{а.м}$	1,00
Коефіцієнт складності збірки	$K_{с.сб.}$	0,75
Коефіцієнт механізації та автоматизації контролю и настроєння	$K_{ам.кн.}$	0,50
Коефіцієнт прогресивності формоутворення	$K_{ф.}$	0,310
Коефіцієнт повторюваності ЭРЭ	$K_{повт.эрэ}$	0,187
Коефіцієнт точності обробки	$K_{т.о.}$	0,110

Значення рівня технологічності K_y не повинно бути меншим 1. В іншому разі слід проаналізувати конструкцію з метою підвищення її технологічності.

4.3.5 Правила розробки технологічних процесів

4.3.5.1 Загальні правила розробки технологічних процесів

Встановлено три види технологічних процесів за організацією:

- а) одиничний;
- б) типовий;
- в) груповий.

Загальні правила розробки технологічних процесів такі.

Технологічний процес розробляється для виготовлення чи ремонту виробу або удосконалення діючого технологічного процесу відповідно до досягнень науки і техніки.

Розробка технологічних процесів проводиться для виготовлення чи ремонту виробів, конструкції яких відпрацьовані на технологічність.

Розроблюваний технологічний процес повинен бути прогресивним і забезпечувати підвищення продуктивності праці та якості виробів, скорочення трудових і матеріальних витрат на його реалізацію, зменшення шкідливих впливів на навколишнє середовище.

Прогресивність технологічного процесу оцінюється за показниками, встановленими галузевою системою атестації технологічних процесів.

Технологічний процес повинен забезпечувати реалізацію значень базових показників технологічності конструкції виготовленого чи ремонтного виробу.

Технологічний процес розробляють на основі наявного типового чи групового технологічного процесу.

У разі відсутності типового чи групового технологічного процесу виготовлення виробу, що відноситься до певної класифікаційної групи, технологічний процес має розроблятися на основі використання раніше прийнятих прогресивних рішень, що містяться в діючих одиничних технологічних процесах виготовлення аналогічних виробів.

Технологічний процес (ТП) повинен відповідати вимогам техніки безпеки і промислової санітарії, викладеним у системі стандартів безпеки праці (ССБП), стандартах на типові й групові технологічні процеси, інструкціях та інших нормативних документах з техніки безпеки і промислової санітарії.

Вихідну інформацію для розробки ТП підрозділяють на:

- а) базову;
- б) керівну;
- в) довідкову.

Базова інформація включає:

- а) дані, що містяться в конструкторській документації на виріб,
- б) програму випуску цього виробу.

Керівна інформація включає дані, що містяться у таких документах:

- а) галузевих стандартах, що встановлюють вимоги до технологічних процесів і методів керування ними, а також стандартах на устаткування й оснащення;

- б) документації на діючі одиничні, типові й групові ТП;
- в) класифікаторах техніко-економічної інформації; виробничих інструкціях;
- г) матеріалах для вибору технологічних нормативів (режимів обробки, припусків, норм витрати матеріалів тощо);
- д) документації з техніки безпеки і промислової санітарії.

Довідкова інформація включає дані, що містяться в таких документах:

- а) технологічній документації досвідного виробництва; описах прогресивних методів виготовлення і ремонту; каталогах, паспортах, довідниках, альбомах компонувань прогресивних засобів технологічного оснащення; плануваннях виробничих ділянок;
- б) методичних матеріалах з керування технологічними процесами.

Основні етапи розробки технологічних процесів:

- а) аналіз вихідних даних для розробки технологічного процесу:

1) попереднє ознайомлення з призначенням і конструкцією предмета праці з вимогами до виготовлення й експлуатації;

2) складання переліку додаткової довідкової інформації, необхідної для розробки технологічного процесу та її вибір;

- б) вибір діючого типового, групового технологічного процесу або пошук аналога одиничного процесу:

1) формування технологічного коду виробу за технологічним класифікатором;

2) віднесення оброблюваного виробу до відповідної класифікаційної групи на основі технологічного коду;

3) віднесення оброблюваного виробу за його технологічним кодом до діючого типового, групового або одиничного технологічного процесу;

в) вибір вихідної заготовки і методів її виготовлення:

1) визначення виду вихідної заготовки (чи уточнення заготовки, встановленої типовим технологічним процесом);

2) вибір методу виготовлення вихідної заготовки;

3) техніко-економічне обґрунтування вибору заготовки;

г) вибір технологічних баз:

1) вибір поверхонь базування або базових складових частин виробу;

2) оцінка точності та надійності базування за продуктивністю технологічного процесу;

д) складання технологічного маршруту обробки:

1) визначення послідовності технологічних операцій (або уточнення послідовності операцій за типовим чи груповим технологічним процесом);

2) визначення складу засобів технологічного оснащення;

е) розробка технологічних операцій:

1) розробка (або уточнення) послідовності переходів в операції;

2) вибір засобів технологічного оснащення (ЗТО) операції (або їх уточнення);

3) визначення потреби у ЗТО, замовлення нових ЗТО, у тому числі засобів контролю та випробування з урахуванням метрологічного забезпечення і вимог ДСВ;

4) вибір засобів механізації й автоматизації елементів процесу і внутрішньоцехових засобів транспортування;

5) призначення і розрахунок режимів обробки;

є) нормування технологічного процесу:

1) встановлення вихідних даних, необхідних для розрахунків норм часу і витрати матеріалів;

2) розрахунок і нормування витрат праці на виконання процесу;

3) розрахунок норм витрати матеріалів, необхідних для реалізації процесу;

4) визначення розряду робіт і обґрунтування професій виконавців для виконання операцій у залежності від складності цих робіт;

ж) визначення вимог техніки безпеки:

1) розробка або вибір наявних вимог техніки безпеки і виробничої санітарії до умов виробництва (шуму, вібрації, радіації, загазованості, небезпечних і шкідливих речовин у повітрі робочої зони тощо);

2) розробка вимог, вибір методів і засобів забезпечення стійкості екологічного середовища;

з) розрахунок економічної ефективності технологічного

процесу – вибір оптимального варіанта технологічного процесу;

и) оформлення технологічних процесів:

1) нормоконтроль технологічної документації;

2) узгодження документації технологічних процесів із усіма зацікавленими службами та її затвердження.

Необхідність кожного етапу, склад задач і послідовність їх вирішення визначаються в залежності від типу виробництва і встановлюються стандартами підприємства.

4.3.5.2 Правила розробки та застосування типових ТП

Типовий технологічний процес повинен бути раціональним у конкретних виробничих умовах, характеризуватися єдністю змісту і послідовністю більшості технологічних операцій для групи виробів, що володіють загальними конструктивними ознаками.

Типові технологічні процеси розробляють на основі аналізу множини діючих і можливих технологічних процесів на типових представників груп виробів.

Типізація повинна забезпечувати усунення різноманіття технологічних процесів обґрунтованим зведенням їх до обмеженої кількості типів і бути базою для розробки стандартів на типові технологічні процеси.

Типізація технологічних процесів базується на класифікації об'єктів виробництва.

Класифікація об'єктів виробництва полягає в поділі їх за

ознаками, що містяться в конструкторській документації, на окремі групи, для яких можлива розробка загальних технологічних процесів або операцій.

Типізація технологічних процесів здійснюється на трьох рівнях:

- а) державному,
- б) галузевому,
- в) підприємства.

Вихідна інформація для розробки типових технологічних процесів підрозділяється на:

- а) базову;
- б) керівну;
- в) довідкову.

Базова інформація включає:

- а) дані, що містяться в конструкторській документації на виріб;
- б) програму випуску цього виробу.

Керівна інформація включає дані, що містяться в:

- а) стандартах усіх рівнів на технологічні процеси і методи керування ними, устаткування й оснащення;
- б) документації на перспективні технологічні процеси;
- в) виробничих інструкціях.

Довідкова інформація включає дані, що містяться в:

а) документації на діючі типові технологічні процеси за даним видом обробки;

б) описах прогресивних методів обробки;

в) каталогах, номенклатурних довідниках прогресивного технологічного устаткування й оснащення;

г) матеріалах для вибору технологічних нормативів (режимів обробки, припусків, норм витрати матеріалів тощо);

д) прогнозах науково-технічного прогресу і планах підвищення технічного рівня виробництва;

е) методичних матеріалах з керування і розрахунків точності технологічних процесів.

Основні етапи розробки типових технологічних процесів:

а) класифікація об'єктів виробництва:

1) створення груп об'єктів виробництва, що мають спільні конструктивно-технологічні характеристики;

2) вибір типових представників груп об'єктів виробництва;

б) кількісна оцінка груп об'єктів виробництва – визначення типу виробництва для кожного типового представника груп об'єктів виробництва (одиничне, серійне, масове);

в) аналіз конструкцій типових представників об'єктів виробництва за кресленнями і технічними умовами, програмами випуску і типом виробництва – розробка основних маршрутів виготовлення об'єктів виробництва, включаючи заготівельні процеси;

г) вибір заготовки і методів її виготовлення:

1) визначення виду вихідної заготовки;

2) вибір методу виготовлення вихідної заготовки, техніко-економічна оцінка вибору заготовки;

д) вибір технологічних баз:

1) вибір поверхонь базування;

2) оцінка точності та надійності базування;

е) вибір виду обробки (лиття, обробка тиском, механічна обробка різанням та ін.):

1) вибір виду обробки;

2) оцінка характеристик методу та якості поверхонь;

3) вибір методу обробки;

є) складання технологічного маршруту обробки:

1) визначення послідовності операцій;

2) визначення груп устаткування за операціями;

ж) розробка технологічних операцій:

1) раціональна побудова технологічних операцій;

2) вибір структури операції;

3) встановлення раціональної послідовності переходів в операції;

4) вибір устаткування, що забезпечує оптимальну продуктивність за умови забезпечення необхідної якості;

5) розрахунок завантаження технологічного устаткування;

6) вибір конструкції оснащення;

7) встановлення належності обраної конструкції до стандартних систем оснащення;

8) встановлення вихідних даних, необхідних для розрахунків, і розрахунок припусків на обробку і міжопераційних припусків;

9) встановлення вихідних даних, необхідних для розрахунків оптимальних режимів обробки, і їх розрахунок;

10) встановлення вихідних даних, необхідних для розрахунків норм часу, і їх розрахунок;

11) визначення розряду робіт і обґрунтування професій виконавців для виконання операцій у залежності від складності цих робіт;

з) розрахунок точності, продуктивності й економічної ефективності варіантів типових технологічних процесів – вибір оптимального варіанта;

и) оформлення типових технологічних процесів – узгодження типових технологічних процесів із усіма зацікавленими службами і затвердження їх.

Необхідність кожного етапу, зміст задач і послідовність їх вирішення визначаються розробником типового технологічного процесу в залежності від готовності підприємства на момент розробки.

Документація на типові технологічні процеси в залежності від конкретних задач технологічної підготовки виробництва

застосовується як:

- а) робоча документація для виготовлення виробів;
- б) інформаційна основа під час розробки робочих технологічних процесів;
- в) вихідна база під час розробки стандартів на типові технологічні процеси;
- г) вихідна база під час формування інформаційних фондів різних рівнів (державних, галузевих і підприємств).

4.3.5.3 Правила розробки групових технологічних процесів

Груповий технологічний процес призначений для спільного виготовлення або ремонту групи виробів різної конфігурації в конкретних умовах виробництва на спеціалізованих робочих місцях.

Груповий технологічний процес розробляється з метою економічно доцільного застосування методів і засобів багатосерійного і масового виробництва в умовах одиничного, дрібносерійного та серійного виробництва.

Обов'язковим етапом, що передуює розробленню групових технологічних процесів, є групування предметів виробництва за технологічною подібністю з урахуванням основних факторів організації виробництва.

Групування виробів слід здійснювати на основі їх класифікації і результатів комплексного аналізу:

- а) складу і програм випуску виробів;
- б) існуючої структури виробничих підрозділів;
- в) техніко-економічних показників виробництва.

Груповий технологічний процес повинен складатися з комплексу групових технологічних операцій, виконуваних на спеціалізованих робочих місцях у послідовності технологічного маршруту виготовлення певної групи виробів.

Групову технологічну операцію слід розробляти для виконання технологічно однорідних робіт під час виготовлення групи виробів на спеціалізованому робочому місці за умови можливості підналагодження засобів технологічного оснащення.

Групову технологічну операцію можна розробляти і застосовувати як складову частину групового технологічного процесу (маршруту), одноопераційний груповий технологічний процес і окрему групову операцію.

Під час розробки групової технологічної операції слід передбачати достатню величину сумарної трудомісткості технологічно однорідних робіт для забезпечення безупинного завантаження засобів технологічного оснащення без їх повного переналагодження протягом економічно доцільного періоду. Допускається тільки часткове підналагодження засобів технологічного оснащення.

Групові технологічні операції слід розробляти з урахуванням спеціалізації робочих місць за рахунок:

- а) застосування високопродуктивних спеціалізованих засобів технологічного оснащення замість універсальних;
- б) застосування високопродуктивних універсально-переналагоджуваних засобів технологічного оснащення;

- в) цільової модернізації устаткування;
- г) цільового налагодження устаткування.

Основою розробки групового технологічного процесу і вибору загальних засобів технологічного оснащення для спільної обробки групи виробів є комплексний виріб.

Комплексний виріб може бути:

- а) одним з виробів групи;
- б) реально існуючим, але відсутнім у групі;
- в) штучно створеним (умовним).

Групові технологічні процеси й операції розробляють для всіх типів виробництва тільки на рівні підприємства.

Керівна вихідна інформація додатково повинна включати дані, що містяться в:

- а) діючих групових технологічних процесах і операціях;
- б) класифікаторах виробів, устаткування й оснащення;

в) галузевих, регіональних, заводських та інших планах спеціалізації виробництва і розвитку групової організації виробництва.

Довідкова вихідна інформація повинна включати дані, що містяться в:

а) документації на діючі типові й одиничні технологічні процеси;

б) описах прогресивних методів обробки, засобів виробництва й організації виробництва, у тому числі побудови АСКВ

і АСТПВ;

в) відомостях трудомісткості виготовлення виробів;

г) матеріалах для вибору технологічних нормативів для проектно-технологічних робіт, розробки групових технологічних процесів і групової організації виробництва (формування виробничих підрозділів, вибору режимів обробки, припусків, норм витрати матеріалів, визначення норм керованості, припустимих запасів матеріалів і комплектуючих виробів).

Основні етапи розробки групових технологічних процесів:

а) аналіз вихідних даних для розробки технологічного процесу – попереднє ознайомлення з призначенням і конструкцією предметів виробництва, з вимогами до їх виготовлення й експлуатації;

б) групування виробів:

1) аналіз діючих одиничних, типових і групових технологічних процесів виготовлення предметів виробництва;

2) створення укрупнених груп предметів виробництва, що володіють спільністю технологічних характеристик (на основі спільності їх обробки);

3) розробка або вибір комплексного виробу для кожної групи;

4) розробка пропозицій з уніфікації виробів та їх елементів;

в) кількісна оцінка груп предметів виробництва:

1) визначення типу виробництва для кожного комплексного виробу (одиничне, серійне, масове);

2) визначення орієнтованої трудомісткості виготовлення кожної групи предметів виробництва;

г) розробка маршруту групового технологічного процесу:

1) розробка маршруту виготовлення комплексного виробу;

2) визначення кількості та послідовності групових технологічних операцій процесу;

д) розробка групових технологічних операцій – укрупнена оцінка трудомісткості робіт з кожної операції;

е) розрахунок точності, продуктивності й економічної ефективності варіантів групових технологічних процесів:

1) розрахунок трудомісткості робіт кожної групової технологічної операції і всього маршруту в цілому, оцінка трудомісткості всіх робіт з урахуванням планових термінів випуску виробів та організації їх виконання на потокових лініях, ділянках групової обробки і спеціалізованих робочих місцях, у тому числі окремих;

2) зіставлення групових технологічних маршрутів, об'єднання (роз'єднання) груп виробів і визначення доцільності спільного виготовлення виробів у спеціалізованих виробничих підрозділах і на окремих робочих місцях, виходячи з техніко-економічної оцінки, умов та організації виробництва;

3) вибір оптимального варіанта групового технологічного процесу;

є) нормування технологічного процесу:

1) встановлення вихідних даних, необхідних для розрахунку норм часу, та їх розрахунок;

2) визначення розряду робіт і обґрунтування професій виконавців для виконання групових операцій у залежності від складності цих робіт;

ж) розробка технічних заходів для реалізації групового виробництва – розробка і видача технічних завдань на модернізацію технологічного устаткування, установку агрегатних верстатів і проектування технологічного оснащення;

з) оформлення документації на групові технологічні процеси й операції:

1) нормоконтроль змісту документів на групові технологічні процеси й операції;

2) узгодження документації групових технологічних процесів із усіма зацікавленими службами та її затвердження.

Необхідність кожного етапу, зміст задач і послідовність їх вирішення визначають розробники в залежності від умов виробництва та готовності підприємства на момент розробки.

4.3.6 Правила вибору технологічного устаткування

Вибір технологічного устаткування повинен бути оснований на аналізі витрат на реалізацію технологічного процесу у встановлений проміжок часу при заданій якості виробів.

Аналіз витрат повинен передбачати:

а) порівняння варіантів устаткування, що відповідають однаковим вимогам і забезпечують вирішення однакових задач у конкретних виробничих умовах;

б) вибір варіантів, що ґрунтується на використанні такої інформації:

1) плану розвитку народного господарства на відповідному рівні реалізації (загальнодержавному, галузевому і підприємства);

2) технічних вимог до виробу;

3) кількості і термінів виготовлення виробу;

4) технічних можливостей технологічного устаткування;

5) витрат на придбання технологічного устаткування і його експлуатацію;

в) урахування вимог техніки безпеки і промислової санітарії.

Вибір технологічного устаткування повинен починатися з аналізу формування типових поверхонь деталей і складальних одиниць та окремих методів їх обробки з метою визначення найбільш ефективних методів обробки, виходячи з призначення і параметрів виробу. Результати аналізу повинні бути у вигляді:

а) співвідношень основних часів;

б) співвідношень штучних часів;

в) співвідношень наведених витрат на виконання робіт різними методами.

Кращим варіантом вважається той, значення показників якого мінімальні.

Вибір устаткування здійснюють за головним параметром, який є найбільш показовим для обираного устаткування, тобто найбільшою мірою відбиває його функціональне значення і технічні можливості.

Фізична величина, що характеризує головний параметр, установлює взаємозв'язок устаткування з розміром виробу, що виготовляється на ньому.

Вибір варіантів устаткування, що характеризуються ступенем механізації й автоматизації, повинен здійснюватися виходячи з таких умов:

а) наведені витрати на виконання технологічного процесу мінімальні;

б) період окупності устаткування у разі його механізації й автоматизації мінімальний.

Річна потреба в устаткуванні визначається з річного обсягу робіт, встановлюваного статистичним аналізом витрат коштів і часу на виготовлення виробів.

Річні наведені витрати на використання устаткування визначаються розмірами витрат на його експлуатацію і виготовлення.

Витрати на експлуатацію і виготовлення повинні характеризувати устаткування, класифіковане за продуктивністю і точністю, аналогічного функціонального призначення і року освоєння виробництвом.

Продуктивність устаткування необхідно визначати на підставі аналізу часу виготовлення виробу заданої якості.

Визначення потреби в устаткуванні здійснюється за допомогою певних алгоритмів.

Алгоритми визначення потреби в технологічному устаткуванні повинні встановлюватися стандартом підприємства.

Під час організації автоматизованого вирішення задач

визначення річної потреби в устаткуванні має бути використана нормативна інформація з устаткування, що визначає всі параметри вихідних формул, у тому числі твердості і точності.

Річну потребу в устаткуванні слід визначати відповідно до вимог технологічних процесів, що встановлюють необхідність використання цього устаткування.

Результати розрахунку повинні враховувати можливість багаторазового використання стандартного й агрегатованого устаткування з урахуванням змінних умов виробництва і бути основою для оперативного й укрупненого планування потреби в устаткуванні наступними роками.

У разі відсутності стабільності випуску продукції і розроблених технологічних процесів річну потребу в устаткуванні слід визначати за техніко-економічними показниками, установленними галузевими стандартами.

Кількість одиниць устаткування для потокового виробництва визначається виходячи з кількості устаткування, необхідного для виконання окремих операцій. При цьому:

а) повинна бути досягнута синхронізація операцій для створення безупинного потоку;

б) процес обробки розчленовується на окремі операції, по можливості однакові (не більше величини такту) або кратні за часом їх виконання. Загальна кількість одиниць устаткування в потоковій лінії обробки даного виробу (або їх групи) обчислюють за формулою

$$S = \sum_{j=1}^n S_j ,$$

де $S_j = \frac{t_i \cdot N_i}{60F}$ – кількість одиниць устаткування для виконання однієї операції в потоковій лінії;

t_i – штучний час обробки i -го виробу, хв.;

N_i – кількість виробів, що підлягають обробленню на протязі року;

F – дійсний річний фонд часу одиниці устаткування, год.

Якщо отримана кількість одиниць устаткування для даної операції є дробовою, воно повинно бути округлене (в напрямку збільшення) до найближчого цілого – S_j .

Визначення кількості одиниць знеособленого устаткування для подетально-групових ділянок і групових поточкових ліній здійснюється таким чином.

Подетально-групові ділянки.

Необхідна кількість (укрупнено) одиниць технологічного устаткування в цеху на річну програму випуску обчислюють за формулою

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot t_i K_{nz}}{F \cdot K_g},$$

де N_i – кількість виробів, що підлягають оброб-

ленню на протязі року;

t_i – штучний час обробки i -го виробу, хв.;

$K_{пз}$ – коефіцієнт, що враховує частку витрат підготовчо-заклучного часу;

$K_г$ – коефіцієнт виконання норм часу;

F – дійсний річний фонд часу роботи одиниці устаткування, год.

Відповідно до кількості одиниць технологічного устаткування цеху визначається кількість створюваних у ньому ділянок.

На основі конструктивно-технологічної класифікації деталей і показників відносної трудомісткості (K_{di}) визначається профіль предметної спеціалізації, здійснюється добір і закріплення деталей за ділянками.

Показник відносної трудомісткості використовується для групування деталей за ознакою, що характеризує трудомісткість обробки й обсяг випуску, і обчислюється за формулою

$$K_{di} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{\tau_i},$$

Де t_i – штучний час i -ї деталеоперації, нормо-хв. ($i = 1, 2, \dots, n$);

$$\tau_i = \frac{F \cdot 60}{N_i} - \text{такт виробництва } i\text{-ї деталі, хв.};$$

N_i – кількість i -х деталей, що підлягають випуску.

Під час добору і закріплення деталей за ділянками слід забезпечувати:

а) конструктивно-технологічну однорідність закріплюваних деталей, яка додатково характеризується маршрутом обробки і засобами технологічного оснащення;

б) рівновеликість ділянок, що організуються, яка встановлюється за сумарною величиною показника K_{oi} , обчислюваного за всіма групами деталей, що закріплюються за ділянкою, з метою спрощення планування і підвищення ритмічної роботи.

Для остаточного уточнення спеціалізації ділянки, номенклатури груп оброблюваних деталей, номенклатури і кількості одиниць технологічного устаткування вибірково роблять перевіряльні розрахунки коефіцієнта завантаження устаткування:

$$\eta_z = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot t_i K_{nz}}{60 \cdot S \cdot F \cdot K_g}.$$

Під час комплектування групи деталей за умовами оптимального завантаження устаткування виконуються такі роботи:

а) відбирають деталі в групи за шифром налагодження і додатковими розрахунковими параметрами;

б) обчислюють коефіцієнт завантаження устаткування.

Групові багатопредметні потокові лінії.

Кількість одиниць технологічного устаткування для кожної операції обчислюють за формулою

$$S = \frac{T_{\kappa}}{F \cdot K_{\epsilon}},$$

$$\text{де } T_{\kappa} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i \cdot N_i \cdot K_{nз}}{60} \quad - \quad \text{сумарний штучно-}$$

калькуляційне час, необхідний для виконання групової операції, на річну програму випуску виробів, хв.

Визначення кількості одиниць устаткування за назвою для подетально-групових ділянок і групових багатопредметних ліній здійснюють таким чином.

Кількість одиниць устаткування обчислюють за формулою

$$S_j = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m t_{ik} \cdot N_i + \sum_{i=1}^n T_{nз}}{\eta_{зн} \cdot F},$$

де t_{ik} – штучний час обробки i -го виробу на k -й операції, що використовує j -е найменування устаткування;

N_i – кількість i -х виробів, що підлягають випуску;

T_{nz} – підготовчо-заключний час i -й деталі на j -му найменуванні устаткування;

η_{zn} – планований нормативний коефіцієнт завантаження устаткування;

F – дійсний річний фонд часу устаткування, год;

i – індекс деталі, порядковий номер деталі (1, 2, ...n);

j – індекс устаткування;

k – індекс операції технологічного процесу (1,2, ... , m).

Якщо отримана кількість одиниць устаткування для даної операції є дробовою, воно повинно бути округлене (в напрямку збільшення) до найближчого цілого S_j :

$$\eta_{zj} = \frac{S_j}{S_n},$$

де S_n – прийнята кількість устаткування. Загальну кількість одиниць устаткування обчислюють за формулою

$$S = \Sigma \cdot S_n.$$

Визначення кількості одиниць устаткування за техніко-економічними показниками здійснюється таким чином.

Кількість одиниць устаткування обчислюють за формулою

$$S = \frac{Q}{q \cdot m \cdot \eta_{\text{зн}}}$$

або

$$S = \frac{h \cdot Q}{F \cdot \eta_{\text{зн}}},$$

де Q – програма готової продукції, що випускається на протязі року (у тоннах, штуках або гривнях);

q – річний випуск продукції однієї одиниці устаткування у разі однієї зміни (у тоннах, штуках або гривнях);

m – кількість змін;

h – кількість верстато-годин, затрачуваних на 1 т готової продукції;

F – дійсний річний фонд часу устаткування, год;

$\eta_{\text{зн}}$ – планований нормативний коефіцієнт завантаження устаткування.

З метою перевірки укрупнені розрахунки кількості потрібного устаткування здійснюються за двома-трьома показниками.

Визначення кількості одиниць устаткування під час komponування автоматичних ліній здійснюється таким чином.

Кількість одиниць устаткування, необхідну для виконання однієї операції на кожній позиції автоматичної лінії, обчислюють за формулою

$$S = \frac{t_{on}}{\tau},$$

де t_{on} – оперативний час (сума основного – технологічного і допоміжного часів);

$$\tau = \frac{60 \cdot F}{N_i} \text{ – такт роботи автоматичної лінії;}$$

N_i – кількість виробів, що підлягають обробленню на автоматичній лінії на протязі року;

F – дійсний річний фонд часу автоматичної лінії, год.

Під час встановлення дійсного річного фонду часу автоматичної лінії враховуються витрати часу на ремонт, підналагодження, зміну інструмента, на зупинки через несправності інструмента, електроустаткування, механічних та інших пристроїв, а також інші втрати.

4.3.7 Правила вибору засобів технологічного оснащення

4.3.7.1 Правила вибору технологічного оснащення

Вибір технологічного оснащення повинен бути оснований на аналізі витрат на реалізацію технологічного процесу у встановлений проміжок часу при заданій якості виробів. Аналіз витрат повинен передбачати:

а) порівняння варіантів оснащення, що відповідають однаковим вимогам і забезпечують вирішення однакових задач у конкретних виробничих умовах;

б) вибір варіантів, що ґрунтуються на використанні такої інформації:

1) плану розвитку народного господарства на відповідному рівні реалізації (загальнодержавному, галузевому і підприємства);

2) технічних вимог до виробу;

3) кількості і термінів виготовлення виробів;

4) технічних можливостей технологічного оснащення;

5) витрат на виготовлення технологічного оснащення і його експлуатацію;

в) облік вимог техніки безпеки і промислової санітарії.

Належність конструкції технологічного оснащення до системи технологічного оснащення визначається правилами її проектування й експлуатації відповідно до заданих умов виробничого процесу виготовлення виробу. Система формується комплексами технологічного оснащення, призначеними для вико-

нання різних видів робіт.

До систем технологічного оснащення слід відносити наступні системи:

- а) нерозбірного спеціального оснащення (НСО);
- б) універсально-налагоджуваного оснащення (УНО);
- в) універсально-складального оснащення (УСО);
- г) складально-розбірного оснащення (СРО);
- д) універсально-безналагоджуваного оснащення (УБО);
- е) спеціалізованого налагоджуваного оснащення (СНО).

Під час вибору технологічного оснащення повинні здійснюватися роботи, що забезпечують застосування раціональних для заданих умов експлуатації систем технологічного оснащення, регламентованих державними, галузевими стандартами і стандартами підприємств, що встановлюють типи, основні параметри, конструкції і розміри, єдині взаємозалежні норми і правила проектування, виготовлення й експлуатації оснащення.

Ефективність вибору технологічного оснащення повинна оцінюватися за результатами його впровадження на основі зіставлення фактичних витрат із плановими й обліку експлуатаційно-технічних показників виробничого процесу виготовлення виробів.

Визначення рентабельності застосування систем оснащення в залежності від планованого періоду виробництва виробу під час оснащення технологічних процесів здійснюється за допомогою таких показників.

Коефіцієнт завантаження одиниці технологічного оснащення обчислюють за формулою

$$K_3 = \frac{T_{шт} \cdot N}{F_o},$$

де $T_{шт}$ – штучно-калькуляційний час виконання технологічної операції;

N – планована місячна програма на одиницю оснащення (кількість повторів операцій);

F_o – місячний фонд часу роботи оснащення.

Витрати на оснащення технологічної операції універсальним налагоджувальним спорядженням або спеціалізованим налагоджувальним спорядженням на аналізований період виробництва виробу обчислюють за формулою

$$P_{CHO}^{VHO} = C_n + C_y \cdot \Pi_y + \frac{A_{CHO}^{VHO}}{\Pi_o},$$

де C_n – собівартість виготовлення змінної частини (налагодження);

C_y – витрати на установку налагодження;

Π_y – кількість установок налагодження в аналізований період (кількість запусків);

A_{CHO}^{VHO} – амортизаційні відрахування за постійну частину;

Π_o – кількість налагоджень, закріплених за постійною

частиною (кількість операцій, що оснащуються).

Витрати на оснащення технологічної операції універсально-складальним спорядженням на аналізований період виробництва виробу (P_{yco}) обчислюють за формулою

$$P_{yco} = C_{yco} \cdot \Pi_c + C_\epsilon,$$

де C_{yco} – собівартість складання;

Π_c – кількість складань в аналізований період (кількість запусків);

C_ϵ – витрати за час експлуатації у разі використання оснащення з баз прокату.

Витрати на оснащення технологічної операції складально-розбірним спорядженням на аналізований період виробництва виробу обчислюють за формулою

$$P_{cpo} = C_n + C_{cpo} + A_{cpo},$$

де C_n – собівартість виготовлення спеціальних елементів (налагодження);

C_{cpo} – собівартість складання оснащення;

A_{cpo} – амортизаційні відрахування за постійну частину в аналізований період часу.

Витрати на оснащення технологічної операції універ-

сальним безналагоджувальним спорядженням на аналізований період виробництва виробу обчислюють за співвідношенням

$$P_{\text{убо}} = \frac{A_{\text{убо}}}{\Pi_{\kappa}},$$

де $A_{\text{убо}}$ – амортизаційні відрахування в аналізований період;

Π_{κ} – кількість операцій, що оснащуються.

Під час вибору технологічного оснащення здійснюється комплекс взаємозалежних робіт у такій послідовності:

а) проведення аналізу:

1) конструктивних характеристик розглянутого виробу (габаритні розміри, матеріал, точність, конструктивні характеристики поверхонь тощо);

2) організаційних і технологічних умов виготовлення виробу (схема базування і фіксації, вид технологічної операції, організаційна форма процесу виготовлення тощо);

в) групування технологічних операцій з метою визначення найбільш прийнятної системи технологічного оснащення і підвищення коефіцієнтів використання оснащення;

г) встановлення належності обраних конструкцій оснащення до систем оснащення;

д) визначення вихідних вимог до технологічного оснащення;

е) добір конструкцій оснащення, що відповідає установленим вимогам, з наявної номенклатури;

є) визначення відповідних установленим вимогам вихідних розрахункових даних для проектування і виготовлення нових конструкцій оснащення;

ж) видача технічних завдань на розробку і виготовлення технологічного оснащення.

Належність обраних конструкцій до систем оснащення встановлюється з урахуванням таких планово-економічних і організаційних вимог виробництва:

а) планові терміни і трудомісткість освоєння випуску виробів;

б) планована тривалість випуску виробу;

в) організаційні форми виробництва в періоди освоєння і випуску.

Групування технологічних операцій проводять, виходячи з експлуатаційних характеристик систем оснащення, до яких відносяться обумовлені конструкції.

Групування технологічних операцій здійснюється з урахуванням забезпечення раціонального завантаження кожної конструкцій оснащення і на основі аналізу обсягів випуску виробів на заданий період (партійність і періодичність запусків, сумарна трудомісткість згрупованих за конструкцією оснащення технологічних операцій).

Конструкції оснащення слід визначати з урахуванням стандартних і типових рішень для даного виду технологічних операцій на основі:

- а) габаритних розмірів виробів;
- б) виду заготовки;
- в) характеристики матеріалу виробу;
- г) точності параметрів і конструктивних характеристик поверхонь виробу, що впливають на конструкцію оснащення;
- д) технологічних схем базування і фіксації виробів;
- е) характеристик устаткування;
- є) обсягів виробництва.

Під час вибору технологічного оснащення слід використовувати документацію:

- а) нормативно-технічну:
 - 1) стандарти на технологічне оснащення;
 - 2) стандарти на технологічне устаткування;
 - 3) стандарти на терміни і визначення технологічного оснащення;
- б) технічну:
 - 1) альбоми типових конструкцій оснащення;
 - 2) каталоги і паспорти на технологічне устаткування;
 - 3) інструктивно-методичні матеріали з проведення вибору технологічного оснащення.

Під час техніко-економічного обґрунтування вибору систем технологічного оснащення розраховують такі показники:

а) коефіцієнт завантаження одиниці технологічного оснащення;

б) витрати на оснащення технологічних операцій виготовлення виробу.

Вимоги до організації автоматизованого вирішення задач забезпечення виробництва оснащенням встановлюються діючими нормативно-технічними документами.

Алгоритми визначення потреби в технологічному оснащенні повинні встановлюватися стандартом підприємства.

У разі організації автоматизованого вирішення задач визначення річної потреби в оснащенні повинна бути використана нормативна інформація з оснащення, що визначає всі параметри вихідних формул, у тому числі за стійкістю.

Річну потребу в оснащенні слід визначати відповідно до вимог технологічних процесів, що встановлюють необхідність використання цього оснащення.

Результати розрахунку повинні враховувати можливість багаторазового використання переналагоджуваного оснащення з урахуванням змінних умов виробництва і бути основними для оперативного й укрупненого планування потреби в оснащенні наступними роками.

Уразі відсутності стабільності випуску продукції і розроблених технологічних процесів річну потребу в оснащенні слід визначати за техніко-економічними показниками, встановленими галузевими стандартами.

Алгоритми визначення річної потреби в технологічному оснащенні такі.

Визначення потреби в інструменті.

Алгоритм визначення річної потреби в інструменті в загальному випадку має вигляд

$$U = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{N_i} K_y;$$

$$\frac{1}{N_i} = \sum_{k=1}^m \frac{1}{N_{ik}},$$

де U – необхідна кількість інструмента даного номенклатурного номера на річну програму;

P_i – річна програма випуску i -ї деталі, шт.;

N_i – кількість (норма) оброблюваних деталей (комплектів) до повного зношення застосовуваного інструмента;

N_{ik} – кількість (норма) оброблюваних деталей для k -го технологічного переходу i -ї деталі до повного зношення інструмента;

K_y – нормативний коефіцієнт випадкового збитку;

m – кількість технологічних переходів для обробки i -ї деталі інструмента однакового номенклатурного номера;

k – порядковий номер технологічного переходу;

i – порядковий номер оброблюваної деталі;

n – кількість найменувань за номенклатурою оброблюваних деталей.

Для ріжучого інструмента приймається

$$N_{ik} = (r + l)q,$$

де r – кількість можливих переточувань;

q – стійкість інструмента, виражена в кількості оброблених деталей між переточуваннями.

Стійкість інструмента, що виражається кількістю технологічних переходів оброблюваних деталей між переточуваннями, визначається із співвідношення

$$q = \frac{60 \cdot T}{N_{\text{маш}}} K_n \cdot K_p = \frac{60 \cdot T_i}{T_{\text{маш}}},$$

де T – регламентована економічна стійкість інструмента між переточуваннями;

$T_{\text{маш}}$ – машинний час технологічного переходу, хв.;

K_n – коефіцієнт зміни стійкості, що залежить від складності налагодження;

K_p – коефіцієнт зміни стійкості, що враховує застосування знижених режимів різання (наприклад, для нелімітованого інструмента у багатоінструментальних налагодженнях);

T_i – фактична (прийнята) стійкість інструмента.

У загальну кількість технологічних переходів включаються як переходи різних операцій, так і сполучених в одній операції (наприклад, у багатоінструментальних налагодженнях).

Визначення потреби в оснащенні (окрім інструмента) здійснюється так, як описано нижче.

Алгоритм визначення потреби в оснащенні в загальному випадку має вигляд

$$N_j^{OCH} = \frac{1}{F} \sum_{i=1}^n \left(\frac{t_i \cdot K_{n3}}{K_{\epsilon} \cdot 60} \cdot P_i \right);$$

$$t = \sum_{k=1}^m t_{ik},$$

де N_j^{OCH} – потрібна кількість оснащення даного типорозміру;

F – дійсний річний фонд часу, год;

t_i – штучний час обробки i -ї деталі, хв.;

t_{ik} – штучний час обробки для k -ї операції i -ї деталі з застосуванням j -го оснащення;

P_i – річна програма випуску i -ї деталі;

i – порядковий номер оброблюваної деталі;

j – порядковий номер оснащення;

n – кількість найменувань за номенклатурою оброблюваних деталей;

K_{ϵ} – коефіцієнт виконання норм часу;

$K_{пз}$ – коефіцієнт, що враховує частку витрат підготовчо-заключного часу;

m – кількість технологічних переходів для обробки i -ї деталі з застосуванням j -го оснащення.

4.4 Автоматизована система технологічної підготовки виробництва (АСТПВ)

Автоматизація технологічної підготовки виробництва вирішує багато проблем, що стосуються термінів і якості підготовки виробництва.

Автоматизована система ТПВ – це система технологічної підготовки виробництва, основу організації якої складає системне застосування засобів автоматизації інженерно-технічних робіт, що забезпечує оптимальну взаємодію людей, машинних програм і технічних засобів автоматизації при виконанні функцій ТПВ.

Мета створення АСТПВ – удосконалювання ТПВ на базі математичних методів, оптимізації процесів проектування і керування з застосуванням сучасних засобів обчислювальної й організаційної техніки.

АСТПВ представляється як людино-машинна система, у якій для автоматизації розумово-формальних процесів діяльності фахівців використовується інформаційно-обчислювальна система.

АСТПВ є системою, що розвивається. Процеси розвитку в АСТПВ охоплюють усі її основні компоненти (кадри, інформаційні масиви, технічний і програмний комплекси, методику

проектування).

АСТПВ – це відкрита система, у якій для забезпечення процесів розвитку має місце відкритий доступ для поповнення банку даних і бази знань поточною інформацією з метою удосконалювання і розвитку системи підготовки виробництва.

АСТПВ – являє собою сукупність ряду підсистем, функціонування яких спрямовано на досягнення загальної мети.

АСТПВ реалізує принцип разового уведення вихідних даних для формування алгоритмічного опису об'єкта проектування з наступним вирішенням усієї сукупності проектних задач.

АСТПВ є комплексною системою, у якій послідовно автоматизуються всі основні етапи технологічної підготовки виробництва.

АСТПВ – це динамічна система, у якій функціонування, розвиток і удосконалювання є функціями часу. Динамічність протікання процесів у системі ТПВ є однією з основних її властивостей.

АСТПВ тісно пов'язана інформаційними потоками з зовнішнім оточенням – АСКВ, САПР, АСНД, АСКІО та ін.

АСТПВ покликана моделювати функції ТПВ, пов'язані з забезпеченням технологічності конструкції виробу, проектуванням технологічних процесів, проектуванням і виготовленням засобів технологічного оснащення, керуванням ТПВ. Незалежно від кількості задач, реалізованих в АСТПВ, вихідні дані для них повинні підготовлятися на єдиній вхідній мові.

Склад і структура АСТПВ. Основний структурний елемент АСТПВ – підсистема.

За функціональним призначенням підсистеми АСТПВ підрозділяються на два типи: загального і спеціального призначення.

У залежності від характеру розв'язуваних задач має місце такий склад підсистем загального призначення: інформаційного пошуку; кодування, контролю і перетворення інформації; формування вихідних даних для автоматизованих систем керування різних рівнів; оформлення технічної документації.

У залежності від реалізованої функції ТПВ установлює такий основний склад підсистем спеціального призначення: забезпечення технологічності конструкції виробу; проектування технологічних процесів (за видами обробки і складання); конструювання засобів технологічного оснащення; керування ТПВ; виготовлення засобів технологічного оснащення.

Реалізація підсистем спеціального призначення повинна здійснюватися на основі таких систем: АСКОТ, САПР і АСКВ.

Незалежно від складу підсистем спеціального призначення їхнє спільне функціонування повинне забезпечуватися єдиними підсистемами загального призначення. Обмін інформацією між підсистемами забезпечує єдина функціонально-пошукова система. Інформаційну сумісність підсистем забезпечує єдина система кодування, контролю і перетворення інформації.

Розробка АСТПВ припускає єдине формування для всіх підсистем інформаційного, математичного, методичного, лінгвістичного, програмного, технічного й організаційного забезпечення.

До складу інформаційного банку АСТПВ входять: нормативно-довідкова документація (інформація про матеріали, елементну базу електронних засобів, уніфіковані елементи, конструкції, типові ТП і операції, інструменти, технологічне осна-

щення, технологічне устаткування, нормативи часу виконання операцій та ін.); поточна інформація, що відображає стан системи і хід виконання проекту; програмні модулі.

Математичне забезпечення АСТПВ містить у собі комплекс математичних моделей проєктованих об'єктів, методи й алгоритми виконання проєктних процедур. Виходячи з різноманіття розв'язуваних АСТПВ задач, має місце різноманіття методів і моделей математичного забезпечення, яке залежать від предметної області, складності проєктних об'єктів і цілей, що досягаються.

Методичне забезпечення АСТПВ містить комплекс документів, що регламентують методологію і методику організації, підготовки і реалізації проєктних задач, об'єднаних єдиною метою. Крім того, методичні матеріали відображають організаційну структуру системи підготовки виробництва і відносини між елементами структури.

Програмне забезпечення АСТПВ – сукупність програм, необхідних для виконання автоматизованого проєктування і вирішення проєктних задач. Програмне забезпечення обчислювальних засобів можна розділити на два види: загальне і спеціальне.

Загальне програмне забезпечення – стандартне математичне забезпечення, що поставляється разом з обчислювальними засобами. До нього відносяться операційна система (ОС), система керування базами даних (СКБД) і програмне забезпечення локальної мережі зв'язку. Операційна система – програмне середовище, у якій функціонують будь-які програми для даної ЕОМ.

У практиці програмного забезпечення ЕОМ широко використовуються операційні системи реального часу, що дозволяють реалізувати мультипрограмний і мультизадачний режим вирішення задач у реальному масштабі часу, розділяти ресурси

системи на базі пріоритетів.

Система керування БД – комплекс взаємозалежних програм, спрямованих на вирішення певної задачі керування внесенням, зберіганням і обробкою інформації в базі даних. Вони дозволяють забезпечити відносну незалежність прикладних програм користувача від конкретної організації інформаційних масивів.

СУБД реалізує механізм доступу до даних, зберігає вихідні дані від знищення, створює нові або анулює непотрібні зв'язки, регулює тимчасові параметри процесів вибору даних в залежності від заявок і їхніх пріоритетів.

Лінгвістичне забезпечення АСТПВ – сукупність мов, необхідних для опису процедур вирішення проектних задач. Усе різноманіття мов можна розділити на два типи: мови програмування і проектування.

Мови програмування призначені для написання програмного забезпечення. У практиці програмування знаходить застосування широке різноманіття сучасних мов.

Мови проектування призначені для опису процесів, що розвиваються в часі, і структур проєктованих об'єктів.

Технічне забезпечення АСТПВ – сукупність сучасних засобів обчислювальної й організаційної техніки. Склад технічних засобів залежить від кола розв'язуваних проектних задач.

Організаційне забезпечення АСТПВ призначене для реалізації процесу впровадження й експлуатації системи за допомогою регламентації правил і норм з застосування автоматизованих методів вирішення основних задач, містить у собі матеріали з удосконалення виробничої структури служб, що здійснюють весь комплекс робіт з ТПВ, а також комплекс типових положень і інструкцій.

Запитання для самоперевірки

1. Що розуміють під технологічною підготовкою виробництва?
2. Які задачі вирішуються при організації ТПВ?
3. Які функції ТПВ та їхній зміст.
4. Що розуміють під АСТПВ?
5. З яких підсистем складається АСТПВ?
6. Які технічні засоби використовуються в АСТПВ?
7. Яке призначення інформаційного забезпечення АСТПВ?
8. Яке призначення і зміст програмного забезпечення АСТПВ?
9. Технічне забезпечення АСТПВ. Які технічні засоби використовуються в АСТПВ і яке їхнє призначення?
10. Яка роль організаційного забезпечення АСТПВ?
11. Як визначається коефіцієнт застосування типових технологічних процесів?
12. Як визначається коефіцієнт автоматизації підготовки програм для верстатів із ЧПК? Як визначається коефіцієнт автоматизації проектування засобів технологічного оснащення?
13. Які види робіт входять у технічну підготовку виробництва?
14. Що таке науково-дослідна робота (НДР)? Що є характерним для науково-дослідної роботи?

5. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ТОЧНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОННИХ АППАРАТІВ ТА ЇХ ДЕТАЛЕЙ

5.1 Відомості з теорії ймовірностей для теоретичного аналізу точності виробництва

Теорія ймовірностей вивчає об'єктивно існуючі закономірності випадкових явищ, що виявляються при масовому відтворенні розглянутих процесів. Сучасна теорія ймовірностей охоплює три області випадкових явищ: випадкові події, величини і функції або, якщо аргументом є час, імовірнісні (випадкові, стохастичні) процеси.

Поняття випадкових подій, величини і функції тісно пов'язані між собою. Справді, одержання дійсного розміру виробу в деякій частині допуску є випадковою подією, діаметр деталі, що варіює від одного екземпляра до іншого, – випадковою величиною, а зміна цього розміру за кутом повороту чи осьовій координаті обробленої деталі – випадковою функцією.

Одновимірні випадкові величини. Поняття «випадкова величина» є одним з найважливіших понять теорії ймовірностей.

Випадковою величиною називають величину, що у результаті досвіду може прийняти те або інше значення, але невідомо заздалегідь, яке саме. Випадкові величини можуть бути дискретними і безперервними.

Дискретною (перерivanoю) називають випадкову величину, що приймає окремі одне від іншого значення, які можна перенумерувати. У машино- і приладобудуванні найчастіше зустрічаються найпростіші з дискретних величин, що можуть приймати лише ізольовані, здебільшого ненегативні значення. Як приклад можна привести кількість бракованих деталей у пар-

тії (0, 1, 2, ...), відсоток браку в партії 300 шт. (0; 1/3; 2/3; 1%,...).

Безперервною називають випадкову величину, можливі значення якої безупинно заповнюють деякий проміжок. Приклади безперервних випадкових величин: відхилення розміру виготовленої деталі від номіналу; похибка вимірювань; величина відхилення форми деталі, висота мікропрофілю в даній точці поверхні та ін.

Закони розподілу випадкових величин. Вичерпні імовірнісні характеристики випадкової величини – закони її розподілу.

Законом розподілу випадкової величини називають таке співвідношення, яке встановлює зв'язок між можливими значеннями випадкової величини і відповідними їм ймовірностями.

Закон розподілу може бути заданий у різній формі. Найпростіша форма завдання закону розподілу – таблиця, у якій у порядку зростання перераховано всі можливі значення випадкової величини і відповідні їм ймовірності:

$$\begin{array}{cccccc} X_i & X_1 & X_2 & \dots & X_n \\ P_i & P_1 & P_2 & \dots & P_n \end{array}.$$

Таку таблицю називають рядом розподілу.

Графічне зображення ряду розподілу називають багатокутником чи поліномом розподілу ймовірностей випадкової величини (рис. 5.1).

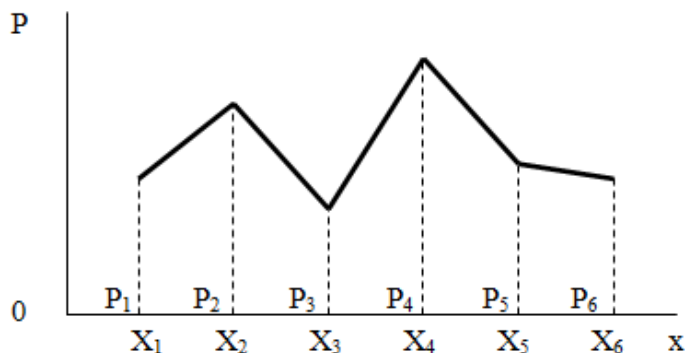


Рис. 5.1. Графік розподілу ймовірностей дискретної випадкової величини

Загальна форма закону розподілу, придатна як для дискретних, так і для безперервних випадкових величин, – завдання функції розподілу. Функцію розподілу задають у виді інтегрального (функція розподілу) і диференційного (щільність імовірності) законів розподілу.

Інтегральним законом розподілу випадкової величини називають функцію $F(x)$, що виражає імовірність того, що X прийме значення менше даного значення x :

$$F(x) = P(X < x). \quad (5.1)$$

Відзначимо основні властивості інтегрального закону розподілу. Значення функції розподілу знаходиться в інтервалі $0 \leq F(x) \leq 1$. Функція $F(x)$ не убутна, $F(-\infty) = 0$; $F(+\infty) = 1$. Графік функції розподілів для

дискретної випадкової величини показано на рис. 5.2, а, а для безперервної - на рис. 5.2, б.

Диференціальним законом розподілу $f(x)$ називають першу похідну від функції розподілу

$$f(x) = F'(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \{ [F(x + \Delta x) - F(x)] / \Delta x \}. \quad (5.2)$$

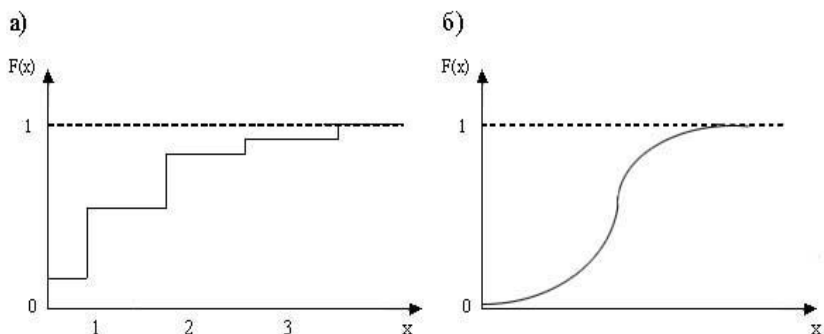


Рис. 5.2. Інтегральний закон розподілу дискретної і неперервної випадкової величин

Приведемо основні властивості щільності імовірності. Щільність імовірності є ненегативною функцією X . Інтеграл від диференціального закону розподілу, узятий у межах від $-\infty$ до $+\infty$, дорівнює одиниці, тобто

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1. \quad (5.3)$$

Графік щільності імовірності $f(x)$ називається кривою розподілу (рис.5.3). Через щільність імовірності $f(x)$ виражається функція розподілу

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx. \quad (5.4)$$

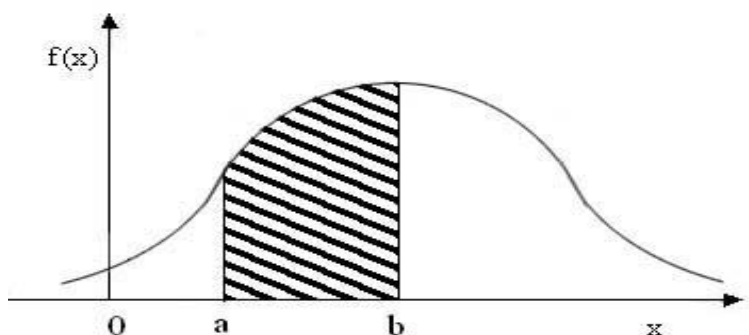


Рис. 5.3. Диференційний закон розподілу безперервної випадкової величини

Відзначимо, що функція розподілу $F(x)$ як імовірність є величиною безрозмірною, а щільність імовірності $f(x)$ має розмірність, яка є зворотною розмірності випадкової величини X .

Імовірність улучення безперервної випадкової величини X в заданий інтервал (a, b)

$$P(a < X < b) = F(b) - F(a) = \int_a^b f(x) dx. \quad (5.5)$$

Геометрично ця імовірність дорівнює площі криволінійної трапеції, обмеженої кривою розподілу, віссю абсцис і прямими $x = a$ і $x = b$ (рис. 5.3).

Числові характеристики випадкових величин. При вирішенні багатьох задач немає необхідності мати вичерпну характеристику випадкової величини – її закон розподілу. Часто буває досить вказати окремі числові характеристики випадкової величини, що відображають деякі її визначальні властивості, наприклад середнє значення, навколо якого групуються можливі значення випадкової величини; число, що характеризує ступінь розсіювання можливих значень навколо середнього, та ін.

Серед числових характеристик випадкових величин потрібно, насамперед відзначити ті, які характеризують положення випадкової величини на числовій осі, тобто вказують деяке середнє, орієнтоване значення, біля якого групуються всі можливі значення випадкової величини. До характеристик положення відносяться математичне чекання, мода, медіана. З цих характеристик у теорії ймовірностей найважливішу роль грає математичне сподівання випадкової величини, що іноді просто називають середнім значенням випадкової величини.

Математичним сподіванням випадкової величини X називають її середнє значення, що обчислюється за формулами

$$M\{X\} = \begin{cases} \sum_{i=1}^n x_i p_i, & \text{якщо } X \text{ дискретна;} \\ \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx, & \text{якщо } X \text{ безперервна.} \end{cases}$$

Поряд з позначенням $M\{X\}$ для математичного сподівання можна застосовувати і позначення $M\{X\} = m_X$.

Модюю $M_0\{X\}$ називають значення випадкової величини, що має у дискретної величини найбільшу імовірність, у безперервної – найбільшу щільність імовірності.

Якщо крива розподілу має один максимум, то значення величини, що відповідає цьому максимумові, і є модюю. Таку криву називають одномодальною або унімодальною (рис. 5.4). Якщо крива розподілу має два чи кілька однакових максимумів, то її називають двомодальною або багатомодальною.

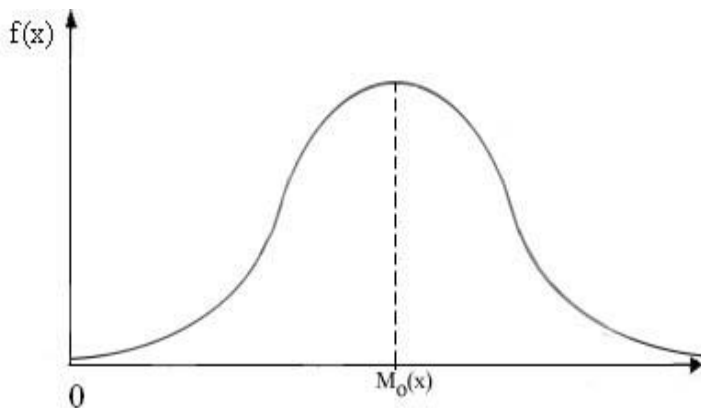


Рис. 5.4. Одномодальна крива розподілу

Медіаною випадкової величини A' називають таке її значення $Me\{X\}$, для якого

$$\int_{-\infty}^{Me\{x\}} f(x) dx = \int_{Me\{x\}}^{+\infty} f(x) dx = \frac{1}{2}, \quad (5.7)$$

тобто однаково імовірно, чи виявиться випадкова величина меншою чи більшою $Me\{X\}$. Геометрична медіана – це абсциса точки, в якій площа, обмежена кривою розподілу, поділяється навпіл (рис. 5.5).

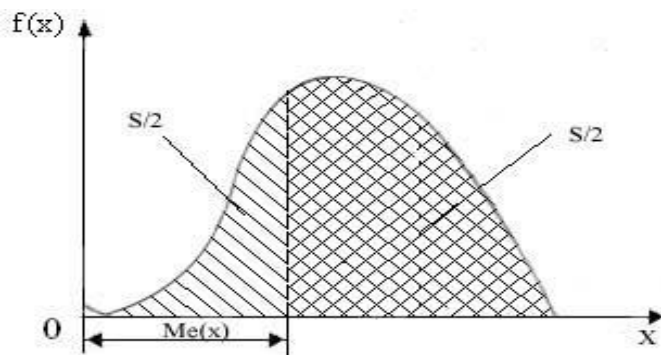


Рис. 5.5. До визначення поняття медіани $Me\{X\}$ випадкової величини

У випадку симетричного модального розподілу медіана збігається з математичним сподіванням і модою.

Поряд з характеристиками положення вводять інші числові характеристики, за якими можна судити про розсіювання випадкової величини. До них відносяться дисперсія і середнє квадратичне відхилення.

Дисперсією випадкової величини X називають математичне сподівання квадрата відхилення випадкової величини від її математичного сподівання:

$$D\{X\} = M[(x - m_x)^2] = \begin{cases} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 p_i, & \text{якщо } x \text{ дискретна;} \\ \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m_x)^2 f(x) dx, & \text{якщо } x \text{ безперервна.} \end{cases} \quad (5.8)$$

Середнім квадратичним відхиленням випадкової величини називають корінь квадратний з дисперсії:

$$\sigma\{X\} = \sigma_x = \sqrt{D\{X\}}. \quad (5.9)$$

Зручність використання середнього квадратичного відхилення як міри розсіювання замість дисперсії $D\{X\}$ полягає в тому, що воно виражається в тих же одиницях вимірювання, що і сама величина X та її середнє значення $M\{X\}$, тоді як дисперсія виражається в квадратах відповідної одиниці вимірювання.

Моменти випадкових величин. Асиметрія та ексцес. Крім розглянутих характеристик положення і розсіювання випадкової величини вживається ще ряд імовірнісних характеристик, кожна з яких описує ту чи іншу властивість розподілу. У якості таких характеристик застосовують моменти, введені П.Л.Чебишевим. Найчастіше застосовуються на практиці початкові і центральні моменти.

Початковим моментом k -го порядку випадкової величини називають математичне сподівання k -го ступеня цієї випадкової величини:

$$\alpha_k\{X\} = \alpha_k = M\{X^k\} = \begin{cases} \sum_{i=1}^n x_i^k p, \text{ якщо } x \text{ дискретна;} \\ \int_{-\infty}^{+\infty} x^k f(x) dx, \text{ якщо } x \text{ безперервна.} \end{cases} \quad (5.10)$$

Центральним моментом k -го порядку випадкової величини X називають математичне сподівання k -го ступеня відхилення випадкової величини від її математичного сподівання:

$$M_k\{X\} = M_k = M\{(X - m_x)^k\} = \begin{cases} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^k p_i, \text{ якщо } x \text{ дискретна;} \\ \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m_x)^k f(x) dx, \text{ якщо } x \text{ безперервна.} \end{cases} \quad (5.11)$$

Математичне сподівання випадкової величини – це її перший, початковий момент, а дисперсія – другий, центральний, тобто

$$\left. \begin{aligned} M\{X\} &= m_x = \alpha_1; \\ D\{X\} &= \sigma_x^2 = \mu_2. \end{aligned} \right\}. \quad (5.12)$$

Між початковими і центральними моментами існує простий зв'язок, а саме для перших чотирьох моментів маємо

$$\left. \begin{aligned} \mu_1 &= 0; \\ \mu_2 &= \alpha_2 - \alpha_1^2; \\ \mu_3 &= \alpha_3 - 3\alpha_2\alpha_1 + 2\alpha_1^3; \\ \mu_4 &= \alpha_4 - 4\alpha_3\alpha_1 + 6\alpha_2\alpha_1^2 - 3\alpha_1^4 \end{aligned} \right\} \quad (5.13)$$

Для більш повної оцінки характеру і виду законів розподілу випадкової величини використовують центральні моменти вище другого порядку.

Третій центральний момент μ_3 характеризує ступінь асиметрії (скошеності) кривої розподілу щодо математичного сподівання. Для зручності за характеристику асиметрії приймають безрозмірну величину, яку називають коефіцієнтом асиметрії,

$$\gamma_1\{X\} = \gamma_1 = \mu_3 / \mu_2^{3/2} = \{M(x - m_x)^3\} / \sigma_x^3. \quad (5.14)$$

При одномодальному розподілі асиметрія позитивна ($\gamma_i > 0$), якщо мода $M_0\{X\}$ знаходиться лівіше від середнього значення m_x і негативна ($\gamma_i < 0$), якщо мода $M_0\{X\}$ знаходиться правіше від середнього значення m_x (рис. 5.6).

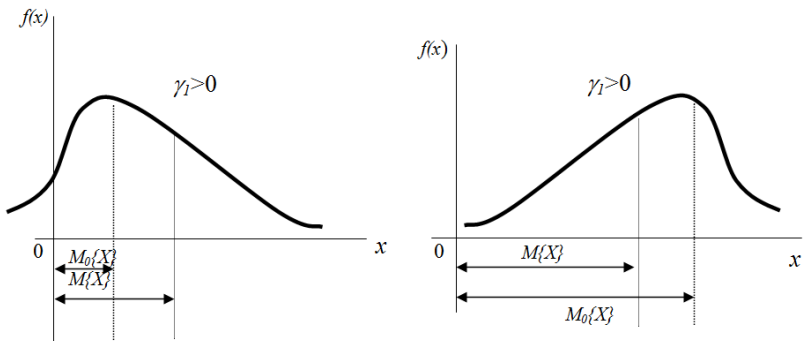


Рис. 5.6. Криві щільності імовірності з позитивними ($\gamma_i > 0$) та негативними ($\gamma_i < 0$) коефіцієнтами асиметрії

При симетричному розподілі $\gamma_i = 0$.

Четвертий центральний момент μ_4 характеризує властивості гостровершинності чи плосковершинності кривої розподілу. За характеристику цієї властивості приймають безрозмірну величину γ_2 , яку називають коефіцієнтом ексцесу,

$$\gamma_2\{X\} = \gamma_2 = \mu_4 / \mu_2^3 - 3 = M[(x - m_x)^4] / \sigma_x^4 - 3. \quad (5.15)$$

При симетричному одномодальному розподілі ексцес позитивний ($\gamma_2 > 0$), якщо крива розподілу гостровершинна, і негативний ($\gamma_2 < 0$), якщо крива розподілу плосковершинна. Ексцес $\gamma_2 = 0$ при нормальному розподілі (рис. 5.7).

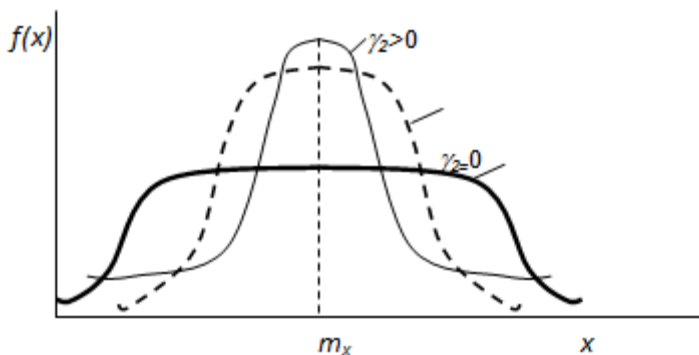


Рис. 5.7. Криві щільності імовірності з негативними ($\gamma_2 < 0$), нульовими ($\gamma_2 = 0$) і позитивними ($\gamma_2 > 0$) коефіцієнтами ексцесу

Відносні характеристики асиметрії і розсіювання. Коефіцієнт відносної асиметрії. Для характеристики несиметричності розподілу відхилень випадкової величини щодо заданого поля (наприклад, щодо широти розподілу, відносно полю допуску розмірів деталі та ін.) застосовується коефіцієнт відносної асиметрії

$$\alpha = \frac{M\{X\} - \Delta_0}{0,5\delta}, \quad (5.16)$$

де δ – величина заданого поля; Δ_0 – координата середини заданого поля; $M\{X\}$ – середнє значення (центр групування) випадкової величини X .

Коефіцієнт відносної асиметрії може відрізнятися від нуля і у тому випадку, якщо вихідний розподіл (розглянутий поза залежністю від поля допуску) симетричний, але вісь симетрії його є зміщеною в полі допуску відносно координати середини полю допуску Δ_0 . Таким чином, коефіцієнт відносної асиметрії відображає і несиметричність вихідного розподілу, і несиметричність розташування вихідного розподілу в полі допуску. В окремому випадку можлива і взаємна компенсація цих двох несиметричностей (у разі протилежної їх направленості), що приводить до значення коефіцієнта відносної асиметрії $\alpha = 0$.

Відносне середнє квадратичне відхилення і коефіцієнт відносного розсіювання. Для характеристики відносного розсіювання відхилень випадкової величини X у межах заданого поля (наприклад, відносно половини ширини розподілу, відносно половини полю допуску розміру деталі і т. ін.) застосовуються величина відносного середнього квадратичного відхилення і коефіцієнт відносного розсіювання k . Відносне середнє квадратичне відхилення

$$\lambda = \sigma / (L / 2), \text{ або } \lambda = \sigma / \delta, \quad (5.17)$$

де L – ширина розподілу; δ – половина величини заданого поля допуску.

У деяких випадках відносне середнє квадратичне відхилення λ визначають стосовно практично граничного відхилення Δ_n . У випадках симетричних розподілів значення відраховують від середнього значення $M\{X\}$. У випадку несиметричних розподілів значення Δ_n відраховують від Δ_0 або ж при

відліку їх від $M\{X\}$ у знаменнику виразу λ беруть напівсуму $(\Delta_{n_1} + \Delta_{n_2})/2$, тобто

$$\lambda = \sigma / \Delta_n = 2\sigma / (\Delta_{n_1} + \Delta_{n_2}). \quad (5.18)$$

Коефіцієнт відносного розсіювання k служить для порівняння характеру розсіювання при розглянутому законі розподілу з характером розсіювання при деякому іншому законі. Він дорівнює відношенню величин для розглянутого закону розподілу і λ_e , для «еталонного» закону розподілу, відносно якого здійснюється порівняння:

$$k = \lambda_i / \lambda_3. \quad (5.19)$$

Здебільшого λ_3 приймають рівними $1/3$, що відповідає закону розподілу Гаусса при практично граничному відхиленні $\lambda_{n_1} = 3\sigma$, тобто при 0,27 % імовірності виходу за межі поля.

Тоді

$$k = 3\lambda_i = 3\sigma_i / (0,5\delta). \quad (5.20)$$

Для розподілу за законом Гаусса коефіцієнт відносного розсіювання $k = 1$ (при $\lambda_3 = 1/3$); для одномодальних розподі-

лів, більш гостровершинних, ніж гауссове ($E_k > 0$), значення $k < 1$; для одномодальних розподілів, більш плосковершинних, ніж гауссове ($E_k < 0$), значення $k > 1$; для розподілів антимодальних значень $k \approx 2$, у граничному випадку дискретного розподілу з ймовірностями $p = 0,5$ на краях заданого поля значення k дорівнює 3 (при $\lambda = 1/3$).

Приклади законів розподілу випадкових величин. Нормальний закон розподілу. Закон нормального розподілу знаходить широке застосування в машино- і приладобудуванні. При стійкому процесі обробки деталей на настроєних верстатах і при відсутності систематичних погрішностей, що змінюються в часі, розміри деталей часто підкоряються закономірності нормального розподілу, тому що загальна похибка обробки являє собою суму великої кількості помилок, що залежать від верстата, пристосування, заготовки та ін.

Якщо безперервна випадкова величина X має гауссовий розподіл, то її щільність імовірності

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(x - m_x)^2}{2\sigma_x^2} \right] \quad (-\infty < x < +\infty), (5.21)$$

де m_x і σ_x – параметри розподілу ($\sigma_x > 0$, $-\infty < m_x < +\infty$) відповідно представляють математичне сподівання і середнє квадратичне відхилення випадкової величини X .

Графік щільності імовірності (5.21) показано на рис.5.8.

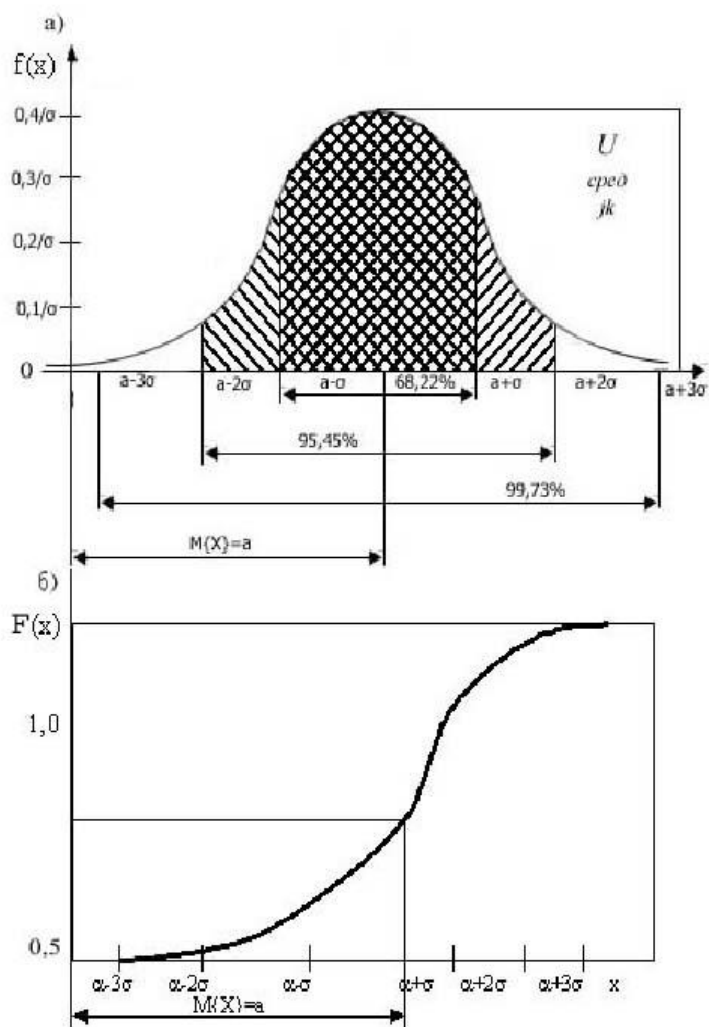


Рис. 5.8. Графік щільності ймовірності і функції розподілу

Крива щільності унімодальна, симетрична відносно вертикалі, що проходить через точку m_x осі абсцис, і досягає в цій точці максимуму, який дорівнює

$$f_{\max}(x) = f(m_x) = 1/(\sqrt{2\pi\sigma_x}) = 0,3989/\sigma_x \quad (5.22)$$

При зміні параметра m_x крива, зберігаючи свою форму, зміщується уздовж осі абсцис (рис. 5.9). Зі зростанням параметра σ_x крива стає більш пологою, тобто стискується до осі і розтягується уздовж неї. Навпаки, при зменшенні σ_x крива розподілу витягається нагору, одночасно стискуючись з боків, стає більш голкоподібною (рис. 5.10). У силу симетричності розподілу медіана і мода збігаються з математичним сподіванням, а асиметрія й ексцес дорівнюють нулю. Відзначимо, що перший початковий і другий центральні моменти, тобто m_x і σ_x^2 , є визначальними характеристиками розподілу Гауссу.

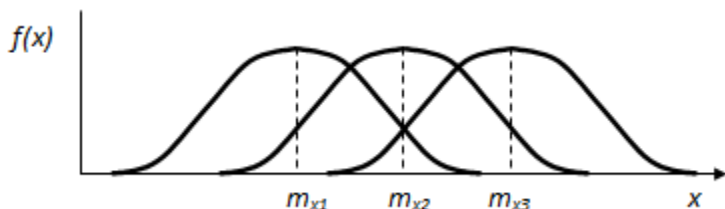


Рис. 5.9. Криві щільності ймовірності гауссова розподілу при різних значеннях параметру m_x і постійному σ_x^2

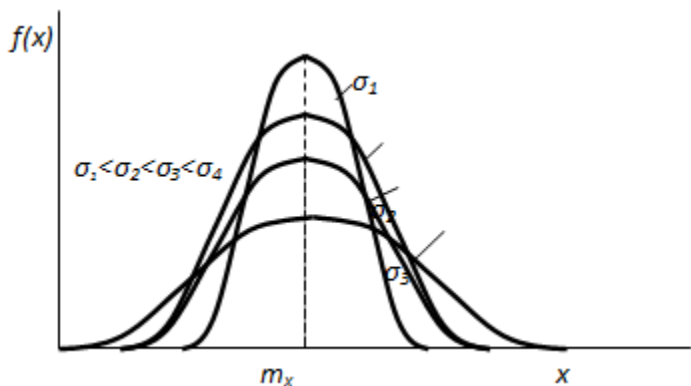


Рис. 5.10. Криві щільності ймовірності гауссова розподілу при різних значеннях параметру m_x і постійному σ_x^2

Частіш за все гауссовий розподіл застосовують у нормованому вигляді

$$f(z) = e^{-z^2/2} / \sqrt{2\pi}, \quad (5.23)$$

де $z = \frac{(X - m_x)}{\sigma_x}$ – нормована випадкова величина, для

якої $m_x = 0$ і $\sigma_x^2 = 1$.

Значення щільності, задані формулою (5.23) є табульованими.

Щільність імовірності $f(x)$, обумовлену формулою (5.21), можна виразити через нормовану щільність імовірності

(5.23) у такий спосіб:

$$f_x(x) = f_z(z) / \sigma_x = f_z\left(\frac{x - m_x}{\sigma_x}\right) / \sigma_x. \quad (5.24)$$

Функція розподілу випадкової величини X , що підкоряється закону Гаусса,

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{(x - m_x)^2}{2\sigma_x^2}\right] dx, \quad (5.25)$$

Або переходячи до нової змінної $z = (x - m_x) / \sigma_x$ отримаємо

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{(x - m_x) / \sigma_x} e^{-z^2/2} dz, \quad (5.26)$$

Інтеграл (5.26) не виражається через відомі елементарні функції, а обчислюється за допомогою табульованої функції

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-z^2/2} dz, \quad (5.27)$$

яку називають функцією Лапласа.

Використовуючи формули (5.26) і (5.27), інтегральний закон розподілу можна записати у вигляді

$$F(x) = 0,5 + \Phi(z). \quad (5.28)$$

Графік функції розподілу показаний на рис. 5.8, б. Імовірність улучення нормально розподіленої випадкової величини X в заданий інтервал (a, b) буде

$$P(a < x < b) = F(b) - F(a) = \Phi\left[\frac{b - m_x}{\sigma_x}\right] - \Phi\left[\frac{a - m_x}{\sigma_x}\right]. \quad (5.29)$$

Користуючись таблицею значень функції Лапласа, установлюємо, що імовірність перебування нормально розподіленої випадкової величини в інтервалі $(m_x - 3\sigma_x, m_x + 3\sigma_x)$ є близькою до одиниці, тому що $2\Phi(3) = 0,9973$.

У силу цього вважається, що практично граничне відхилення випадкової величини X , що підкоряється законові Гаусса, дорівнює $\pm 3\sigma$.

Рівномірний розподіл. Рівномірним розподілом називають такий розподіл випадкової величини, при якому вона з однаковою імовірністю може приймати будь-яке значення в заданих межах. Такому законові розподілу підкоряються, наприклад, сумарна похибка обробки, викликана лінійною зміною в часі домінуючого фактора (знос ріжучого інструмента, температурні деформації та ін.); похибки, що виникають за рахунок округлення величини й відліків, отриманих при вимірюванні на приладах та ін.

Диференціальний рівномірний закон розподілу має вигляд

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x < a \\ 1/(b-a) & \text{при } a < x < b \\ 0 & \text{при } x > b, \end{cases} \quad (5.30)$$

де a і b – параметри закону, що визначають межі змінення випадкової величини X .

Інтегральний рівномірний закон розподілу визначають за формулою

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq a; \\ (x-a)/(b-a) & \text{при } a \leq x \leq b; \\ 1 & \text{при } x \geq b. \end{cases} \quad (5.31)$$

Рівномірний закон розподілу є відносно симетричним. Графік щільності імовірності (5.30) і функції розподілу (5.31) показаний на рис.5.11.

У якості параметрів рівномірного розподілу часто застосовують також половину довжини l зміни інтервалу випадкової величини X і середину інтервалу m_x . Обидві системи параме-

трів пов'язані залежностями

$$l = \frac{(b-a)}{2}; \quad m_x = \frac{(b+a)}{2}. \quad (5.32)$$

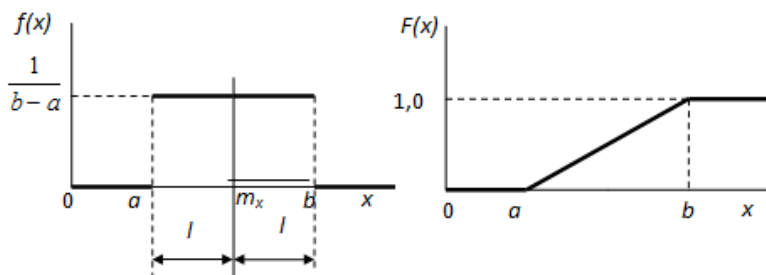


Рис. 5.11. Диференційний (а) й інтегральний (б) закони рівномірного розподілу

Математичне сподівання, дисперсія і середнє квадратичне відхилення випадкової величини, що підкоряється рівномірному розподілові, будуть відповідно:

$$\left. \begin{aligned} M\{X\} &= (a+b)/2 = m_x; \\ D\{X\} &= (b-a)^2/12 = l^2/3; \\ \sigma\{X\} &= (b-a)/(2\sqrt{3}) = l/\sqrt{3}. \end{aligned} \right\} (5.33)$$

Розподіл Релея. Воно часто зустрічається на практиці. Йому підкоряються відхилення форми (овальність, огранювання, конусообразність, бочкообразність) і похибки взаємного розподілу поверхонь (ексцентриситет, непаралельність, неперпендикулярність та ін.).

Закон Релея застосовують для опису невід'ємних випадкових величин, які є радіус-вектором при двовимірному гауссовському розподілі, тобто якщо випадкова величина Y є геометричною сумою випадкових величин X_1 і X_2 :

$$Y = \sqrt{X_1^2 + X_2^2}, \quad (5.34)$$

що підпорядковуються законові Гаусса з параметрами

$$m_{x_1} = m_{x_2} = 0 \text{ та } \sigma_{x_1} = \sigma_{x_2} = \sigma^0.$$

Щільність імовірності розподілу Релея має вигляд

$$f(y) = \begin{cases} 0 & \text{при } y < 0; \\ ye^{-y^2/(2\sigma_0^2)} / \sigma_0^2 & \text{при } y \geq 0, \end{cases} \quad (5.35)$$

де σ_0 – параметр закону.

Функція розподілу виражається формулою

$$F(y) = \begin{cases} 0 & \text{при } y < 0; \\ 1 - e^{-y^2 / (2\sigma_0^2)} / \sigma_0^2 & \text{при } y \geq 0, \end{cases} \quad (5.36)$$

Графік нормованої щільності (5.35), зображений на рис.5.12, а, має позитивну асиметрію і більш гостру вершину, чим закон Гаусса. Функцію розподілу приведено на рис.5.12, б.

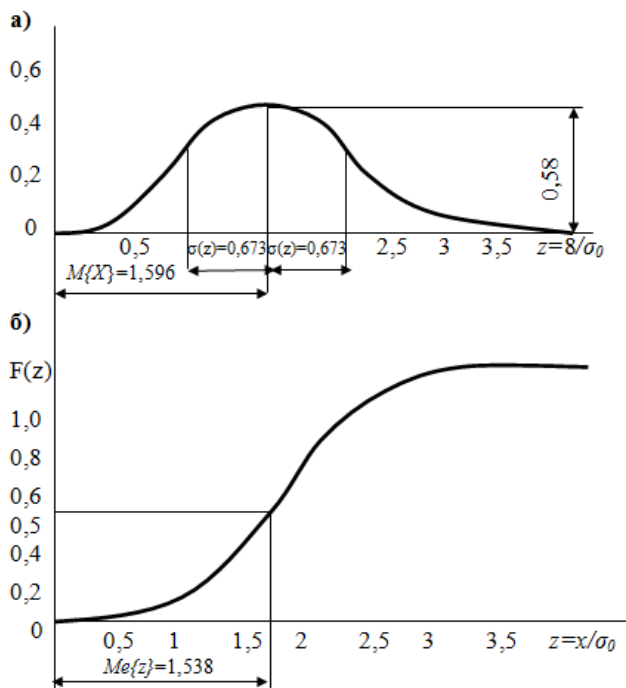


Рис. 5.12. Щільність імовірності (а) і функція розподілу (б) закону Релея

Математичне сподівання, дисперсія і середнє квадратичне відхилення випадкової величини розподілу за законом Релея, будуть

$$\left. \begin{aligned} M\{Y\} &= \sigma_0 \sqrt{\pi/2} = 1,253\sigma_0; \\ D\{Y\} &= \sigma_0^2 (2 - \pi/2) = 0,429\sigma_0^2; \\ \sigma\{Y\} &= \sigma_0 \sqrt{2 - \pi/2} = 0,655\sigma_0. \end{aligned} \right\} \quad (5.37)$$

Крім розглянутих законів розподілу при теоретичному й експериментальному вивченні точності виробництва застосовують розподіли інших видів. Часто приходить мати справу з розподілом модуля різниці, законом Симпсона, трапецеїдальним розподілом, розподілом з функціями $a(t)$ і $b(t)$ та ін.

Двовимірні випадкові величини. При вирішенні різних задач теорії точності виробництва крім одновимірних випадкових величин розглядають ще двовимірні, тривимірні і взагалі багатовимірні величини, що представляють собою системи відповідно з двох, трьох і багатьох величин. Прикладом двовимірної випадкової величини може служити відхилення центру деталі, що обточується на верстаті, від центру базової циліндричної поверхні. Тривимірною величиною є, наприклад, просторова помилка механізму. Якщо нас цікавить одночасно кілька розмірів деталі, яка обробляється на верстаті, то ми маємо справу з багатовимірною випадковою величиною. Кількість вимірів якої дорівнює кількості контрольованих розмірів. У багатьох практичних задачах можна обмежитися розглядом дво- або тривимірної випадкової величини.

Вичерпна характеристика системи випадкових величин – закон розподілу системи, неповні характеристики – числові. Закон розподілу системи випадкових величин (X, Y) залежить від характеру розподілу кожної з величин, що входять у систему, і від взаємозв'язку між ними. Ступінь залежності випадкових величин X і Y характеризується умовним законом розподілу, під яким розуміють закон розподілу однієї з випадкових величин, знайдений за умови, що інша випадкова величина прийняла певне значення. Щільність імовірності системи випадкових величин дорівнює добуткові щільності імовірності однієї величини на умовну щільність імовірності інший

$$f(x, y) = f(x) f(y/x). \quad (5.38)$$

Цю формулу називають теоремою множення законів розподілу. Для незалежних випадкових величин (5.38) приймає вигляд

$$f(x, y) = f(x) f(y). \quad (5.39)$$

З числових характеристик системи двох випадкових величин прийнято розглядати перші початкові і другі центральні моменти.

Початковим моментом порядку $k + s$ системи (X, Y) називають величину

$$\begin{aligned}
 M_{k,s}\{X,Y\} &= M\{(X-m_x)^k(Y-m_y)^s\} = \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (X-m_x)^k (Y-m_y)^s f(x,y) dx dy
 \end{aligned}
 \tag{5.40}$$

Характеристиками положення двовимірної випадкової величини є перші початкові моменти:

$$\left. \begin{aligned}
 \alpha_{1,0} &= M\{X^1 Y^0\} = M\{X\} = m_x; \\
 \alpha_{0,1} &= M\{Y\} = M\{X^0 Y^1\} = m_y.
 \end{aligned} \right\}.
 \tag{5.41}$$

Як видно з (5.41), перші початкові моменти являють собою уже відомі нам математичні сподівання випадкових величин X і Y , що входять у систему.

Характеристиками розсіювання системи є другі центральні моменти, що представляють собою дисперсії випадкових величин X і Y , що входять у систему

$$\left. \begin{aligned}
 M_{2,0} &= M\{(X-m_x)^2(Y-m_y)^0\} = \\
 &= M\{(X-m_x)^2\} = \sigma^2\{X\} = \sigma_x^2; \\
 M_{0,2} &= M\{(X-m_x)^0(Y-m_y)^2\} = \\
 &= M\{(Y-m_y)^2\} = \sigma^2\{Y\} = \sigma_y^2.
 \end{aligned} \right\}
 \tag{5.42}$$

Особливо велике практичне значення має змішаний випадковий момент другого порядку випадкових величин X і Y , називаний також кореляційним моментом (коваріацією):

$$\begin{aligned} K_{xy} = \mu_{11} &= M\{(X - m_x)(Y - m_y)\} = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int (X - m_x)(Y - m_y) f(x, y) dx dy. \end{aligned} \quad (5.43)$$

Через те, що кореляційний момент характеризується не тільки імовірнісною залежністю, але і розсіюванням випадкових величин, то частіше переходять до безрозмірної характеристики – коефіцієнта кореляції

$$r_{xy} = \frac{M\{(X - m_x)(Y - m_y)\}}{\sqrt{D_x D_y}} = \frac{K_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (5.44)$$

який може приймати значення, що лежать у межах $-1 \leq r_{xy} \leq 1$. Для незалежних випадкових величин коефіцієнт кореляції дорівнює нулю. Якщо випадкові величини X і Y пов'язані лінійною функціональною залежністю, то їх коефіцієнт кореляції $|r_{xy}| = 1$.

Числові характеристики функцій випадкових величин. Нехай величина Y – функція випадкової величини з щільністю імовірності $f(x)$:

$$Y = \varphi(x). \quad (5.45)$$

Тоді математичне сподівання величини Y

$$m_y = M\{\varphi(x)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x) f(x) dx. \quad (5.46)$$

Дисперсія випадкової величини Y

$$\sigma_y^2 = \sigma^2\{\varphi(x)\} = \int_{-\infty}^{\infty} [\varphi(x) - m_y]^2 f(x) dx. \quad (5.47)$$

З (5.46), (5.47) видно, що обчислення числових значень характеристик випадкової величини Y , що є функцією X , можна здійснювати, не визначаючи закону розподілу Y , а, використовуючи лише закон розподілу випадкової величини X . Більш того, у деяких випадках, для того щоб знайти числові характеристики функції, не потрібно навіть знати закони розподілу її аргументів. Деякі відомі випадки приводяться нижче.

Теореми про числові характеристики випадкових величин. Теореми про математичні сподівання.

1. Математичне сподівання постійної величини C дорівнює значенню самої цієї величини

$$M\{C\} = C. \quad (5.48)$$

2. Постійний множник можна виносити за знак математичного сподівання

$$M\{CX\} = CM\{X\}. \quad (5.49)$$

3. Математичне сподівання суми постійної і випадкової величини дорівнює сумі постійної і математичного сподівання випадкової величини

$$M\{C + X\} = C + M\{X\}. \quad (5.50)$$

4. Математичне сподівання суми декількох випадкових величин X_i дорівнює сумі математичних сподівань цих величин

$$M\left\{\sum_{i=1}^n X_i\right\} = \sum_{i=1}^n M\{X_i\}. \quad (5.51)$$

Ця теорема поширюється як на незалежні, так і на залежні випадкові величини.

5. Математичне сподівання добутку декількох незалежних випадкових величин X_i дорівнює добутку їх математичних сподівань

$$M\left\{\prod_{i=1}^n X_i\right\} = \prod_{i=1}^n M\{X_i\}. \quad (5.52)$$

6. Математичне сподівання добутку двох корельованих

випадкових величин X і Y виражається формулою

$$M(X, Y) = M\{X\}M\{Y\} + K_{xy}. \quad (5.53)$$

7. Математичне сподівання лінійної функції декількох випадкових величин

$$Y = \sum_{i=1}^n a_i x_i + b \quad (5.54)$$

дорівнює тій же лінійній функції від математичного сподівання

$$M\{Y\} = M\left\{\sum_{i=1}^n a_i x_i + b\right\} = \sum_{i=1}^n a_i M\{X_i\} + b. \quad (5.55)$$

Теореми про дисперсії.

8. Дисперсія постійної величини C

$$D\{C\} = 0. \quad (5.56)$$

9. Постійний множник можна виносити за знак дисперсії, підвівши його у квадрат і т.д.

$$D\{CX\} = C^2 D\{X\}. \quad (5.57)$$

10. Дисперсія суми постійної C и випадкової величини X дорівнює дисперсії величини X :

$$D\{C + X\} = D\{X\}. \quad (5.58)$$

11. Дисперсія суми декількох незалежних випадкових величин X_i дорівнює сумі дисперсій цих величин:

$$D\left\{\sum_{i=1}^n X_i\right\} = \sum_{i=1}^n D\{X_i\}. \quad (5.59)$$

З (5.59) випливає правило квадратичного підсумовування середніх квадратичних відхилень незалежних випадкових величин:

$$\sigma\left\{\sum_{i=1}^n X_i\right\} = \sigma_\Sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2\{X_i\}}. \quad (5.59a)$$

12. Дисперсія суми декількох корельованих випадкових величин X_i виражається формулою

$$D\left\{\sum_{i=1}^n X_i\right\} = \sum_{i=1}^n D\{X_i\} + 2\sum_{i \neq j} K_{x_i x_j}. \quad (5.60)$$

Зокрема, дисперсія суми (різниці) двох корельованих

випадкових величин X і Y має вигляд

$$D\{X \pm Y\} = D\{X\} + D\{Y\} \pm 2K\{XY\}. \quad (5.61)$$

13. Дисперсія лінійної функції декількох коррельованих випадкових величин

$$Y = \sum_{i=1}^n a_i X_i + b \quad (5.62)$$

визначається формулою

$$D\{Y\} = D\left\{\sum_{i=1}^n a_i X_i + b\right\} = \sum_{i=1}^n a_i^2 D\{X_i\} + 2 \sum_{i \neq j} a_i a_j K_{x_i x_j}. \quad (5.63)$$

У випадку, коли величини X_i некоррельовані, (5.63) прийме вигляд

$$D\{Y\} = D\left\{\sum_{i=1}^n a_i X_i + b\right\} = \sum_{i=1}^n a_i^2 D\{X_i\}. \quad (5.64)$$

14. Дисперсія добутку двох незалежних випадкових величин

$$D\{X, Y\} = D\{X\}D\{Y\} + D\{X\}[M\{Y\}]^2 + D\{Y\}[M\{X\}]^2. \quad (5.65)$$

Лінеаризація функцій випадкових величин. Для визна-

чення числових характеристик величини Y_i , пов'язаної з випадковою величиною X_i нелінійною функціональною залежністю

$$Y = \varphi(X_1, X_2, \dots, X_n), \quad (5.66)$$

широко застосовується метод лінеаризації, що дає гарні результати, коли значення X_i знаходяться у вузькому інтервалі (наприклад, при оцінюванні похибок обробки).

Розкладаючи (5.66) у ряд Тейлору навколо точки $(m_{x_1}, m_{x_2}, \dots, m_{x_n})$ і відкидаючи члени вищого порядку, можна цю функцію приблизно замінити лінійною залежністю

$$Y \approx \varphi(m_{x_1}, m_{x_2}, \dots, m_{x_n}) + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right) (X_i - m_{x_i}), \quad (5.67)$$

де $(\partial \varphi / \partial x_i)_m$ – часткова похідна функції $\varphi(X_1, X_2, \dots, X_n)$ за аргументом X_i , у яку замість кожного аргументу підставлене його математичне сподівання.

Математичне сподівання лінеаризованої функції (5.67) обчислюють за формулою

$$m\{Y\} = \varphi(m_{x_1}, m_{x_2}, \dots, m_{x_n}). \quad (5.68)$$

Дисперсію функції (5.67) визначають виразом

$$D\{Y\} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right)_m^2 D_{x_i} + 2 \sum_{i \neq j}^n \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right)_m \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_j} \right)_m K_{x_i x_j} . \quad (5.69)$$

У випадку, коли аргументи X_i некоррельовані, (5.69) прийме більш простий вигляд:

$$D\{Y\} = \sum_{i=1}^n \left(\partial \varphi / \partial x_i \right)_m^2 D_{x_i} . \quad (5.70)$$

Формули (5.69) і (5.70) знаходять широке застосування в різних прикладних питаннях теорії точності, при дослідженні вихідних похибок приладів і систем керування, при аналізі точності технологічних процесів та ін.

Випадкові функції. Поняття випадкової величини, що дозволяє вирішувати багато задач точності виробництва, виявляється недостатнім для опису закономірностей ходу технологічного процесу в часі. Так, наприклад, при дослідженні точності токарської операції похибки обробки можна розглядати як функцію кількості виготовлених деталей. Похибки виготовлення циліндричних деталей можна розглядати як функцію осьової координати або кута повороту чи обох цих аргументів. Зміна ординати кривій профілю обробленої поверхні в заданому напрямку і вібрації вузлів верстата протягом часу його роботи можуть служити прикладами випадкових функцій.

Розгляд випадкових величин як функції якого-небудь не-випадкового аргументу дозволяє одержати більше відомостей

про процес і вивчити його при певних закріплених умовах – у статистичній.

Випадковою функцією $X(t)$ називають таку функцію, яка при кожному значенні аргументу, тобто в кожному перетині, є випадковою величиною. Отриманий у результаті досвіду конкретний вид випадкової функції $x(t)$ називають реалізацією випадкової функції. Кожна реалізація – не випадкова функція. Якщо аргументом випадкової функції є час t , то випадкову функцію називають випадковим (стохастичним) процесом.

Характеристики випадкових функцій. Часто при дослідженні випадкових процесів закони розподілу їх не розглядають, а використовують характеристики випадкових функцій: математичне сподівання, дисперсію, кореляційну функцію та ін.

Математичним сподіванням випадкової функції $X(t)$ називають не випадкову функцію $m_x(t)$, що при кожному значенні аргументу t дорівнює математичному сподіванню відповідного перетину випадкової функції:

$$m_x = M\{X(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x,t)dx. \quad (5.71)$$

Дисперсією випадкової функції $X(t)$ називають не випадкову функцію $\sigma^2(t)$, значення якої для кожного t дорівнює дисперсії відповідного перетину випадкової функції:

$$\sigma^2(t) = \sigma^2\{X(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} [x(t) - m_x(t)]^2 f(x, t) dx. \quad (5.72)$$

Математичного сподівання і дисперсії явно недостатньо для опису випадкової функції, тому що вони не враховують зв'язок між значеннями випадкової функції при різних значеннях аргументу. Випадкові функції, що мають однакові математичні сподівання і дисперсію, можуть мати зовсім різну внутрішню структуру, яка характеризується кореляційною функцією.

Кореляційною (автокореляційною) функцією випадкового процесу $X(t)$ називають не випадкову функцію двох аргументів $K_{xx}(t_1, t_2)$, що при кожній парі значень t_1, t_2 дорівнює кореляційному моменту відповідних перетинів випадкової функції:

$$\begin{aligned} K_{xx}(t_1, t_2) - M([X(t_1) - m_x(t_1)][X(t_2) - m_x(t_2)]) = \\ = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} [x_1 - m_x(t_1)][x_2 - m_x(t_2)] f(x_1, x_2, t_1, t_2) dx_1 dx_2. \end{aligned} \quad (5.73)$$

Замість кореляційної функції можна користуватися нормованою кореляційною функцією

$$r_{xx}(t_1, t_2) = K_{xx}(t_1, t_2) / [\sigma_x(t_1)\sigma_x(t_2)], \quad (5.74)$$

яка являє собою коефіцієнт кореляції величин $X(t_1)$ і $X(t_2)$.

Кореляційна функція містить у собі поняття дисперсії,

яка може бути отримана при рівних значеннях аргументів $t_1 = t_2 = t$, тобто

$$\sigma^2(t) = K_{xx}(t_1, t_2) \Big|_{t_1=t_2=t} = K_{xx}(t, t). \quad (5.75)$$

Стаціонарні випадкові функції. На практиці часто зустрічаються випадкові процеси, що протікають приблизно однаково при зміні аргументу t . Прикладом такого процесу є похибка форми деталей, оброблюваних на верстатах-автоматах або при настроєних операціях у випадку відсутності впливу домінуючих факторів, що змінюються в часі.

Стаціонарною випадковою функцією називають таку функцію, в якій математичне сподівання і дисперсія постійні, а кореляційна функція залежить тільки від різниці аргументів $t_2 - t_1 = r$, тобто

$$m_x(t) = M\{X(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx = m_x; \quad (5.76)$$

$$\sigma_x^2(t) = M\{[X(t) - m_x]^2\} = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 f(x) dx = \sigma_x^2; \quad (5.77)$$

$$K_{xx}(t, t+r) = M\{[X(t) - m_x][X(t+r) - m_x]\} =$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x_1 - m_x)(x_2 - m_x) f(x_1, x_2, r) dx_1 dx_2 = K_{xx}(r). \quad (5.78)$$

Нормована кореляційна функція стаціонарної випадкової функції $X(t)$

$$r_{xx}(r) = K_{xx}(r) / \sigma_x^2. \quad (5.79)$$

5.2 Основи статистичного аналізу точності виробництва

Об'єктивно існуючі закономірності явищ, з якими пов'язані випадкові величини і випадкові функції, виявляються при масовому відтворенні процесів, у яких ці явища протікають. Тому в багатьох випадках ймовірні характеристики розглянутих випадкових величин і випадкових функцій визначають по експериментальним даним.

Характеристики випадкових величин і випадкових функцій, визначені за даними експериментів, носять випадковий характер і відрізняються від істинних значень відповідних їм ймовірностних характеристик. На відміну від істинних значень ймовірностних характеристик аналогічні їм характеристики, отримані за даними експерименту, називаються статистичними (емпіричними). Статистичні характеристики часто називають оцінками відповідних ймовірностних характеристик.

В основі методів визначення статистичних характеристик випадкових величин і випадкових функцій лежить закон

великих чисел. Відповідно до цього закону при великій кількості експериментів можливі відхилення середнього значення результатів експериментів від відповідного математичного сподівання є малими.

Вибірковий метод і задачі математичної статистики. Математична статистика використовує вибірковий метод, що у загальній формі виглядає таким чином. Є деяка велика сукупність об'єктів, називана генеральною сукупністю, з якої витягають n об'єктів. Число n називають обсягом вибірки. Ці n об'єктів, що утворюють вибірку, піддають дослідженню і за результатами описують усю генеральну сукупність чи які-небудь її властивості, характеристики.

Вибірку заданого обсягу n з нескінченної генеральної сукупності можна здійснювати великою кількістю способів. Будь-яка вибірка при цьому сама стане випадковою подією. З випадковості вибірки випливає, що всі числові характеристики вибірки (зокрема, середнє і дисперсія) при незмінному обсязі будуть випадковими величинами зі своїми розподілами. Ці розподіли можна знаходити, знаючи розподіли основної величини X .

За величиною вибірки можуть бути дуже малими ($n < 10$), для яких визначаються лише числові характеристики; малими ($10 < n < 30$), розподіли для яких визначають за непараметричним методом; великими ($n > 30$), обробку яких здійснюють після розбивки на розряди. Якщо велика вибірка має $n \geq 250$, тоді її називають представницькою (репрезентативною).

Укажемо найбільш типові задачі математичної статистики:

1. Оцінка невідомих законів розподілу. Задача ставиться

так: у результаті незалежних іспитів над випадковою величиною X отримані її значення $x_1, x_2, \dots, x_n$. Потрібно оцінити, хоча б приблизно, невідомі функції $f(x)$ і $F(x)$ величини X .

2. Оцінка невідомих параметрів розподілу. Задача формулюється таким чином: випадкова величина X має функцію розподілу певного виду, що залежить від n параметрів, значення яких невідомі. На підставі наявних спостережень потрібно оцінити значення цих параметрів.

3. Перевірка статистичних гіпотез. При цьому створюють методику перевірки за даними вибірки справедливості тієї чи іншої гіпотези про закон розподілу або його параметрів при заздалегідь установлених значеннях ймовірностей помилок, що виникають за рахунок обмеження вибірки.

4. Бракування продукції масового виробництва, контроль якості продукції, що випускається, планування іспитів, оцінка характеристик випадкових функцій та ін.

Емпіричний розподіл випадкової величини і його графічне зображення. Вихідними даними статистичного дослідження будь якої випадкової величини X є сукупність з n спостережень, у результаті яких величина X приймає значення $x_1, x_2, \dots, x_n$. Таку сукупність називають простим статистичним рядом, що є первинною формою запису статистичного матеріалу. Варіаційним рядом називають послідовність значень досліджуваної величини, які спостерігаються, розташованих у зростаючому порядку: $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$.

Статистичної (емпіричної) функцією розподілу назива-

ють функцію, обумовлену рівністю

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq x_1; \\ i/n & \text{при } x_i \leq x \leq x_{i+1} \ (i = 1, 2, \dots, n-1); \\ 1 & \text{при } x > x_n \end{cases} \quad (5.80)$$

Функцію $F(x)$ подають у вигляді східчастої кривої, називаної полігоном накопичених частот f , що зростає від 0 до 1 і має «стрибки» величиною C у точках $x_1, x_2, \dots, x_n$ (рис. 5.13). Всі елементи вибірки мають однакову імовірність $1/n$. Функція розподілу в кожній точці дорівнює кількості елементів вибірки, менших X , поділеної на обсяг вибірки n .

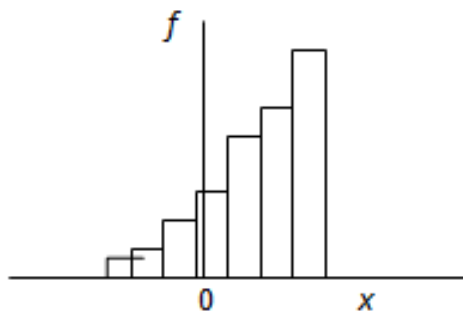


Рис. 5.13. Полігон накопичених частот

Гістограмам віддають перевагу над полігонами частот, тому що площа, обмежена полігоном, не має простої частотної інтерпретації.

Оцінка числових випадкових величин. Числові характеристики, отримані з вибірки, є випадковими величинами і можуть бути лише оцінками числових характеристик випадкової величини, що утворює генеральну сукупність.

Оцінки можуть бути точковими і інтервальними. Точкова оцінка являє собою деяку функцію результатів спостереження. Інтервальна оцінка – деякий числовий інтервал, що укладає в собі значення шуканого параметра генеральної сукупності з деякою довірчою імовірністю. Найбільш достовірні точкові оцінки: статистичне математичне сподівання, дисперсія, середнє квадратичне відхилення, початковий і центральний моменти.

Математичне сподівання випадкової величини оцінюється її середнім арифметичним

$$\overline{X} = \sum_{i=1}^n x_i / n . \quad (5.83)$$

Оцінку дисперсії визначають за формулою

$$S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1} = \frac{n}{n-1} \left[\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - \bar{X}^2 \right]. \quad (5.84)$$

Статистичні початкові і центральні моменти k -го порядку виражають рівностями:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_k &= \sum_{i=1}^n x_i^k / n \\ p_k &= \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^k / n \end{aligned} \right\}. \quad (5.85)$$

Усяка статистична оцінка – величина випадкова. Тому оцінка повинна бути самостійною, незміщеною і ефективною.

Статистична перевірка гіпотез про закон розподілу. Найбільш просте (якісне) подання про більшу чи меншу близькість теоретичного й емпіричного розподілу дає графічне порівняння полігонів і гістограм із кривою розподілу. Для кількісної оцінки відповідності емпіричного розподілу з теоретичним користуються рядом критеріїв, з яких найбільше практичне застосування мають χ^2 і критерій А.Н.Колмогорова.

Критерій

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m [(n - n')^2 / n] \quad , \quad (5.86)$$

де m – кількість порівнюваних частот;

n – теоретична частота i -го інтервалу,

n' – емпірична частота i -го інтервалу.

Очевидно, χ^2 – випадкова величина. Закон розподілу цієї величини залежить від “ступеня волі” розподілу:

$$k = m - f - 1 \quad , \quad (5.87)$$

де f – кількість параметрів закону розподілу.

По k і χ^2 визначають імовірність $P(\chi^2)$. Якщо ця імовірність досить мала ($P < 0,05$), то гіпотеза про відповідність законів розподілу відкидається; якщо ж $P > 0,05$, то гіпотезу потрібно визнати не суперечною дослідним даним. При використанні критерію χ^2 кількість даних у вибірці повинна бути більшою за 30, але не більшою, ніж $300 \div 500$. При дуже великій кількості даних незначні відхилення за частотою в рядках приводять до великих величин χ^2 . У кожному розділі рекомендується мати не менше $5 \div 10$ даних.

Оцінки для числових характеристик двовимірної випадкової величини. Статистичні оцінки математичних сподівань і

дисперсій випадкової величини (X, Y) на підставі вибірових даних визначаються за співвідношеннями:

$$\left. \begin{aligned} \bar{x} &= \sum_{i=1}^n x_i / n; \quad \bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i / n; \\ S_x^2 &= \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} = \frac{n}{n-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - \bar{x}^2 \right); \\ S_y^2 &= \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1} = \frac{n}{n-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} - \bar{y}^2 \right) \end{aligned} \right\} \quad (5.88)$$

Оцінку кореляційного моменту і коефіцієнту кореляції здійснюють за формулою

$$\left. \begin{aligned} K_{xy} &= \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1} = \frac{n}{n-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{n} - \bar{x} \bar{y} \right); \\ r_{xy} &= \frac{K_{xy}}{S_x S_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]}} \end{aligned} \right\} \quad (5.89)$$

Найбільш зручна для практичних обчислень оцінка коефіцієнта кореляції визначається формулою

$$r_{xy} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}}. \quad (5.89a)$$

На підставі статистичних оцінок характеристик двовимірної випадкової величини можна розрахувати параметри прямих регресій Y по X і X по Y :

$$\left. \begin{aligned} m_{y/x} &= \bar{Y} / x = \bar{Y}_x = a_1 + b_{y/x} x; \\ m_{x/y} &= \bar{X} / y = \bar{X}_y = a_2 + b_{x/y} y. \end{aligned} \right\}. \quad (5.90)$$

Це здійснюється за допомогою формул

$$\left. \begin{aligned} b_{y/x} &= r_{xy} s_y / s_x; \quad b_{x/y} = r_{xy} s_x / s_y; \\ a_1 &= \bar{y} - b_{y/x} \bar{x}; \quad a_2 = \bar{x} - b_{x/y} \bar{y}. \end{aligned} \right\}. \quad (5.91)$$

У випадку, коли криві регресії значно відхиляються від прямолінійної форми, як міру зв'язку з даними вибірки викорис-

товують статистичні кореляційні відносини, обумовлені формулами

$$\eta_{y/x} = s\{m_{y/x}\}/s_y; \quad \eta_{x/y} = s\{m_{x/y}\}/s_x, \quad (5.92)$$

де оцінки дисперсій умовних середніх

$$\left. \begin{aligned} s^2\{m_{y/x}\} &= s_{\bar{y}/x}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [m_{y/x} - \bar{y}]^2; \\ s^2\{m_{x/y}\} &= s_{\bar{x}/y}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [m_{x/y} - \bar{x}]^2. \end{aligned} \right\}. \quad (5.93)$$

Оцінку вірогідності (значимості) зв'язку визначають за допомогою критерію

$$\mu_r = |r_{xy}|/s_r \geq t, \quad (5.94)$$

де $s_r = (1-r^2)/\sqrt{n}$ – середньоквадратична похибка статистичного коефіцієнту кореляції.

При довірчій імовірності (надійності) $p = 0,990$ отримаємо $t \approx 2,58$, тоді (5.94) прийме вигляд

$$r_{xy}/s_r \geq 2,58. \quad (5.95)$$

5.3 Розрахунки точності при виробництві ТЗА

Під точністю виробництва розуміють ступінь відповідності виготовленого виробу заданим розмірам, формі, механічним, фізичним властивостям і іншим характеристикам, що впливають зі службового призначення цього виробу. Точність виробу – один з основних критеріїв його якості і надійності.

Високі вимоги до технічних параметрів і техніко-експлуатаційних характеристик сучасних приладів і систем керування обумовлюють значимість питань теорії і розрахунку точності виробництва.

Забезпечення точності – комплексна проблема. Її успішне вирішення можливе лише тоді, коли питання точності, продуктивності й економічності розглядають у взаємному зв'язку. Вирішення цієї проблеми проводять на всіх етапах створення виробу: при виборі принципових схем і розрахунково-конструкторських роботах, при проектуванні і здійсненні технологічних процесів на всіх стадіях виробництва, при проектуванні і створенні засобів вимірювання і контролю.

Причини невідповідності реального виробу кресленню і технічним умовам – неминучі похибки робочих процесів виробництва. Відхилення виконуваного технологічного процесу від розрахункового є причинами виробничих похибок. Тому найважливіша умова для успішного дослідження і розрахунків точності конкретних технологічних процесів – глибоке вивчення їх фізичної сутності, виявлення найважливіших закономірностей ходу технологічного процесу, а потім математичне вираження цих закономірностей.

При дослідженні і розрахунку складових сумарної похи-

бки виготовлення деталей по всьому «технологічному ланцюжку» виробництва деталей, а також виробу в цілому завжди варто враховувати специфічні особливості, властиві кожному процесові. Наприклад, для механічної обробки первинні похибки можна звести до наступних чотирьох основних груп: теоретичні, технологічної системи ВПД (верстат – пристосування – інструмент – деталь), установки заготовки, самих заготовок.

Виробничі похибки. Виробничі похибки звичайно поділяють на два види: систематичні, які у свою чергу поділяються на постійні, повторювані без зміни при обробленні кожної наступної деталі, і змінні, що змінюються від однієї деталі до іншої за певним законом, і випадкові зміни яких у межах партії від однієї деталі до іншої не підкоряються функціональній залежності.

Однак така класифікація похибок умовна, тому що та сама виробнича похибка в залежності від умов обробки може бути віднесена або до детермінованих, або до випадкових похибок.

Наприклад, похибка виготовлення конкретного екземпляра пристосування при обробленні на ньому окремої партії деталей являють собою постійні систематичні похибки. При обробленні однотипних деталей на різних екземплярах пристосування одного виду ці похибки здобувають випадковий характер.

Відхилення виконуваного технологічного процесу від розрахункового називають первинними похибками, які є джерелами виробничих похибок.

Первинні похибки досить різноманітні, тому з метою аналізу і розрахунку точності обробки особливо велике значення має класифікація первинних похибок, їхній взаємозв'язок з виробничими похибками, що представляють собою вихідні параметри якості деталей, точності, розмірів, форми та ін.

Групування первинних похибок має важливе значення для аналізу і розрахунку сумарної похибки. З огляду на це, усе різноманіття первинних похибок можна поділити на наступні чотири групи: теоретичні, настроєння, установлення, обробки.

Розглянемо кожну з цих груп на прикладі аналізу процесів механічної обробки.

Теоретичні похибки. Ці похибки виходять унаслідок свідомого застосування наближеної схеми обробки замість точної чи використання інструмента з наближеним профілем.

У ряді випадків основна кінематична схема лише приблизно забезпечує отримання необхідної поверхні. Наприклад, при нарізуванні конічних зубчастих коліс модульною фрезою одержати точний профіль зуба неможливо. При нарізуванні різьблень з кроком, що виражається десятковим дробом з великою кількістю знаків, приходится замінити цей дріб безперервним і вже тоді здійснювати підбір зубчастих коліс; крок гвинта вийде лише приблизно вірним.

Наближену схему обробки використовують для спрощення технологічного процесу при забезпеченні заданої точності.

Похибки настроювання. Неточності пристроїв, застосовуваних при налагодженні технологічного устаткування, похибки, що залежать від налагоджувальника, та інші не дозволяють провести настроювання з абсолютною точністю.

Похибки настроювання досить істотно впливають на точність обробки, особливо це відчутно в умовах приладобудівного виробництва, де значною є питома величина похибки настроювання в сумарній похибці.

Характер похибок настроювання різний. В одних умовах похибки настроювання варто розглядати як постійні системати-

чні похибки, в інших – як випадкові. У залежності від цього вибирають і методи визначення їх при розрахунку точності обробки.

При розрахунку точності в умовах обробки однієї настроювальної партії похибки настроювання приймають постійними систематичними.

Для сукупності ряду партій деталей похибки настроювання треба приймати як випадкові.

У загальних випадках розрахунку точності обробки похибки настроювання можна розглядати як випадкові похибки, величину яких знаходять за відповідними теоретико-імовірнісними залежностями.

Похибки установлення. Похибки установлення Δ_y можуть визначатися сумарним значенням похибки базування Δ_δ і похибки закріплення Δ_z .

Похибки базування мають місце в тому випадку, коли технологічна (вихідна) база не збігається з конструкторською.

Основна причина виникнення похибок закріплення – деформації поверхневих шарів базуючих поверхонь деталі, і пристосування при закріпленні, а також зсув деталі (відхід поверхонь базуючої деталі, від поверхонь базуючого пристосування) при закріпленні.

Дуже часто похибка базування впливає на точність обробки в порівнянні з похибкою закріплення, тоді останньою можна знехтувати і практично прийняти $\Delta_y = \Delta_\delta$.

Похибки обробки. Похибки обробки можна розділити на дві підгрупи: не залежні і залежні від навантаження. Такий по-

діл, як це буде показано нижче, має значення для побудови більш строгих методик розрахунку точності обробки.

Похибки, що не залежать від навантаження. Неточність устаткування. Геометрична точність верстатів, що знаходяться в експлуатації, унаслідок зносу постійно знижується. Однак величина зносу і неточності виготовлення устаткування ще не дає повного уявлення про точність оброблюваної деталі. Для її визначення в кожному конкретному випадку необхідний розрахунок.

На точність обробки деталей впливають також геометричні параметри верстатів, такі як радіальне і торцеве (осьове) биття шпинделів токарських, фрезерних, свердлильних, круглошліфувальних верстатів; непрямолінійність і непаралельність направляючих токарських, круглошліфувальних, фрезерних верстатів у вертикальній і горизонтальній площині; непаралельність осей шпинделів токарських і круглошліфувальних верстатів до напрямку руху кареток у вертикальній і горизонтальній площинах; невідповідність швидкооберткових частин верстатів, що викликають вібрації, та інші параметри.

Зазначені похибки відносяться до верстата, а не до оброблюваної на ньому деталі. Тому для визначення похибок деталей, які є наслідком похибок верстатів, варто робити необхідні розрахунки.

Наприклад, знос напрямних обумовлює зсув супорта в горизонтальній площині і при нерівномірному зносі передньої і задньої напрямних – нахил супорта, що викликає збільшення діаметра оброблюваної деталі.

Неточності ріжучого інструмента і пристосування. При роботі мірним різальним інструментом його неточності безпосередньо визначають похибку обробки. До таких інструментів відносяться свердли, розгорнення, мітчики, канавкові різці,

шпонкові фрези та ін.

Похибки немірного профільного (фасонного) інструменту на точність обробки впливають побічно. Наприклад, при неправильному заточенні зуби фрези будуть знімати стружку неоднакової товщини, що призведе до зміни розмірів і перекручуванню форми оброблюваної поверхні. Крім того, це обумовлює знос виступаючих зубів фрези.

У деяких випадках ріжучий інструмент є одночасно мірним і фасонним, наприклад східчастий і фасонний інструменти: зенкери, розгорнення, зенківки і протягання. Тут інструмент визначає як форму, так і розміри оброблюваної поверхні деталі.

Похибки виготовлення пристосувань впливають на точність обробки. Маються на увазі похибки в навантаженому стані. У робочому стані з'являються додаткові похибки.

До підгрупи похибок, що не залежать від навантаження, варто відносити похибки вимірювання. Вони можуть мати значну питому вагу в сумарній похибці в залежності від обраних засобів вимірювання. Так наприклад, при вимірюванні зовнішнього діаметра валика будемо мати наступні похибки: при використанні оптиметра – 0,001 мм; мікрометра – 0,01 мм і, нарешті, штангенциркуля – 0,1-0,15 мм.

Тому при розрахунку точності обробки необхідно враховувати похибки вимірювань, маючи на увазі, що неточність вимірювань вимагає звуження допуску на інші складові сумарної похибки.

Похибки, що залежать від навантаження. Розглянемо найбільш визначальні похибки, що залежать від навантаження при обробленні на металорізальних верстатах.

Пружні деформації технологічної системи верстат – пристосування – інструмент – деталь (ВПД). Під дією зусилля рі-

зання та інших сил, прикладених до системи ВПД, вона деформується, унаслідок чого змінюється положення леза інструменту відносно поверхні оброблюваної деталі.

Результатом такого зсуву леза є виникнення похибок форми, розмірів і взаємного розташування поверхонь. Таким чином, пружні деформації системи ВПД впливають на точність обробки. Жорсткість технологічної системи – одне з основних умов забезпечення заданої точності обробки. Висока жорсткість системи дає можливість підвищити режими різання, що приводить до підвищення продуктивності.

Жорсткість пружної системи залежить від жорсткості всіх її ланок. Жорсткість оброблюваної деталі в багатьох випадках можна визначити за формулами опору матеріалів. Наприклад, жорсткість валика, оброблюваного в центрах, можна визначити за формулою для вигину балки, що вільно лежить на двох опорах.

Температурні деформації технологічної системи. У процесі роботи температурний режим системи ВПД змінюється.

Нагрівання відбувається головним чином від тепла, що утворюється в зоні різання, а також у вузлах верстата в результаті тертя, і тепла зовнішніх джерел.

Характер нагрівання і теплові деформації окремих елементів технологічної системи різні.

При розрахунку впливу температурні деформації на точність обробки необхідно враховувати особливості схем технологічних систем і конкретні умови процесу.

Зміна тепломісткості верстата обумовлює виникнення температурних деформацій його частин. На відміну від температурних деформацій різальних інструментів деформації верстатів протікають відносно повільно, причому їхні частини нагріва-

ються до відносно невисоких температур.

Наприклад, при роботі токарського верстата нагрівається головним чином його передня бабка, причина нагрівання – теплота тертя в підшипниках і зубчастих передачах. Станина, супорт, задня бабка нагріваються незначно і звичайно їх температурними деформаціями можна знехтувати; шпиндель при нагріванні бабки піднімається і може зміщатися в горизонтальному напрямку, тим самим породжуючи похибки обробки деталі.

Розмірний знос ріжучого інструмента. Знос ріжучого інструмента відбувається в результаті тертя його контактних поверхонь об стружку й оброблювану поверхню. Розмірний знос систематично (у часі) змінює положення кромки ріжучого інструмента відносно установлювальної бази оброблюваної деталі.

Похибка, пов'язана з розмірним зносом ріжучого інструмента відноситься до змінних систематичних похибок.

В умовах обробки деталей, настроєних на автоматичне отримання розмірів, похибка, викликувана розмірним зносом, має істотне значення.

Розмірний знос ріжучого інструмента виражають як функцію шляху, пройденого інструментом у металі заготовки. Величина і характер зносу залежать від матеріалу і геометрії інструмента, оброблюваного матеріалу, режиму різання та ін.

Внутрішні напруження оброблюваної деталі. Внутрішніми напруженнями називають такі напруження в матеріалі деталі, що існують при відсутності яких-небудь зовнішніх навантажень. Внутрішні напруження взаємно врівноважуються і зовні нічим не виявляються. Деталь (наприклад, виливок) може бути напружена майже до границі руйнування, але по зовнішньому вигляді вона не відрізняється від деталі, вільної від внутрішніх напружень.

До внутрішніх відносяться напруження, що виникають

унаслідок ливарної усадки, нерівномірної пластичної деформації, термічної обробки (загартування) і інших причин.

Характерною рисою внутрішніх напружень є те, що навіть при відсутності яких-небудь зовнішніх впливів вони поступово зникають, при цьому деталь деформується.

Питання про внутрішні напруження тісно пов'язане з питанням про точність обробки при послідовному знятті напружених шарів металу, так і, що відбувається вже після закінчення обробки в процесі складання і навіть під час наступної роботи деталі у виробі.

Вплив внутрішніх напружень можна зменшити, поліпшуючи конструкцію деталі, удосконалюючи методи обробки, вводячи в технологічний процес спеціальні операції (наприклад, старіння).

Методи розрахунку точності. Точність технологічних процесів може бути визначена двома методами: теоретичним (розрахунковим), тобто попереднім, проведеним завчасно, і експериментальним, проведеним після того, як процес уже здійснений у виробничих умовах. У свою чергу, теоретичний підхід до вивчення точності виробництва може бути здійснений у вигляді розрахунково-аналітичного і ймовірного методів.

Розрахунково-аналітичний метод припускає повну детермінованість процесу. Вирішуючи системи рівнянь, що описують закономірності переносу похибок технологічного процесу, однозначно визначають шукану точність. Для детермінованого процесу при тому самому комплексі вихідних умов при кожному наступному розрахунку будемо отримувати той самий результат.

Однак реальні процеси не можуть бути правильно відображені детермінованими моделями, і правомірність застосування цих моделей залежить від ступеня вивчення досліджуваного процесу. Математичний опис процесів у цьому випадку

полягає в послідовному визначенні початкових (вихідних) похибок заготованок. Далі встановлюють в аналітичному вигляді їх вплив на остаточну точність готової деталі і, нарешті, вирішують отриману систему рівнянь.

При реалізації такого методу довелося б стикнутися з труднощами. По-перше, неможливо врахувати усі фактори, що впливають на точність технологічного процесу. По-друге, вирішити систему великої кількості рівнянь важко. До того ж за точністю виготовлення одного виробу не можна судити про точність технологічного процесу в цілому.

Розрахунково-аналітичний метод аналізу точності технологічних процесів застосовують для оцінки впливу тих чи інших факторів у певних умовах виробництва. Однак комплексну оцінку всієї безлічі факторів, що викликають похибки обробки, цим методом отримати важко.

Якщо розрахунково-аналітичний метод застосовують для розрахунку похибок одиначної деталі, то ймовірнісний метод може бути використаний для аналізу точності партії деталей або процесу в цілому, тобто охоплюючи всі практично можливі і важливі комбінації умов ходу технологічного процесу.

Ймовірнісна модель містить закони розподілу характеристики систематичної зміни розмірів і характеристики розсіювання похибок обробки, як для окремих партій, так і для процесу в цілому. Для побудови ймовірнісної моделі може бути застосований метод статистичного моделювання, наприклад метод Монте-Карло.

Для побудови статистичної моделі необхідно використовувати експериментальні дані про точність окремих операцій і окремих параметрів процесу. Ця інформація може бути отримана в результаті вимірювань параметрів технологічного процесу. Збір масової технологічної інформації у виробничих умовах

скрутний, а зменшення обсягу інформації небажано, тому що це призведе до зменшення надійності результатів. Зібрати статистичну інформацію складно і трудомістко, а обробка її на ЕОМ займає кілька хвилин. Тому необхідно створити пристрої, що реєструють і накопичують результати вимірювань, а потім передають відповідні дані в пам'ять машини у формі, зручній для сприйняття.

Можна вказати на наступні статистичні методи, якими користуються в даний час у теорії точності виробництва: кривих розподілу, точностних діаграм, кореляційні і регресійні. До перспективних методів, які ще не знайшли широкого розповсюдження, варто віднести, крім перерахованих, дисперсійний аналіз, теорію планування експерименту та ін.

Нижче розглядаються методи визначення точності виробництва за допомогою кривих розподілу і точностних діаграм. Приводяться ймовірнісні методи розрахунку точності обробки, оснований на поданні системи ВПД у вигляді розмірного ланцюга і математичному моделюванні технологічних процесів.

5.4 Оцінка сумарної похибки за допомогою кривих розподілу точностних діаграм

Характер розсіювання розмірів деталей установлюють побудовою практичної кривої розподілу. Установлення теоретичного закону розподілу виробничих похибок може бути здійснено шляхом аналізу ходу технологічного процесу або за результатами попередніх досліджень.

Практичну криву розподілу будують за значеннями згрупованої сукупності, тобто за значеннями інтервалів і відповідних їм частотам. Таким чином, будують різного виду графіки і діаграми, що характеризують практичний розподіл (гістограма, по-

лігон розподілу).

Для оцінки ступеня збігу теоретичних і практичних законів розподілу використовують критерій згоди.

Крива розподілу характеризує величину випадкових похибок. Похибка, постійна в межах партії, на форму кривій розподілу не впливає – вона викликає лише зсув усієї кривої в напрямку осі абсцис. Похибки, що закономірно змінюються, впливають на форму кривої розподілу.

Численні статистичні дослідження показали, що для деяких технологічних процесів за відсутності впливу домінуючих факторів, що порушують правильний плин операції, розподіл похибок підкоряється законові Гауса. Істотних відступів від цього закону можна чекати тоді, коли серед діючих факторів є один або декілька домінуючих, що змінюються в часі за визначеними законами.

Практично граничне поле розсіювання похибок, що підкоряються законові Гауса, визначається співвідношенням

$$\Delta_p = 6\sigma. \quad (5.96)$$

Точність досліджуваного процесу зіставляється з необхідною точністю шляхом порівняння поля допуску δ з граничним практичним полем розсіювання Δ_p , тобто

$$\eta = \delta / (6\sigma) = \delta / \Delta_p. \quad (5.97)$$

Точність процесу при $\eta = 1,0$ забезпечує необхідну точність, при $\eta > 1,0$ – більше необхідної, а при $\eta < 1,0$ не забезпечує отримання заданої точності (частина деталей буде браком).

Разом з тим необхідно зіставляти середнє значення m_x із серединою полю допуску Δ_0 . Різниця між значеннями m_x і Δ_0 повинна дорівнювати нулю для симетричних законів розподілу. У цьому випадку при $\delta = 6\sigma$ партія деталей буде виготовлена без браку.

Таким чином, при розподілі похибок за законом Гауса партія деталей буде придатною при дотриманні наступних умов: математичне сподівання збігається із серединою поля допуску:

$$\Delta_0 = m_x; \quad (5.98)$$

граничне практичне поле розсіювання дорівнює полю допуску:

$$\delta = 6\sigma_x. \quad (5.99)$$

Наявність закономірних змінюваних похибок (знос різця, його нагрівання) впливає на форму кривої розподілу, і при великих значеннях цих похибок дійсний розподіл в тому чи іншому ступені може відрізнятись від закону Гауса. У тих випадках, коли розподіл не підкоряється закону Гауса, варто враховувати також і асиметрію, і ексцес кривої. Тоді формули (5.98) і (5.99) приймають наступний вигляд

$$\left. \begin{aligned} m_x &= \Delta_0 + \alpha\delta/2; \\ \delta &= 6\sigma_x/k, \end{aligned} \right\}, \quad (5.100)$$

де α – коефіцієнт відносної асиметрії;

k – коефіцієнт відносного розсіювання [див. (5.16) і (5.19)].

При визначенні загальної похибки її середнє квадратичне відхилення.

$$\sigma_\Sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n k_i^2 \sigma_i^2 / k_\Sigma}, \quad (5.101)$$

де k_i – коефіцієнти відносного розсіювання складових похибок;

k_Σ – коефіцієнт відносного розсіювання сумарної похибки.

Середнє значення сумарної похибки знаходять алгебраїчним додаванням середніх значень складових похибки:

$$m_\Sigma = \sum_i^n (\Delta_{0_i} + 0,5\alpha_i \Delta_{p_i}). \quad (5.102)$$

Використання методу кривих розподілу дозволяє дати оцінку фізичної точності технологічного процесу і її відповідності заданим допускам і визначити відсоток ймовірного браку; порівняти різні процеси за точністю; виявити ступінь стабільності процесу; дослідити вплив окремих факторів та ін.

Однак, незважаючи на простоту, надійність і універсальність, цей метод має той недолік, що він зовсім не враховує послідовності обробки деталей. Усі деталі як би перемішуються. Змінні систематичні похибки не відокремлюються від випадкових, вплив тих й інших виявляється як розсіювання розмірів. Для усунення цих недоліків використовуються точностні діаграми, у яких вказується положення центру групування, середнє квадратичне відхилення, поле розсіювання в різні моменти часу t .

Зміна положення центрів групування характеризує вплив систематичних факторів на точність, а розсіювання в кожен момент часу – «миттєве» розсіювання, що обумовлюється факторами випадкового характеру.

З достатнім ступенем точності можна вважати, що миттєве розсіювання підкоряється закону Гауса, тоді в кожен момент часу поле розсіювання

$$\Delta_{p_t} = 6\sigma_t. \quad (5.103)$$

По точностній діаграмі можна встановити сумарний закон розподілу похибок у партії виробів. Точностні діаграми можуть бути отримані або статистичним шляхом за результатами вимірювань вибірок у ході технологічного процесу, або розрахунковим – за результатами теоретичних досліджень з урахуванням нормативних даних.

Розрахунок сумарної похибки на підставі теоретичних

точностних діаграм здійснюють за раніше встановленими складовими виробничих похибок. Такі розрахунки проводять як для одиничних умов обробки (одиничні партії), так і для умов, що охоплюють усілякі випадки (процес у цілому). Окремий випадок протікання технологічного процесу – зсув центру групування похибок обробки за лінійним законом, який відбувається при зміні рівня настроювання верстата внаслідок розмірного зносу інструмента або теплових деформацій технологічної системи (рис. 5.16). При цьому систематичні похибки описуються функцією виду

$$m_x(t) = \alpha_0 + 2l_m t / T, \quad (5.104)$$

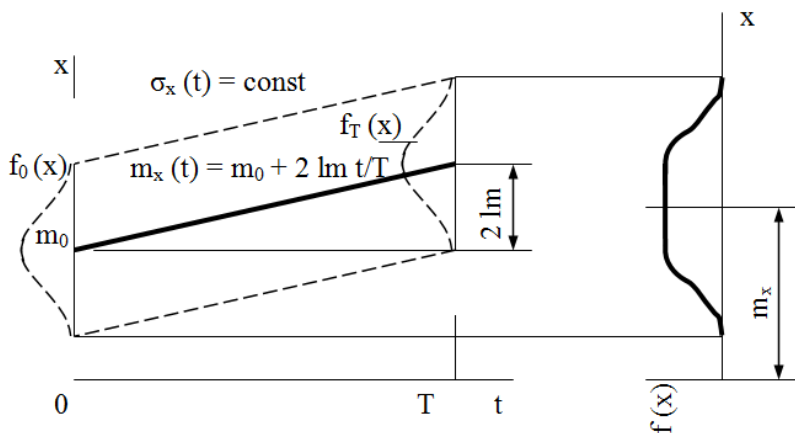


Рис. 5.16. Зміна настроювання процесу в часі за лінійним законом при постійному розсіюванні

а миттєвий розподіл випадкових похибок остається постійним:

$$\sigma_x(t) = \text{const} . \quad (5.105)$$

У більш загальному випадку поряд зі зсувом центру групування похибок обробки відбувається і зміна миттєвого розподілу, що визначає зміну випадкових похибок. Найбільш простим варіантом буде лінійна зміна середнього квадратичного відхилення при лінійному зсуві центру групування (рис. 5.17). Прикладом такого ходу процесу може бути зміна точності, викликана спільною дією зносу і затуплення інструменту або зміною сил різання і теплової рівноваги технологічної системи та ін. При цьому функції математичного сподівання і середнього квадратичного відхилення будуть мати вигляд

$$\left. \begin{aligned} m_x(t) &= m_0 + 2l_m t / T; \\ \sigma_x(t) &= \sigma_0 + 2l_\sigma t / T. \end{aligned} \right\} . \quad (5.106)$$

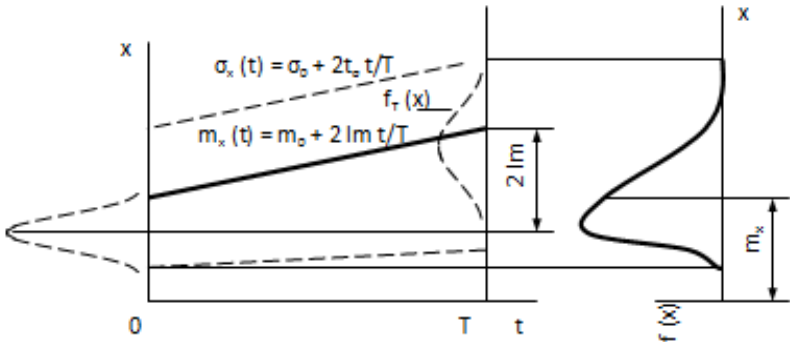


Рис. 5.17. Зміна настроювання процесу і розсіювання за лінійними законами

Проф. Н.А.Бородачов запропонував теоретичні точностні діаграми, що відповідають фізичної сутності явищ, які визначають даний технологічний процес (рис. 5.18). Ці діаграми ілюструють хід технологічного процесу при виготовленні деталей на настроєних верстатах при значному зсуві центру групування відхилень з часом, викликаному зносом інструменту, нагріванням інструменту чи деталі та іншими технологічними факторами. Точностна діаграма дає можливість спостереження за ходом технологічного процесу і своєчасного втручання при його розладнанні.

5.5 Визначення технологічної точності вихідних параметрів ТЗА при багатоопераційному процесі виготовлення методом кореляційного аналізу

При виготовленні ТЗА вихідні параметри варіюють не тільки від зразка до зразка, але і також для одного зразка від операції до операції технологічного процесу.

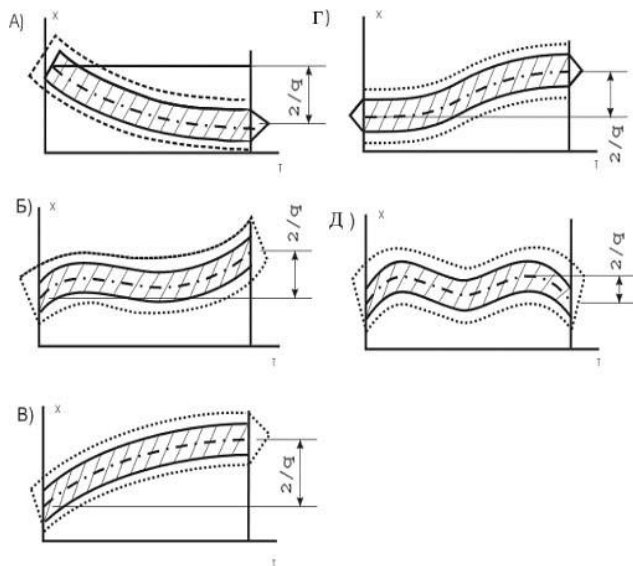


Рис. 5.18 – Приклади точностних діаграм: а – при уповільненому зносі ріжучого інструменту; б – при уповільненому нагріванні ріжучого інструменту; в – при наявності спочатку прискореного, а потім уповільненого зносу ріжучого інструменту; г – при наявності спочатку уповільненого, а потім прискореного зносу ріжучого інструменту; д – при наявності значних періодичних коливань розмірів деталей, викликаних дефектами в кінематичному ланцюзі верстата; $2/q$ – величина систематичної похибки (знос ріжучого інструменту, температурна деформація та ін.).

Позначимо через $N_{\text{вх}}$ параметр схеми на вході, а через $N_{\text{вих}}$ – на виході технологічної операції.

Якби технологічні фактори не впливали на схему і її елементи, то між параметрами $N_{\text{вх}}$ і $N_{\text{вих}}$ встановилася б однозначна відповідність, обумовлена залежністю

$$N_{\text{вх}} = N_{\text{вих}}.$$

При дії систематичного фактора залежність між параметром вузла на вході і виході операції можна представити в наступному вигляді:

$$N_{\text{вих}} = b + aN_{\text{вх}}. \quad (5.107)$$

Якщо систематичний фактор діє з постійною інтенсивністю, то характер функціональної залежності між похибками параметра вузла на вході і виході відповідної операції буде лінійним, тобто коефіцієнти b і a будуть постійними величинами.

У процесі виготовлення вузлів ТЗА на кожній операції поряд із систематичними мають місце і випадкові фактори, що «розмивають» залежність між параметрами до і після операції, порушують однозначність відповідності між ними.

Це приводить до того, що залежність між параметрами вузла на вході і виході операції буде стохастичною чи точніше кореляційною. Тіснота зв'язку буде оцінюватися показниками кореляції: коефіцієнтами кореляції r – при лінійному зв'язку між $N_{\text{вих}}$ і $N_{\text{вх}}$, кореляційним відношенням η – при нелінійному. Мірою впливу технологічного фактора (його випадкової складової) на параметр системи може служити величина $|1-r|$. Очевидно, чим більше відрізняється коефіцієнт кореляції від одиниці, тим сильніше ступінь впливу технологічного процесу на параметр схеми.

Таким чином, вхідна похибка вузла ТЗА і середнє значення його вихідного параметра будуть трансформуватися від операції до операції. Перебудова структури похибок вихідного

параметра характеризується частковим переносом вхідної похибки з входу на вихід операції (частина похибки виправляється в ході операції) і утворенням нової похибки, кореляційно незалежної від вхідної.

Щоб з'ясувати, як деформується вхідна похибка, необхідно знайти конкретні показники, за допомогою яких можна було б визначити величину попередньої і знову утвореної похибки. Ця задача може бути вирішена методом кореляційного аналізу статистичних даних, отриманих для кожної операції технологічного процесу. Варто помітити, що проводити спеціальний експеримент для цієї мети немає необхідності. Такі дані можуть бути отримані при відповідній обробці результатів контрольно-дослідної партії, що звичайно проводиться перед запуском виробів у серійне виробництво.

Раніше було відзначено, що розрахунок технологічної точності функціонального вузла проводиться за двома показниками: середньому значенню $\bar{N}$ (математичному сподіванню) і дисперсії вихідного параметру чи середньоквадратичному відхиленню σ_N .

Середнє значення вихідного параметру ТЗА можна визначити за рівнянням регресії, що при досить великій кількості спостережень носить прямолінійний характер і виражається формулою

$$\bar{N}_{ByX} = b + a\bar{N}_{BX}, \quad (5.108)$$

де b і a – параметри рівняння регресії.

Лінія регресії показує, як у середньому змінюється параметр на виході даної операції при відповідній зміні його на вході.

Для першої операції технологічного процесу можна записати

$$\overline{N}_{\text{ex}1} = b_1 + a_1 \overline{N}_{\text{ex}},$$

для другої операції:

$$\overline{N}_{\text{ex}2} = b_2 + a_2 \overline{N}_{\text{ex}} = b_2 + a_2 [b_1 + a_1 \overline{N}_{\text{ex}}],$$

для n -ї операції:

$$\overline{N}_{\text{ex}n} = b_n + b_{n-1} B_{n-1} + b_{n-2} B_{n-2} + \dots + B_1 b_1 + B_0 \overline{N}_{\text{ex}}, \quad (5.109)$$

де

$$B_0 = \prod_{i=1}^n a_i;$$

$$B_1 = \prod_{i=2}^n a_i;$$

$$B_{n-2} = \prod_{i=n-1}^n a_i;$$

$$B_{n-1} = a_n.$$

При наявності в технологічному процесі виготовлення вузла ТЗА паяння, заливання і технологічного тренування рівняння середнього значення вихідного параметра приймають наступний вигляд:

$$\overline{N}_{\text{вх}} = \{b_m + a_m [b_z + a_z (b_n + a_n \overline{N}_{\text{вх}})]\}, \quad (5.110)$$

де b_n, b_z, b_m – систематичні похибки операцій паяння, заливання і технологічного тренування відповідно;

a_n, a_z, a_m – коефіцієнти переносу похибки на операціях паяння, заливання і технологічного тренування відповідно;

$\overline{N}_{\text{вх}}$ – математичне сподівання вихідного параметра функціонального вузла перед першою технологічною операцією (паянням).

Для оцінки зміни випадкової складової похибки вихідного параметру скористаємося формулою розкладання дисперсії

$$\overline{\sigma^2}(N) = \overline{\sigma^2} \left(\frac{N_{\text{вх}}}{N_{\text{вх}}} \right) + \overline{\delta^2} \left(\frac{N_{\text{вх}}}{N_{\text{вх}}} \right), \quad (5.111)$$

де $\overline{\sigma^2}(N)$ – дисперсія вихідного параметра на виході розглянутої операції;

$\overline{\sigma^2} \left(\frac{N_{\text{облх}}}{N_{\text{вх}}} \right)$ – середня дисперсія $N_{\text{облх}}$ відносно лінії регресії;

$\overline{\delta^2} \left(\frac{N_{\text{облх}}}{N_{\text{вх}}} \right)$ – дисперсія лінії регресії відносно математичного сподівання.

У тому випадку, коли лінія регресії виражається рівнянням прямої, можна показати, що

$$\overline{\delta^2} \left(\frac{N_{\text{облх}}}{N_{\text{вх}}} \right) = r^2 \sigma^2(N_{\text{облх}}) = a^2 \sigma^2(N_{\text{вх}}), \quad (5.112)$$

Далі для простоти будемо думати, що умовна дисперсія вихідного параметру вузла ТЗА постійна відносно лінії регресії, тобто

$$\overline{\sigma^2} \left(\frac{N_{\text{облх}}}{N_{\text{вх}}} \right) = \text{const.}$$

Тоді середньоквадратична похибка на виході даної операції запишеться

$$\sigma(N_{\text{вбл}}) = \sqrt{\sigma\left(\frac{N_{\text{вбл}}}{N_{\text{вх}}}\right) + a^2 \sigma^2(N_{\text{вх}})}. \quad (5.113)$$

з (5.112) і (5.113) неважко отримати

$$\sigma\left(\frac{N_{\text{вбл}}}{N_{\text{вх}}}\right) = \frac{a\sqrt{1-r^2}}{r} \sigma^2(N_{\text{вх}}) \quad (5.114)$$

і

$$a = r \frac{\sigma(N_{\text{вбл}})}{\sigma(N_{\text{вх}})}. \quad (5.115)$$

Величини b , a і $\sigma\left(\frac{N_{\text{вбл}}}{N_{\text{вх}}}\right)$ мають певний фізичний

зміст і можуть служити для оцінки впливу операцій технологічного процесу на параметри ТЗА. Справді:

b – являє собою систематичну похибку даної операції;

$\sigma\left(\frac{N_{\text{вбл}}}{N_{\text{вх}}}\right)$ є власною випадковою похибкою операції;

a – коефіцієнт переносу похибки вихідного параметру з входу на вихід операції.

Для того щоб показники a , b і $\sigma\left(\frac{N_{\text{вблх}}}{N_{\text{вх}}}\right)$ могли бути

використані для розрахунку технологічної точності вузлів ТЗА з урахуванням операції їхнього виготовлення, необхідно виконати наступні вимоги:

а) технологічний процес на даній операції повинен бути незалежний від розміру вхідної похибки;

б) зміна середнього значення вихідного параметру і його дисперсії на вході операції не повинна відображатись на умовних законах розподілу $N_{\text{вблх}}$ при заданих $N_{\text{вх}}$, тобто a , b і

$\sigma\left(\frac{N_{\text{вблх}}}{N_{\text{вх}}}\right)$ повинні залишатися незмінними.

Ці вимоги природні і практично майже завжди здійсненні, оскільки зміна вхідної похибки параметру звичайно розглядається в межах полю допуску на нього, а границі полю допуску, як правило, незначно перевищують межі зміни вихідного параметру при статистичному експерименті.

Похибка вихідного параметру після першої технологічної операції може бути розрахована за формулою (5.113).

Для другої операції

$$\sigma_2(N_{\text{вблх}}) = \sqrt{\sigma_2^2\left(\frac{N_{\text{вблх}}}{N_{\text{вх}}}\right) + a_2^2 \sigma_1^2(N_{\text{вх}})}.$$

З огляду на, що

$$\sigma_1^2(N_{\text{вбл}}) = \sigma_1^2\left(\frac{N_{\text{вбл}}}{N_{\text{вх}}}\right) + a_1^2 \sigma^2(N_{\text{вх}}),$$

отримуємо

$$\sigma_2(N_{\text{вбл}}) = \sqrt{a_2^2 \sigma_2^2\left(\frac{N_{\text{вбл}}}{N_{\text{вх}}}\right) + \sigma_2^2\left(\frac{N_{\text{вбл}}}{N_{\text{вх}}}\right) + a_1^2 a_2^2 \sigma^2(N_{\text{вх}})}.$$

Застосовуючи послідовно формулу (5.113), можна обчислити похибку вихідного параметра на заключній стадії технологічного процесу

$$\sigma_n(N_{\text{вбл}}) = \sqrt{D_0 \sigma_1^2(N_{\text{вх}}) + D_1 \sigma_1^2\left(\frac{N_{\text{вбл}}}{N_{\text{вх}}}\right) + \dots + D_n \sigma_n^2\left(\frac{N_{\text{вбл}}}{N_{\text{вх}}}\right)}, \quad (5.116)$$

де

$$D_0 = \prod_{i=1}^n a_i^2; \quad D_1 = \prod_{i=2}^n a_i^2; \quad \dots, \quad D_{n-1} = a_n^2; \quad D_n = 1.$$

При використанні в технологічному процесі зазначених вище операцій (паяння, заливання, технологічне тренування) рівняння середньоквадратичної похибки вихідного параметра приймуть наступний вигляд:

$$\sigma_n(N_{\text{обл}}) = \sqrt{\sigma_m^2 \left(\frac{N_{\text{обл}}}{N_{\text{сх}}} \right) + a_m^2 \sigma_3^2 \left(\frac{N_{\text{обл}}}{N_{\text{сх}}} \right) + \dots + a_m^2 a_3^2 \sigma_n^2 \left(\frac{N_{\text{обл}}}{N_{\text{сх}}} \right) + a_n^2 a_3^2 a_m^2 \sigma^2(N_{\text{сх}})}, \quad (5.117)$$

$$\text{де } \sigma_m^2 \left(\frac{N_{\text{обл}}}{N_{\text{сх}}} \right), \sigma_3^2 \left(\frac{N_{\text{обл}}}{N_{\text{сх}}} \right), \sigma_n^2 \left(\frac{N_{\text{обл}}}{N_{\text{сх}}} \right) - \text{ власні випад-}$$

кові середньоквадратичні похибки паяння, заливання і технологічного тренування;

a_n, a_3, a_m – коефіцієнти переносу похибок на операціях паяння, заливання і технологічного тренування.

Запитання для самоперевірки

1. Що таке випадкова величина? Які закони розподілу випадкових величин?
2. Перелічіть числові характеристики випадкових величин.
3. Поясніть поняття «моменти випадкових величин», «асиметрія», «ексцес».
4. Як визначаються значення середньоквадратичного відхилення і коефіцієнту відносного розсіювання?
5. Які особливості нормального закону розподілу?
6. Наведіть приклади двовимірних і тривимірних випадкових величин.
7. Що таке «нормована кореляційна функція»?
8. У чому суть вибіркового методу, який використовується у математичній статистиці?
9. Перечисліть типові задачі математичної статистики.
10. Як класифікуються вибірки за величиною?
11. Що таке статистична функція розподілу?
12. Що таке статистичний ряд, гістограма і полігон?
13. Які критерії погодження Ви знаєте?
14. Перечисліть виробничі похибки.
15. Які методи аналізу точності ТП Ви знаєте? Поясніть суть кожного.
16. Що таке точностна діаграма і як вона будується?
17. Які причини виникнення виробничих похибок Ви знаєте?
18. Як класифікуються виробничі похибки?
19. Перечисліть основні задачі математичної статистики.
20. У чому суть вибіркового методу?
21. Якими можуть бути оцінки випадкових величин?
22. Якими методами і як здійснюється статистична перевірка гіпотез про закон розподілу?
23. Як оцінюється точність ТП за допомогою точностних діаграм?

6. ОСНОВНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ, ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ВИРОБНИЦТВІ ЕЛЕКТРОННИХ АПАРАТІВ

6.1 Поняття про моделі складних процесів

Сучасні технологічні процеси виробництва ТЗА характеризуються:

- значною кількістю і різноманіттям параметрів, що впливають на процес;
- великою кількістю внутрішніх зв'язків між параметрами;
- їх складним взаємним впливом;
- розвитком конкуруючих напрямків процесу, що змінюють його хід;
- збурювальними впливами на процес неконтрольованих і некерованих факторів.

Вивчення таких складних процесів у даний час неможливе без удосконалення методики дослідження, без зміни способів відображення зв'язку між параметрами процесу.

Одним з основних методів прискорення розробки і впровадження нових складних технологічних процесів є моделювання. Відповідно для опису цих процесів поняття закону, застосовуване для опису простих явищ, замінюється більш широким і менш визначеним поняттям моделі.

Модель – це спрощена система, що відображає окремі обмежені в потрібному напрямку сторони явищ досліджуваного процесу. Одні й ті ж самі моменти досліджуваних процесів можна описати різними моделями. При цьому жодна модель не може

повно і всебічно описати процес. І дуже часто навіть тоді, коли є більш досконала модель, буває зручно користуватися спрощеною, що відображає тільки окремі риси досліджуваного процесу. Це пояснюється тим, що чим простіше модель, тим легше з нею працювати, тим швидше можна зробити цікавіші нас висновки про досліджуваний процес. Крім того, необхідно відзначити ізоморфність моделей, тобто можливість подання одною моделлю різних по фізичній сутності явищ. При цьому стає можливим використовувати результати, отримані при вивченні одних об'єктів, для дослідження інших; однак у цьому випадку, природно, губиться фізична сутність явища.

Перш ніж перейти до розгляду методів побудови і класифікації моделей, зупинимося на вимогах, що пред'являються до процесу моделювання.

По-перше, експеримент на моделі повинен бути простішим, більш швидким і економічним, ніж експеримент на об'єкті.

По-друге, повинне бути відомим правило, за яким здійснюється розрахунок параметрів об'єкта за результатами іспитів моделі, у протилежному випадку дослідження моделі виявиться марним.

6.2 Математичні моделі технологічних процесів

Розрізняють два види моделювання: фізичне і математичне.

При фізичному моделюванні дослідження об'єкту відбувається при його відтворенні в іншому масштабі і супроводжується аналізом фізичних особливостей і лінійних розмірів. Характерним для фізичного моделювання є відтворення сталості ви-

значальних критеріїв подібності в моделі і об'єкті. Виклад теорії подібності не входить у задачі даної книги, торкнемося лише деяких особливостей застосування подібності при моделюванні. Очевидно, що дотримання подібності визначає виконання другої основної вимоги до процесу моделювання. Це умова, при якій можливе кількісне перенесення результатів експерименту з моделі на оригінал. Крім того, подібність моделі й оригіналу дає нам правило цього перенесення за допомогою критеріїв подібності.

Для порівняно простих процесів принцип подібності і фізичне моделювання виправдовують себе, оскільки в цьому випадку вдається обійтися обмеженою кількістю критеріїв. Для складних же систем і процесів виходить занадто велика кількість критеріїв подібності, що стають одночасно несумісними і, отже, не можуть бути виконані.

Принцип подібності виправдав, наприклад, себе при аналізі процесів, описуваних законами класичної механіки, що протікають у простих системах з фіксованими границями. Для аналізу складних процесів, якими є більшість технологічних процесів ТЗА, застосування фізичного моделювання утруднене.

Математичне моделювання є методом якісного чи кількісного опису процесів за допомогою так званих математичних моделей. При побудові математичної моделі реальний процес або явище спрощується, схематизується, і отримана схема описується в залежності від складності за допомогою того чи іншого математичного апарату.

Процеси, що моделюються, досить різноманітні за своїми особливостями і ступенем складності. У зв'язку з цим існують різні підходи до їх аналізу і способу побудови моделі.

За своєю природою процеси чи системи підрозділяються на два класи – детерміновані і стохастичні. Детермінованими

називають такі системи, параметри яких можна передбачати на основі вивчення їхнього механізму. Стохастичними називаються такі системи, зміна параметрів яких відбувається безладно; односторонньо передбачити поведінку таких систем на основі їх вивчення важко, можна лише говорити про імовірності того чи іншого типу їх поведінки.

Відповідно до природи досліджуваного процесу – детермінованої чи стохастичної – будують жорсткі або імовірнісні моделі. Жорсткі моделі звичайно описують детерміновані процеси без використання статистично імовірнісних розподілів. Для опису стохастичних процесів, коли рішення приймаються в умовах невизначеності, застосовуються імовірнісні моделі, що будуються з використанням методів теорії імовірності і математичної статистики.

Слід, однак, відзначити, що часто складно віднести той чи інший процес і відповідну йому модель до певного типу.

Іноді для того самого процесу чи окремих його етапів будується кілька моделей, призначених для вирішення певних задач і граючих різну роль у пізнанні механізму, керуванні і прогнозуванні процесу.

Розглянемо різні варіанти опису складних процесів з погляду пізнання механізму явищ і можливості їх використання для керування технологічними процесами.

Модель, задана диференціальними рівняннями, звичайно пропонується для опису окремих найбільш цікавих і важливих явищ, що протікають у складному процесі. Природно, що при використанні такого роду моделей для опису технологічних процесів окремі сторони процесу можуть виявитися занадто підкресленими, інші, навпаки, – затушованими, зв'язки між окремими явищами, що мають місце в досліджуваному об'єкті, часто взагалі не розглядаються. Зрозуміло, такі моделі не можуть

знайти застосування для керування технологічними процесами, і є корисними для пізнання тих чи інших явищ, що спостерігаються в досліджуваному процесі.

Застосування ЕОМ для дослідження і керування технологічними процесами підвищило інтерес до поліноміальних моделей, що дають можливість враховувати багато десятків різних факторів.

Поліноміальна модель найбільш зручна для опису процесів чи систем, поданих у вигляді «чорного ящика». У цьому випадку дослідник, не маючи інформації про суть, внутрішню структуру процесу, поділяє всю сукупність параметрів, що впливають на досліджуваний об'єкт, на ряд груп відповідно до характеру їхньої участі в процесі (рис. 6.1). Вектор вихідних параметрів $\vec{Y}$, свідчить, що загальна кількість виходів будь-якого процесу досить велика. Складовими вектора $\vec{Y}$ можуть бути параметри виробів, відсоток виходу придатних, їх собівартість і т.ін., але не усі вони звичайно цікавлять нас в однаковому ступені.

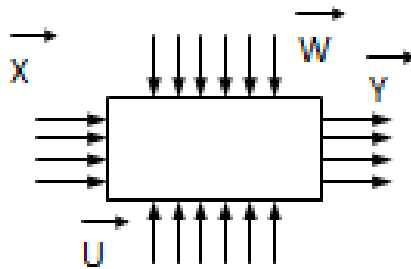


Рис. 6.1. Схема процесу: Y – вектор вихідних параметрів; X – вектор керованих параметрів; U – вектор контролюваних, але некерованих параметрів; W – вектор неконтролюваних параметрів

Вектор керованих параметрів X , тобто ті параметри, що ми можемо вимірювати і цілеспрямовано змінювати. Вектор контролюваних, але некерованих параметрів U . Вектор неконтролюваних параметрів W , сюди відносяться фактори, що здійснюють випадкові збурювальні впливи на процес.

Представивши процес у вигляді «чорного ящика», дослідник шукає зв'язок між вихідним параметром чи параметрами і безліччю вхідних параметрів, відволікаючись від механізму явищ, що протікають в об'єкті. При цьому передбачається, що механізм явищ можна записати диференціальними рівняннями, але практично через складність процесу, це зробити дуже важко або неможливо. Далі передбачається, що систему диференціальних рівнянь можна вирішити, але, ні рішення, ні навіть аналітичний вигляд тієї функції, якою воно задається, дослідникові невідомі. Подаючи залежність між вихідним і вхідним параметрами у вигляді полінома

$$y = b_a + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i \neq j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (6.1)$$

дослідник інтерпретує коефіцієнти полінома як коефіцієнти ряду Тейлора, тобто значення часток похідних у точці, навколо якої здійснюється розкладання невідомої нам функції, яка задає рішення невідомих нам диференціальних рівнянь, так, $b_i = \partial f / \partial x_i$, $b_{ij} = \partial^2 f / \partial x_i \cdot \partial x_j$, $b_{ii} = \partial^2 f / \partial x_i^2$; з погляду пізнання механізму явищ, що відбуваються в досліджуваному об'єкті, поліноміальна модель становить незначний інтерес. Знаючи значення коефіцієнтів відрізка ряду Тейлора, неможливо відновити вихідні диференціальні рівняння, якими описується механізм процесу. Правда, можлива фізико-хімічна інтерпретація отриманих результатів, але ясно, що це не дасть однозначних уявлень про природу явищ. Варто підкреслити зручність поліноміальних моделей з погляду оптимізації технологічних процесів, тобто вирішення однієї з основних задач, які постають перед дослідником.

6.3 Методи оптимізації

Найкращим чином побудувати технологічний процес, визначити оптимальні режими його проведення – природні прагнення дослідника. Однак до останнього часу ці питання дуже часто вирішувалися інтуїтивно на основі досвіду розроблювача і технолога. Пояснюється це високою складністю технологічних процесів, великою кількістю і розмаїтістю всіляких зв'язків усередині кожного процесу. Адже для вибору оптимального технологічного процесу необхідно порівнювати різні варіанти процесу, враховувати і аналізувати вплив величезної кількості факто-

рів на параметри виробу; і все це треба робити в обмежений термін розробки технологічного процесу. Тому часто вибирався не найкращий варіант процесу, не найкращі режими його проведення.

Природно, що таке положення справ не могло задовольнити виробництво яке швидко зростало і вдосконалювалось. Розвиток обчислювальної техніки і кібернетики викликав значні зміни в методиці оптимізації технологічних процесів.

Тут ми не будемо розглядати всі методи оптимізації, а торкнемося лише тих, які можуть знайти застосування при дослідженні технологічних процесів ТЗА.

Як було показано раніше, природа технологічного процесу і задачі, що стоять перед дослідником, визначають тип моделі, найбільш прийнятної для даного процесу. Складність технологічних процесів виробництва ТЗА обумовлює особливості підходу до аналізу і керування ними, робить недоцільним повну і глибоку розшифровку механізму явищ, що відбуваються в них. У цьому випадку, коли не вдається пізнати теорію процесу і необхідно приймати рішення в умовах невизначеності, бажано навчитися керувати процесом емпірично.

Відповідно до цього для опису технологічних процесів ТЗА найбільш прийнятними є емпіричні або статистичні моделі і при їх дослідженні експериментально-статистичні методи.

Одним з перших етапів при оптимізації технологічних процесів є визначення критерію оптимізації – вихідної величини, значення якої буде покладено в основу оцінки процесу при його оптимізації. Задача оптимізації зводиться до формування таких умов проведення технологічного процесу, при яких критерій оптимізації досягає екстремуму.

Прийнято називати простір з координатами $X_1, X_2, \dots, X_k$

факторним простором; функцію, що зв'язує параметр оптимізації зі змінними параметрами, які варіюються при дослідженні, – функцією відгуку, а геометричне відображення функції відгуку у факторному просторі – поверхнею відгуку.

При пошуку екстремальної точки на відміну від аналітичного дослідження здійснюється локальне вивчення поверхні відгуку за результатами ряду дослідів, спеціально поставлених біля вихідної точки. Рух до екстремуму в багатомірному просторі незалежних змінних здійснюється звичайно не безупинно, а кроками. Аналізуючи результати експериментів, і порівнюючи їх з результатами попередніх, дослідник приймає рішення про подальші дії з пошуку оптимуму. Екстремальне значення відгуку досягається за допомогою багаторазового послідовного вивчення поверхні відгуку і просування у факторному просторі. Існує кілька експериментальних методів оптимізації, що розрізняються способом визначення напрямку руху й організацією самого руху.

Метод Гауса-Зейделя. При оптимізації за методом Гауса-Зейделя послідовне просування до екстремуму здійснюється шляхом почергового варіювання кожного фактора до досягнення часткового екстремуму вихідної величини, тобто в кожній серії дослідів змінюється тільки одна змінна X_i , а інші залишаються незмінними (рис. 6.2). На рисунку зображено криві рівного виходу для одного з технологічних процесів аналогічно кривим рівної висоти на географічних картах. Таким чином, відображувана точка переміщається наперемінно уздовж кожної з координатних осей x_i ($i = 1, 2, 3, \dots, k$) факторного простору; перехід до нової $(i+1)$ -ї координати здійснюється при досягненні локального екстремуму цільової функції $y(\vec{X})$ за попередньою координатою, тобто в точці $\vec{X}_{in}$, де

$$\frac{\delta y(\vec{X}_{ih})}{\delta x_i} = 0. \quad (6.2)$$

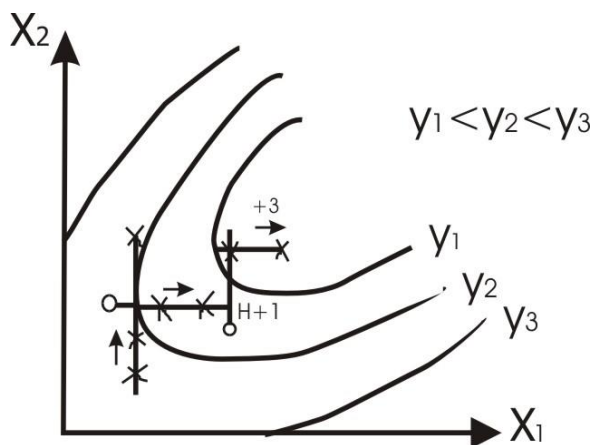


Рис. 6.2. Пошук екстремуму функції методом Гауса-Зейделя

Зауважимо, що тут і далі ми будемо припускати, що здійснюється пошук мінімуму, максимум знаходиться аналогічно, змінюється тільки знак.

Після досягнення локального екстремуму за останньою змінною X_k переходять знову до варіювання першої і т.д.; у результаті відображується точка наближається до екстремуму. Напрямок руху уздовж $(i+1)$ -ї координатної осі вибирається звичайно за результатами двох спробних експериментів в околах точки локального екстремуму за попередньою змінною. Пошук екстремуму припиняється в точці, рух з якої в будь-якому напрямку не приводить до зменшення значення вихідного параметра. Точка, значення цільової функції в якій буде мінімальним, і

буде шуканим оптимумом. Точність визначення оптимальної точки залежить від кроку варіювання ΔX_i . Іноді для збільшення точності зменшують величину кроку при наближенні до екстремуму.

Важливим моментом при поставленні експерименту є вибір вихідної точки і кроку варіювання. Тут необхідно враховувати властивості досліджуваного процесу, особливості технології і методів вимірювань, тобто залучати всю апріорну інформацію про об'єкт дослідження.

Метод Гауса-Зейделя і його різновиди дуже широко поширені на практиці. Звичайно експериментатори намагаються змінювати фактори по черзі, варіюючи одним і стабілізуючи в даній серії дослідів інші фактори, які впливають на вихідний параметр. При збільшенні кількості незалежних змінних до 5-6 застосування методу Гауса-Зейделя для оптимізації технологічних процесів виявляється малоефективним у силу різкого збільшення кількості експериментів.

Метод випадкового пошуку. Характерною рисою цього методу є випадковий вибір напрямку руху на кожному кроці. Так, якщо відображувана точка після i -го кроку займає X_i положення у факторному просторі, то наступний робочий крок буде зроблений лише після виконання спробного експерименту в точці $\vec{X}_{i+1} = \vec{X}_i + \vec{Z}$, де $\vec{Z}$ – випадковий вектор певної довжини (рис. 6.3).

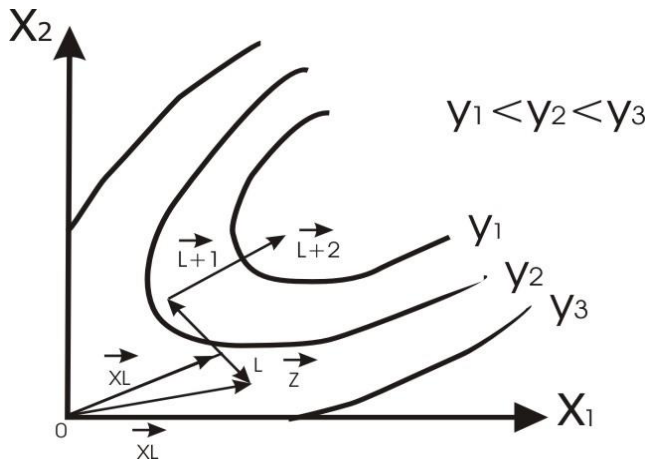


Рис. 6.3. Пошук екстремуму функції методом випадкового пошуку

Значення функцій $y(\vec{X}_i)$ і $y(\vec{X}_i + \vec{Z})$ порівнюють, і виробляється $(i + 1)$ -й робочий крок уздовж вектора $\vec{Z}$ у напрямку екстремуму. Як правило, довжина робочого кроку перевищує величину спробного.

Критерієм виходу в області екстремуму цільової функції є зростання кількості невдалих кроків, тобто багаторазове повторення положення, коли $y(\vec{X}_i + \vec{Z}) > y(\vec{X}_i)$.

Очевидно, що метод випадкового пошуку дуже простий, однак він застосовний лише для дуже простих ситуацій. Основними недоліком методу є велика трудомісткість і тривалість пошуку екстремуму.

Метод градієнта. При оптимізації градієнтним методом рух відбувається в напрямку найбільшої зміни критерію оптимі-

зації, тобто в напрямку градієнта цільової функції, причому, як і в методі випадкового пошуку, напрямок руху коректується після кожного робочого кроку, тобто щораз заново визначається значення градієнта за результатами спеціально поставлених спробних експериментів (рис. 6.4) Оскільки координатами вектора

$$\text{grad } y(\vec{X}) = \left(\frac{\partial y}{\partial x_1}, \frac{\partial y}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial y}{\partial x_k} \right) \quad (6.3)$$

служать коефіцієнти при лінійних членах розкладання функції $y(\vec{X})$ в ряд Тейлора за ступенями $x_i (i = 1, 2, \dots, k)$, то відповідні компоненти вектора градієнта можуть бути отримані як коефіцієнти $b_1, b_2, \dots, b_k$ лінійної апроксимації поверхні відгуку поблизу вихідної точки $\vec{X}_0$:

$$y(\vec{X}) = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k. \quad (6.4)$$

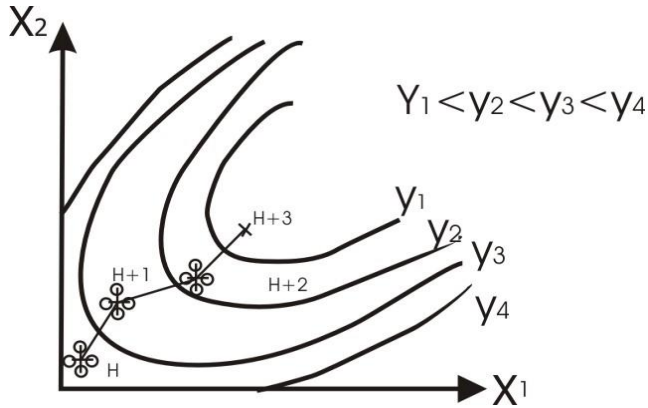


Рис. 6.4. Пошук екстремуму функції методом градієнта

Лінійні коефіцієнти $b_1, b_2, \dots$ звичайно оцінюються експериментально. Найбільше просто кожний з коефіцієнтів b_i визначається за результатами двох спробних експериментів в околі вихідної точки. У цьому випадку збільшення цільової функції Δy , що відповідає збільшенню Δx_i , можна вважати пропорційним значенню величини часткової похідної:

$$\frac{\partial y}{\partial x_i} \approx \frac{\Delta y}{\Delta x_i} = b_i; \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (6.5)$$

Після перебування складового градієнта виконується робочий крок у напрямку екстремуму

$$\vec{X}_{h+1} = \vec{X}_h + \rho_p \vec{grad} y(\vec{X}_h), \quad (6.6)$$

де

$$\vec{\text{grad}} y(\vec{X}_h) = (b_{h_1}, b_{h_2}, \dots, b_{h_k}), \quad (6.7)$$

ρ_p – параметр робочого кроку,

Показником виходу в область оптимуму є мале значення модуля градієнта $\left| \vec{\text{grad}}(\vec{X}) \right| \cong 0$, тобто всі коефіцієнти $b_i (i = 1, 2, \dots, k)$ стають незначущими чи дорівнюють нулю.

Обсяг експерименту в кожній точці дорівнює $2k$, де k – кількість факторів, які впливають на вихідний параметр. Одним з важливих питань при оптимізації, як градієнтним методом, так і іншими методами є вибір кроку. Якщо крок занадто малий, буде потрібна велика кількість кроків і, отже, експериментів; рух до оптимуму буде дуже тривалим, і навпаки, якщо розміри кроку занадто великі, можна проскочити оптимум. Тому іноді при оптимізації змінюють величину кроку в залежності від відстані до екстремальної точки. Прикладом такого руху є метод Кифера-Вольфовиця.

Метод Кифера-Вольфовиця. Характерною рисою цього методу є залежність розмірів робочого і спробного кроків від номера кроку (A) або від відстані до оптимуму (рис. 6.5). Так,

розмір робочого кроку визначається $\rho_p = \frac{\rho}{h\gamma}$, де ρ – деяка постійна величина, а γ визначається передбачуваним видом поверхні відгуку $0 < \gamma < 0,5$; звичайно $\gamma = 0,25$.

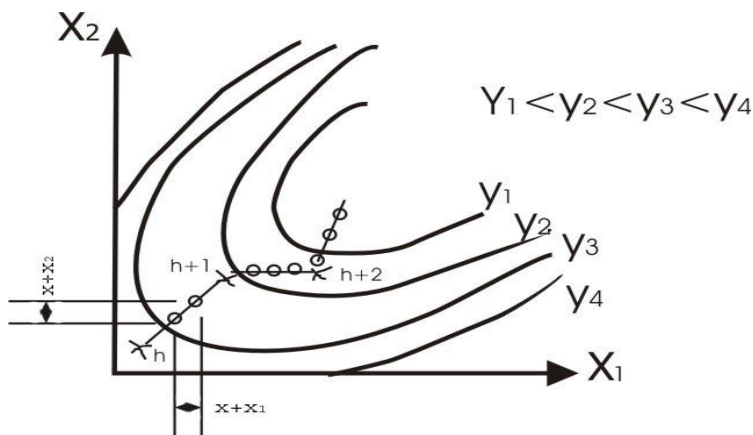


Рис. 6.6. Пошук екстремуму методом крутого сходження

Слід також зазначити, що метод Бокса-Уилсона припускає регулярне проведення статистичного аналізу проміжних результатів на шляху до екстремуму. Практично ж пошук оптимального методом крутого сходження виконується за наступним планом:

а) поблизу вихідної точки $\vec{X}_0$ проводиться експеримент для визначення $grad y(\vec{X}_0)$. Результати експерименту піддаються статистичному аналізу, і визначаються коефіцієнти b_i рівняння (6.4);

б) обчислюються добутки $b_i \Delta x_i$, де Δx_i , – інтервал варіювання параметра x_i при дослідженні поверхні відгуку в околі вихідної точки, тобто при визначенні коефіцієнтів b_i . Фактор,

для якого добуток $b_i \Delta x_i$ буде максимальним, приймається за базовий ($b_o \Delta x_o$);

в) для базового фактора вибирається крок руху λ_o в напрямку оптимуму. Після цього обчислюються розміри кроків при крутому сходженні за іншими змінними b_i процесу. Через те, що при русі до оптимуму за градієнтом всі досліджувані параметри повинні змінюватися пропорційно коефіцієнтам нахилу поверхні відгуку b_i , то

$$\lambda_i = \frac{b_i \Delta x_i}{|b_o \Delta x_o|}, \quad (6.8)$$

при цьому b_i береться зі своїм знаком;

г) здійснюються так називані «уявні досліді», які полягають в обчисленні визначуваних рівнянням (6.4) значень цільової функції в точках факторного простору, що лежать на шляху до екстремуму від вихідної точки. Іншими словами, здійснюється уявний рух за градієнтом до оптимуму. При цьому i -я координата $(h - q)$ точки на цьому шляху буде

$$\begin{aligned} h &= 1; 2, \dots, m; \\ x_{hi} &= x_{1i} + h \frac{\lambda_i}{\Delta x_i}; \\ i &= 1; 2, \dots, k. \end{aligned} \quad (6.9)$$

Звідси прогнозоване значення вихідного параметра

$$y_{hnp} = b_0 + h \sum_{i=1}^h b_i \frac{\lambda_i}{\Delta x_i} ; \quad (6.10)$$

д) деякі з «уявних дослідів» (звичайно через 2-5) реалізуються для того, щоб перевірити відповідність апроксимації процесу знайденої залежності. Значення, що спостерігаються, порівнюються з передбачуваними, точка, де в реальному досліді отримано найбільш сприятливе (у нашому випадку – мінімальне) значення вихідного параметра, приймається за нову початкову точку $\vec{X}_{h+1}$ наступної серії дослідів, поставлених аналогічним образом.

е) оскільки кожен цикл крутого сходження наближає нас до екстремуму, де крутість поверхні відгуку більше, рекомендується вибирати крок для кожної наступної серії дослідів рівним чи меншим, ніж у попередній.

ж) експеримент припиняється, коли всі або майже всі коефіцієнти b_i рівняння виходять незначущими чи дорівнюють нулю. Це говорить про вихід в область екстремуму цільової функції.

Симплексний метод. Симплексом називається k -вимірний випуклий багатогранник, що має $(k+1)$ рівновіддалену одна від одної вершину. Симплексом нульової розмірності є точка, одновимірним симплексом – відрізок прямої, двовимірним – трикутник, тривимірним – тетраедр і т.д.

В усіх розглянутих раніше методах оптимізації можна виділити спробні експерименти, призначені для виявлення на-

прямку руху, і робочі кроки, що виконують просування до екстремуму. Характерною рисою симплексного методу оптимізації є сполучення процесів вивчення поверхні відгуку і просування по ній до екстремуму. Це досягається тим, що експерименти ставляться тільки в точках факторного простору, що відповідають вершинам симплексів.

Дійсно, після проведення вихідної серії дослідів, поставлених у вершинах правильного k -вимірного симплекса, виявляється точка, що відповідає умовам, за яких виходять найгірші результати. Далі використовується важлива властивість симплекса, у відповідності з якою з будь-якого симплекса можна, відкинувши одну з вершин, отримати новий симплекс, замінивши відкинуту вершину її дзеркальним відображенням щодо протилежної грані симплекса (гранню називають сукупність k -точок k -вимірного простору). Якщо тепер відкинути точку з найгіршими результатами і побудувати на грані, що залишилася, новий симплекс, то очевидно, що центр нового симплекса буде зміщений у напрямку: гірша точка – центр ваги інших точок або, іншими словами, у напрямку екстремуму (рис. 6.7).

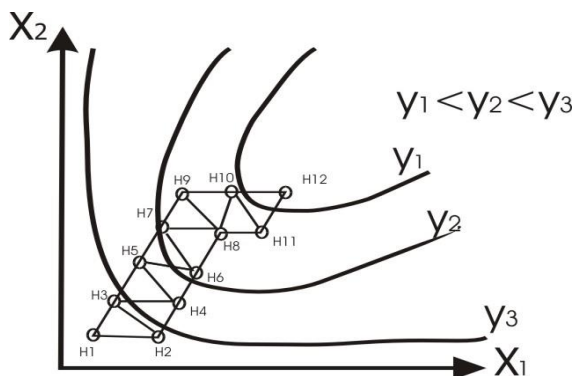


Рис. 6.7. Пошук екстремуму симплексним методом

Потім процес відкидання вершини з найгіршим значенням цільової функції і побудови нового симплекса повторюється. Якщо значення виходу в новій вершині знову виявиться найгіршим, то потрібно повернутися до вихідного симплекса і відкинути одну за одною вершини з поганим результатом. У результаті цього утвориться ланцюжок симплексів, що переміщуються у факторному просторі до точки екстремуму. Варто підкреслити, що це переміщення до екстремуму відбувається з кожним експериментом.

Показником виходу в район екстремуму служить припинення поступального руху симплекса і початок обертання його навколо однієї з вершин, тобто та сама точка послідовно зустрічається більш ніж у $(k + 1)$ симплексах. Варто підкреслити, що напрямок руху до оптимуму, отриманий за допомогою симплекса, є в загальному випадку не самим крутим, траєкторія руху в цьому випадку являє собою ламану лінію, що коливається навколо лінії найбільш крутого сходження.

6.4 Дисперсійний і регресійний аналіз технологічних процесів

Ускладнення ТЗА і технологічних процесів її виробництва викликало різке підвищення вартості і тривалості експериментальних досліджень, ускладнення експериментальних установок і збільшення термінів обробки результатів. Тому з'явилася необхідність в удосконаленні методології дослідження, у розробленні способів обробки експериментальних даних.

Одним з перших кроків у цьому напрямку був дисперсійний аналіз, сутність якого полягає в розкладанні сумарної дисперсії на дві складові: дисперсію, обумовлену технікою екс-

перименту, і дисперсію, пов'язану з дією досліджуваного фактора.

При цьому виконується порівняння оцінки S_A^2 дисперсії, викликаной досліджуваним фактором A , і оцінки S_R^2 залишкової дисперсії, що спостерігається вже після того, як вплив фактора A було встановлено.

Для виконання дисперсійного аналізу результати спостережень зручніше зводити в таблицю. Так, у випадку однофакторного дисперсійного аналізу ця таблиця буде мати такий вигляд (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Результати експериментів при проведенні однофакторного дисперсійного аналізу

Рівні фактора	Результати спостережень						Суми	Кількість спостережень	Середні арифметичні значення
	1	2	...	l	...	m			
1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1l}	...	x_{1m}	$\sum_{l=1}^m x_{1l}$	m_1	$\bar{x}_1$
2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2l}	...	x_{2m}	$\sum_{l=1}^m x_{2l}$	m_2	$\bar{x}_2$
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

i	x_{i1}	x_{i1}	...	x_{i1}	...	x_{i1}	$\sum_{l=1}^m x_{il}$	m_i	$\bar{x}_i$
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
h	x_{h1}	x_{h2}	...	x_{hl}	...	x_{hm}	$\sum_{l=1}^m x_{hl}$	m_h	$\bar{x}_h$
-							$\sum_{l=1}^m \sum_{i=1}^h x_{ij}$	N	$\bar{x}$

Для оцінки дисперсій S_A^2 і S_R^2 обчислюються суми квадратів відхилень, викликані досліджуваним фактором SS_A і помилкою експерименту SS_R :

$$SS_R = \sum_{i=1}^h \sum_{l=1}^{m_i} \left(x_{ij} - \sum_{i=1}^{m_i} x_{il} / m_i \right)^2; \quad (6.11)$$

$$SS_A = \sum_{i=1}^h m_i \left(\frac{\sum_{l=1}^{m_i} x_{ij}}{m_i} - \frac{\sum_{l=1}^{m_i} \sum_{i=1}^h x_{ij}}{m_i h} \right)^2. \quad (6.12)$$

де m_i – кількість спостережень у i -му рівні фактора, N – загальна кількість спостережень, $\bar{x}$ – оцінка середнього арифметичного значення за всіма спостереженнями.

Тут у (6.12) розглядаються відхилення від середнього значення між іспитами, тобто при переході фактора з одного рівня на інший, а в (6.11) – відхилення усередині іспитів, тобто коли досліджуваний фактор залишається без змін.

Суми квадратів відхилень, ділені на відповідну кількість ступенів волі, є незміщеними оцінками дисперсій S_A^2 і S_R^2 :

$$S_R^2 = \frac{SS_R}{N - h}; \quad (6.13)$$

$$S_A^2 = \frac{SS_A}{h - 1}. \quad (6.14)$$

Розбіжність між S_A^2 і S_R^2 оцінюється звичайно за допомогою F -критерію Фішера:

$$F_{розр} = \frac{S_A^2}{S_R^2}.$$

Якщо $F_{розр} \geq F_{табл}$, визначеного для обраного рівня значимості $q_{zn}, \%$, і кількості ступенів волі $v_{zn1} = h - 1$, $v_{zn2} = N - h$ то досліджуваний фактор A впливає на досліджуваний вихідний параметр.

Як приклад застосування однофакторного дисперсійного аналізу можна привести дослідження впливу кількості оборотів обертання центрифуги при нанесенні шару фоторезисту на рівномірність шару фоторезисту. Відхилення товщини плівки фоторезисту (10-6 м) від середнього значення при різних частотах обертання центрифуги приведено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Відхилення товщини плівки фоторезисту від середнього значення при різних частотах обертання центрифуги

Частота обертання, об./хв..	Спостереження								Суми	Кількість спостережень	Середнє арифметичне
	1	2	3	4	5	6	7	8			
1000	0,16	0,06	0,18	0,22	0,12	0,22	0,20	0,06	1,12	8	0,140
2000	0,04	0,12	0,14	0,04	0,06	0,14	0,06	0,08	0,68	8	0,085
3000	0,06	0,02	0,06	0,06	0,04	0,04	0,02	0,06	0,36	8	0,045
-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,16	24	0,09

За результатами дослідження обчислюємо:

$$SS_A = 0,038 \quad \text{для } q=0,05;$$

$$SS_R = 0,0432 \quad \text{для } v_{zn1} = 2;$$

$$S^2_A = 0,019 \quad \text{для } v_{zn2} = 21;$$

$$S_R^2 = 0,00206 \text{ для } F_{табл} = 3,45;$$

$$F_{розр} = 9,24.$$

Оскільки, $F_{розр} = 9,24 > F_{табл} = 3,45$ то фактор A виявляється значимим, тобто розкид товщини плівки фоторезисту по підкладці залежить від швидкості обертання центрифуги.

Якщо ми маємо справу з багатфакторним процесом, то за допомогою дисперсійного аналізу вдається визначити дисперсії, обумовлені дією кожного фактора окремо, і оцінити статистичну значимість цих величин з урахуванням помилки експерименту.

Дисперсійний аналіз особливо ефективний на виробництві через необмежену можливість повторити дослід потрібну кількість разів.

Наступним кроком у розвитку експериментально-статистичних методів обробки результатів дослідження став регресійний аналіз, що дозволяє отримувати математичний опис досліджуваного процесу на основі оцінки коефіцієнтів регресії b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} й у вигляді полінома (6.1).

Найпростіший приклад визначення коефіцієнтів b_i і знаходження рівняння регресії розглянутий вище при викладі градієнтного методу оптимізації.

Класичний регресійний аналіз базується на так званому «пасивному експерименті», що зводиться до збору й обробки даних, отриманих у результаті пасивного спостереження за технологічним процесом у виробничих умовах.

Привабливість пасивного експерименту полягає в тому, що він дозволяє виключити необхідність витрачання часу і засобів на поставлення дослідів. Отримані результати можна потім використовувати для керування процесом. Однак пасивний експеримент має істотні недоліки, що обмежують його застосування для оптимізації технологічних процесів:

а) при збиранні експериментальних даних на діючому промисловому об'єкті, щоб уникнути появи браку, можливе лише незначне «погойдкування» технологічного процесу. При цьому інтервали варіювання технологічними факторами настільки малі, що зміни вихідної величини будуть у більшому ступені обумовлюватися впливом неконтрольованих, випадкових збурень. Природно, що вимірювання вихідної величини Y буде проводитись у цьому випадку з настільки великою помилкою, що використовувати отримані результати для керування технологічним процесом не можна.

б) при пасивному експерименті на виробництві часто не розглядаються фактори, які значно впливають на процес, або через неможливість реєстрації їхнього змінення, або через неповні відомості про процес. Крім того, у виробничих умовах вхідні величини X вимірюються з такими великими помилками, що спотворюють результати сильніше, ніж помилки у визначенні вихідного параметра Y .

в) при пасивному експерименті дослідник не має можливості довільно варіювати технологічними факторами, у результаті експериментальні точки часто розташовуються невдало, і навіть при великій кількості дослідів не можна отримати точний опис досліджуваного процесу

Природним розвитком теорії експерименту, що дозволяє позбутися перерахованих вище недоліків, є «активний експеримент», при якому дослідник активно втручається в експеримент, ставить його у відповідності з заздалегідь розробленим планом. До основних переваг методів активно-

го планування можна віднести наступні:

а) планування експерименту дає чітку послідовну логічну схему побудови всього процесу дослідження. Дослідник у цьому випадку добре знає, що, коли і як треба робити.

б) упровадження методів планування дозволяє підвищити ефективність досліджень, отримати найбільшу кількість відомостей про досліджувані процеси при обмежених витратах, скоротити обсяг експериментальних досліджень, збільшити надійність і чіткість інтерпретації отриманих результатів.

в) обробка результатів експерименту здійснюється стандартизованими прийомами, які дозволяють формалізувати процес побудови моделі і зіставити матеріали різних досліджень.

г) при плануванні експерименту можливо забезпечити випадковий порядок проведення дослідів (рандомізація експерименту) і в такий спосіб домогтися випадкового характеру впливу усіх заважаючих факторів. У цьому випадку відпадає необхідність у твердій стабілізації цих заважаючих факторів.

Таким чином, при оптимізації технологічних процесів «активний експеримент» є найбільш ефективним при дослідженні в лабораторних умовах, тобто на етапі оптимального проектування. На виробництві технологічний процес постійно піддається впливу випадкових, неконтрольованих збурень, що призводить до зміщення оптимуму відносно технологічних факторів. Щоб мати можливість оцінювати це зміщення і вести процес при найбільш сприятливих режимах, необхідно продовжувати дослідження технологічного процесу. Найкращі результати при дослідженні технологічного процесу у виробничих умовах, тобто на етапі оптимального керування, дає «пасивний експеримент». Природно, що пропоновані методи не претендують на заміну загальноприйнятих методів дослідження, що ґрунтуються на глибокому пізнанні механізму досліджуваних явищ. Однак

немає сумнівів у тому, що чим складніше досліджуваний процес, а, отже, складніше і дорожче експеримент, тим очевидніше необхідність застосування математичних методів планування. Високий рівень попередніх теоретичних знань про досліджуваний процес у значній мірі підвищує ефективність застосування методів планування експерименту, дозволяє одержати деякі нові уявлення про механізм явищ.

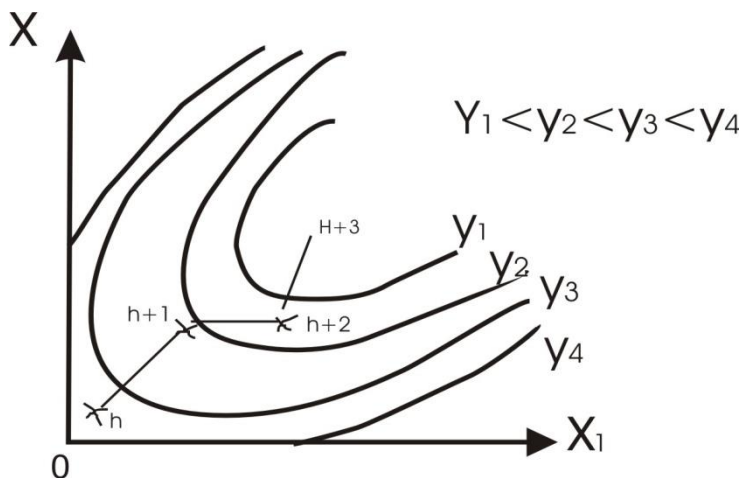


Рис. 6.5. Пошук екстремуму функції методом Кифера-Вольфовиця

Алгоритм руху до екстремуму за методом Кифера-Вольфовиця такий саме, як і в попередньому методі:

$$\vec{X}_{h+1} = \vec{X}_h + \rho_p \vec{\text{grad}} y(\vec{X}_h).$$

У розглянутому методі величина кроку зменшується в

зв'язку зі зменшенням ρ_p , так само, як і при оптимізації градієнтним методом, зменшується при наближенні до екстремуму за рахунок зменшення величини градієнта $grad\ y$.

Оскільки градієнт визначає напрямок найшвидшої зміни функції, то методи, що базуються на такому виборі напрямку руху, забезпечують швидке наближення до екстремуму, однак є деякі труднощі, що обмежують їх застосування. Так, ці методи припускають існування часткових похідних досліджуваної невідомої функції у всіх точках, що практично не завжди можливо. Далі визначення градієнта здійснюється на кожному кроці, що дуже трудомістко, особливо при великій кількості досліджуваних факторів.

Метод крутого сходження або метод Бокса-Уилсона. Цей метод поєднує характерні елементи методів Гауса-Зейделя і градієнта. Так, кроковий рух при оптимізації методом крутого сходження здійснюється в напрямку найбільшої зміни функції або в напрямку градієнта, але на відміну від градієнтного методу корегування напрямку руху здійснюється не після кожного кроку, а після досягнення локального екстремуму цільової функції, як це робиться при пошуку оптимуму за методом Гауса-Зейделя (рис. 6.6).

6.5 Планування екстремальних експериментів

Повний факторний експеримент. Статистичні методи планування експерименту є одними з емпіричних способів отримання математичного опису складних процесів. При цьому математичний опис звичайно подається у вигляді поліному (6.1).

План експерименту визначає розташування експеримен-

тальних точок у k -вимірному факторному просторі, чи, іншими словами, умови всіх дослідів, які необхідно провести. Звичайно 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 (6.4), у цьому випадку кожен з 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:

- а) планування експерименту;
- б) проведення експерименту;
- в) перевірка відтворюваності;
- г) отримання математичної моделі об'єкту з перевіркою статистичної значимості коефіцієнтів полінома;
- д) перевірка адекватності математичного опису.

Планування експерименту. Центр плану, чи точка, в околі якої ставиться серія дослідів, вибирається на основі апріорних відомостей про процес, якщо ж вони відсутні, то звичайно за центр плану вибирається центр досліджуваної області. Інтервали варіювання за кожною змінною вибираються такими, щоб збільшення величини вихідного параметра Y до базового значення Y_0 можна було виділити на фоні «шуму» при невеликій кількості паралельних дослідів. Звичайно ж інтервал варіювання вибирають у межах 0,05-0,3 від діапазону варіювання за даною змін-

ною.

Далі для зручності обробки результатів дослідів проводиться перетворення незалежних змінних X до безрозмірних змінних:

$$x_i = \frac{X_i - X_{oi}}{\Delta X_i}. \quad (6.15)$$

де X_{oi} – 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 бачити, 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. 6.8). У безрозмірній системі координат верхній рівень відповідно до виразу (6.15) дорівнює +1, а нижній дорівнює -1, координати ж центру плану дорівнюють нулю і збігаються з початком координат.

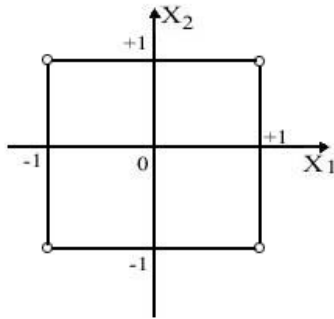


Рис. 6.8. Розташування експериментальних точок для двох незалежних змінних, які варіюються на двох рівнях

Складемо матрицю планування (табл.6.3), де

- у першому стовпці приведено значення фіктивної змінної $X_0 = 1$, відповідної до коефіцієнта b_0 ;
- значення верхнього і нижнього рівнів змінних для спрощення запису замінено символами (+) і (-) відповідно;
- у другому і третьому стовпцях наведено значення змінних X_1 і X_2 , чи власне планування;
- у четвертому стовпці дано значення добутку $X_1 X_2$.

При побудові матриці планування можна користуватися наступним правилом:

перший рядок матриці планування вибирається таким чином, щоб керовані змінні знаходилися на нижньому рівні (-);

частота змінення знака керованих змінних для кожної наступної змінної вдвічі менше, ніж для попередньої.

Таблиця 6.3 – Матриця планування 22

№ досліду	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	y
1	+	-	-	+	y_1
2	+	+	-	-	y_2
3	+	-	+	-	y_3
4	+	+	+	+	y_4

Керуючись цим правилом, легко побудувати матрицю і для більшої кількості змінних; так, для трьох змінних ($k = 3$), де кількість дослідів (N) дорівнює $2^3 = 8$, матриця планування буде мати вигляд табл.6.4.

Таблиця 6.4 – Матриця планування 2^3

№ досліду	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y
									y_1
1	+	-	-	-	+	+	+	-	y_2
2	+	+	-	-	-	+	+	+	y_3
3	+	-	+	-	-	-	-	+	y_4
4	+	+	+	-	+	-	-	-	y_5
5	+	-	-	+	+	-	-	+	y_6
6	+	+	-	+	-	-	-	-	y_7
7	+	-	+	+	-	+	+	-	y_8
8	+	+	+	+	+	+	+	+	

У цьому випадку досліджені точки розташовуються у вершинах куба з центром $(0; 0; 0)$ (рис. 6.9).

Відзначимо деякі особливості наведених вище планів ПФЕ. Більш строгий виклад теорії з цього питання можна знайти в спеціальній літературі.

По-перше, досліджені точки відповідно до цих планів розташовано оптимальним образом, 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 і ортогональністю стовпців матриці планування.

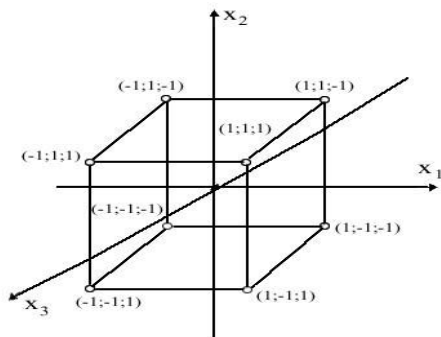


Рис. 6.9. Розташування експериментальних точок для трьох незалежних змінних, які варіюються на двох рівнях

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, і, отже, матриця стає не ортогональною із залежними стовпцями.

Проведення експерименту. 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_{g1} , Y_{g2} , Y_{g3} усереднюються

$$\bar{y}_g = \frac{\sum_{l=1}^m y_{gl}}{m}; \quad (6.16)$$

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 звичайно визначається за допомогою таблиці випадкових чисел послідовність виконання дослідів на об'єкті.

Перевірка відтворюваності. 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 при цьому знаходяться

$$S_g^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{l=1}^m (y_{gl} - \bar{y}_g)^2. \quad (6.17)$$

Якщо перевірка показала, що експерименти відтворені, то їх результати можна використовувати для оцінки коефіцієнтів регресії; якщо ж експерименти не відтворені, то залишається визнати, що наявність не контрольованих і некерованих факторів створює на виході занадто великий рівень «шуму». При цьому можна 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

$$b_i = \frac{\sum_{g=1}^N x_{gi} \bar{y}_g}{N}, \quad (6.18)$$

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 дослідними з урахуванням рівня незалежної змінної x_i в g -му досліді.

Слід зазначити, що за допомогою формули (6.18) 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 їхньої 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 Стюдента, де в чисельник підставляється $|b_i|$

$$t_i = \frac{|b_i|}{S\{b_i\}}.$$

При ортогональному плануванні дисперсії помилок визначення кожного з коефіцієнтів рівні між собою:

$$S_2\{b_i\} = \frac{S^2\{y\}}{N \cdot m}. \quad (6.19)$$

Для оцінки $S^2\{y\}$ дисперсії відтворюваності можна скористатися групою вибірових дисперсій

$$S^2\{y\} = \frac{\sum_{g=1}^N S_g^2}{N}. \quad (6.20)$$

Коефіцієнт b_i виявляється значимим, якщо t_i перевищує значення $t_{кр}$ для прийнятого рівня значимості $q_{зн} \%$, і кількості ступенів волі $\nu_{зн} = N(m-1)$.

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

$$b_i \approx \frac{\delta y(\bar{X}_0)}{\delta x_i} = 0;$$

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 виявляться 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 (6.4).

Перевірка адекватності. Математична модель повинна досить вірно якісно і кількісно описувати властивості досліджуваного процесу, тобто вона повинна бути адекватною. Для перевірки адекватності досить оцінити відхилення отриманого за допомогою рівняння (6.4) значення вихідного параметра t_g від результатів експерименту $\bar{y}_g$ в точці $\bar{X}_g$ факторного простору. Оцінюємо дисперсію адекватності

$$S^2_{ad} = \frac{1}{N - a} \sum_{g=1}^N (y_g - \hat{y}_g)^2, \quad (6.21)$$

де a – кількість членів апроксимуючого полінома.

Якщо σ^2_{ad} не перевищує дисперсії досліду $\sigma^2\{y\}$, то отримана математична модель адекватно подає результати експерименту, якщо ж $\sigma^2_{ad} > \sigma^2\{y\}$, то й опис вважається неадекватним об'єктові. Перевірка гіпотези про адекватність здійснюється за допомогою F -критерію Фішера.

Якщо обчислене значення критерію менше $F_{\kappa p}$, знайденого для прийнятого рівня значимості q_{zn} , %, $v = N - \alpha$, і $v_{ad2} = N(m - 1)$ ступенів волі, то модель визначається адекватною об'єктові.

У випадку, якщо $S^2_{ad} \leq S^2\{y\}$, F -критерій менше або дорівнює одиниці і нерівність $F < F_{\kappa p}$ виконується завжди.

Очевидно, що перевірка адекватності за допомогою критерію Фішера можлива, якщо $v_{ad} > 0$; при $N = \alpha$ не залишається ступенів волі для перевірки нуль-гіпотези про адекватність. У цьому випадку можна 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 незначиме, то можна 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 мен-

шим інтервалом варіювання ΔX_i .

Зменшення інтервалу варіювання приводить:

- по-перше, до збільшення відносини завад до корисного сигналу, що обумовлює необхідність збільшення кількості паралельних дослідів для виділення сигналу на фоні шуму;

- 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 незначимими.

Якщо ж отримана модель адекватна, то можливі наступні ситуації:

а) усі лінійні коефіцієнти значимі – дослідник може використовувати отриману модель для керування технологічним процесом і оптимізації його шляхом руху в напрямку екстремуму;

б) один з коефіцієнтів різко виділяється за абсолютною величиною; у цьому випадку рух за градієнтом функції виходить в звичайний однофакторний експеримент. Тому варто повторити експеримент, зменшивши інтервал варіювання цього фактора чи збільшивши інтервали для інших факторів;

в) деякі з лінійних коефіцієнтів є незначимими – 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 варі-

ювання U відповідних факторів.

г) деякі або всі лінійні ефекти є незначимими, але значимими виявилися ефекти взаємодії. Таке положення може виникнути через невдалий вибір інтервалів варіювання, тому треба поставити нову серію дослідів, збільшивши інтервали варіювання U 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.

Дробовий факторний експеримент. При великій кількості досліджуваних факторів ПФЕ стає недостатньо ефективним, тому що кількість дослідів з ростом k збільшується за показовою функцією. Правда, при цьому зменшуються помилки у визначенні коефіцієнтів полінома, тому що всі досліді 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 можна 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 можна обмежитися чотирма дослідями, якщо в плані для ПФЕ 22 добуток X_1X_2 замінити третьою змінною X_3 ; експеримент буде ставитися вже з включенням третьої змінної, яка буде змінюватися відповідно до

стовпця $x_1 x_2$ ПФЕ (табл. 6.5). 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 .

Таблиця 6.5 – Матриця планування ДФЕ 2^{3-1}

№ досліду	x_0	x_1	x_2	x_3	y
1	+	-	-	+	y_1
2	+	+	-	-	y_2
3	+	-	+	-	y_3
4	+	+	+	+	y_4

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. Якщо ця передумова не виконується, то знайдені коефіцієнти будуть оцінками для спільних ефектів:

$$b'_1 = b_1 + b_{23};$$

$$b'_2 = b_2 + b_{13};$$

$$b'_3 = b_3 + b_{12}.$$

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 досліди, дорівнявши цього разу $X_3 = -X_1X_2$ (табл. 6.6). Користуючись цим планом, можна оцінити спільні ефекти:

$$b''_1 = b_1 + b_{23};$$

$$b''_2 = b_2 + b_{13};$$

$$b''_3 = b_3 + b_{12}.$$

Таблиця 6.6 – Матриця планування ДФЕ 2^{3-1}

№ досліду	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_2X_3, X_2X_3, X_1X_2 , узятим зі зворотним знаком.

Тепер після постановки уже восьми дослідів відповідно до приведених планів можна отримати роздільні оцінки:

$$\left. \begin{aligned} b_1 &= \frac{b_1' + b_1''}{2}; & b_2 &= \frac{b_2' + b_2''}{2}; & b_3 &= \frac{b_3' + b_3''}{2}; \\ b_{23} &= \frac{b_1' - b_1''}{2}; & b_{13} &= \frac{b_2' - b_2''}{2}; & b_{12} &= \frac{b_3' - b_3''}{2}. \end{aligned} \right\} .(6.22)$$

Необхідно помітити, що об'єднання представлених двох напівреплік дає нам ПФЕ 2^3 , тому роздільні оцінки b_i і b_{ij} ми отримаємо 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 з наступних генеруючих співвідношень:

$$X_3 = X_1 X_2; \qquad X_3 = -X_1 X_2.$$

Вираз ВК виходить множенням лівої і 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:

$$; \quad x_1 = -x_2 x_3 ;$$

$$x_2 = x_1 x_3 ; \quad x_2 = x_1 x_3 ;$$

$$x_3 = x_1 x_2 ; \quad x_1 = -x_2 x_3 \quad x_3 = -x_1 x_2 .$$

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 звичайно вищою є розрізняльна здатність.

Наприклад, в експерименті з $k = 4$ за генеруючі співвідношення 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:

$$\begin{array}{ll}
1 = x_1 x_2 x_3 x_4; & 1 = x_1 x_2 x_4; \\
x_1 = x_2 x_3 x_4; & x_1 = x_2 x_4; \\
x_2 = x_1 x_3 x_4; & x_2 = x_1 x_4; \\
x_3 = x_1 x_3 x_4; & x_3 = x_1 x_2 x_3 x_4; \\
x_4 = x_1 x_2 x_3; & x_4 = x_1 x_2; \\
x_1 x_2 = x_3 x_4; & x_1 x_3 = x_2 x_3 x_4; \\
x_1 x_3 = x_2 x_4; & x_2 x_3 = x_1 x_3 x_4; \\
x_1 x_4 = x_2 x_3; & x_3 x_4 = x_1 x_2 x_3.
\end{array}$$

Таким чином, якщо експериментатора, насамперед, цікавлять оцінки для лінійних ефектів, то варто вибрати ГС.

При дослідженні багатofакторних технологічних процесів застосовують репліки і більшого ступеня дрібності (1/4; 1/8 і т.д.). Із зростанням кількості незалежних змінних росте 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.

Опис «майже стаціонарної» області. Кроковий рух до екстремуму продовжується доти, доки дослідник не досягає об-

ласті, близької до екстремуму, чи «майже стаціонарної» області, яка не може бути описана лінійним наближенням. Тут уже стають значимими квадратичні ефекти. Близькість «майже стаціонарної» області можна 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 і суми квадратичних членів. Тому різниця відгуку $(b_0 - \bar{y}_0)$ може дати уявлення про кривизну поверхні відгуку.

«Майже стаціонарну» область звичайно вдається описати з достатньою точністю поліномом другого порядку:

$$y = b_a + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i \neq j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2. \quad (6.24)$$

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 можна, використовуючи так називані 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 можна 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. 6.10).

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» з координатами $(0, \alpha, \dots, 0)$, що лежать на сфері діаметром 2α (рис. 6.10). Загальна кількість дослідів центрального композиційного плану при k факторах дорівнює:

$$N = 2^k + 2k + n_0, \quad (6.25)$$

де n_0 — кількість дослідів у центрі плану; $2k$ — зоряні точки.

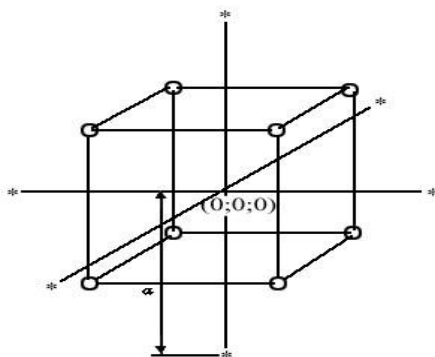


Рис. 6.10. Розташування експериментальних точок у плані другого порядку для трьох незалежних змінних

У теорії планування другого порядку розрізняють кілька типів композиційних планів Найбільше поширення отримали ортогональне ЦПК і рототабільне ЦПК:

а) 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. 6.7), у той час як при ПФЕ типу 33 необхідно було поставити вже 27 дослідів.

У силу ортогональності планування всі коефіцієнти визначаються незалежно один від одного.

$$b_i = \frac{\sum_{g=1}^N x_{gi} \bar{y}_g}{\sum_{g=1}^N x_{gi}^2}. \quad (6.26)$$

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

$$S_2\{b_i\} = \frac{S^2\{y\}}{\sum_{g=1}^N x_{gi}^2} \quad (6.26)$$

При ЦКОП дисперсії визначення коефіцієнтів змінюються при повороті координат, тобто точність прогнозування вихідної величини в різних напрямках факторного простору неоднорідна. Більш вдалим є таке планування, при якому кількість інформації однакова для всіх еквідистантних точок, тобто забезпечує однакову точність визначення Y за всіма напрямками на однаковій відстані (R) від центру планування. Планування, що має таку властивість, називають рототабільним плануванням.

Таблиця 6.7 – Матриця для різних коефіцієнтів центрального композиційного ортогонального планування

№ досліду	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	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	$+\alpha$	0	0	$+\alpha$	0	0	y_9
10	+1	$-\alpha$	0	0	$-\alpha$	0	0	y_{10}
11	+1	0	$+\alpha$	0	0	$\alpha 2$	0	y_{11}
12	+1	0	$-\alpha$	0	0	$\alpha 2$	0	y_{12}
13	+1	0	0	$+\alpha$	0	0	$\alpha 2$	y_{13}
14	+1	0	0	$-\alpha$	0	0	$\alpha 2$	y_{14}
15	+1	0	0	0	0	0	0	y_{15}

При рототабельному плануванні, таким чином, виконується умова

$$\sigma^2\{y\} = \text{const при } R = \text{const}.$$

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 α вибирають з умови

$$\alpha = 2^{k/4} \quad (6.28)$$

і, крім того, при ЦКРП кількість центральних точок збільшується і визначається в залежності від кількості факторів.

Величини α і n_0 як для рототабельного, так і для ортогонального ЦКП рототабульовані і зведені в таблиці, які можна знайти в спеціальній літературі. Матриця ЦКРП, приклад якої для $k=3$ наведено у табл. 6.8, не ортогональна.

Формули для розрахунку коефіцієнтів полінома і їхніх дисперсій при рототабельному плануванні значно складніші, ніж при ортогональному:

$$b_0 = \frac{A}{N} \left[2\lambda(k+2)(0y) + 2\lambda c \sum_{i=1}^k i i y \right]; \quad (6.29)$$

$$b_i = \frac{c}{N} (i y); \quad (6.30)$$

$$b_{ij} = \frac{c^2}{N\lambda} (i j y); \quad (6.31)$$

$$b_{ij} = \frac{A}{N} \left\{ c^2 [(k+2)\lambda - k](i y) + c^2 (1-\lambda) \sum_{i=1}^k (i y) - 2\lambda c(oy) \right\}; \quad (6.32)$$

$$S^2\{b_0\} = \frac{2A\lambda^2(k+2)S^2\{y\}}{N \cdot m}; \quad (6.33)$$

$$S^2\{b_i\} = \frac{cS^2\{y\}}{N \cdot m}, \quad (6.34)$$

$$S^2\{b_{ij}\} = \frac{A[(k+1)\lambda - (k+1)]c^2 S^2\{y\}}{\lambda N \cdot m}; \quad (6.35)$$

$$S^2\{b_{ij}\} = \frac{cS^2\{y\}}{\lambda N \cdot m}, \quad (6.36)$$

Таблиця 6.8 – Матриця центрального композиційного рототабельного планування

№ дослідів	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	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	$+\alpha$	0	0	$+\alpha$	0	0	y_9
10	+1	$-\alpha$	0	0	$-\alpha$	0	0	y_{10}
11	+1	0	$+\alpha$	0	0	$\alpha 2$	0	y_{11}
12	+1	0	$-\alpha$	0	0	$\alpha 2$	0	y_{12}
13	+1	0	0	$+\alpha$	0	0	$\alpha 2$	y_{13}
14	+1	0	0	$-\alpha$	0	0	$\alpha 2$	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}

де

$$C = \frac{N}{\sum_{l=1}^N x_{ij}^2}; \quad (6.37)$$

$$A = \frac{1}{2\lambda[(k+2)\lambda - k]}; \quad (6.38)$$

$$\lambda = \frac{kN}{(k+2)n_1}; \quad (6.39)$$

$$n_1 = N - n_0; \quad (6.40)$$

$$(oy) = \sum_{l=1}^N x_{0l} y_l; \quad (6.41)$$

$$(i^2y) = \sum_{l=1}^N x_{il}^2 y_l; \quad (6.42)$$

$$(iy) = \sum_{l=1}^N x_{il} y_l; \quad (6.43)$$

$$(i^2jy) = \sum_{l=1}^N x_{il} x_{jl} y_l. \quad (6.44)$$

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:

$$Y - Y_s = B_{11}^2 X_1^2 + B_{22}^2 X_2^2. \quad (6.45)$$

Поверхня відгуку в залежності від виду канонічного рівняння може бути однією з трьох типів:

а) якщо коефіцієнти B_{11} і B_{22} мають однакові знаки, то поверхня відгуку є еліптичним параболоїдом, а центр фігури S шуканим екстремумом (рис. 6.11).

У цьому випадку дослідник для отримання оптимальної точки може скористатися і неприведеним рівнянням другого порядку. Для цього прирівнюються нульові значення компонент градієнта

$$\frac{\delta y}{\delta y_1} = b_i + 2b_{ij}x_i + b_{ij}x_j = 0 \quad (6.46)$$

і вирішується система рівнянь.

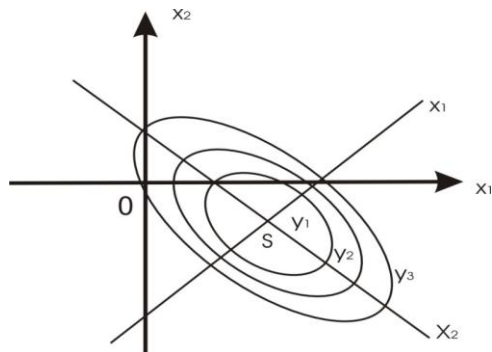


Рис. 6.11. Еліптична поверхня відгуку

б) якщо B_{11} і B_{22} мають різні знаки, то поверхня відгуку відноситься до типу мінімакс чи «сідла» (рис. 6.12). Для знаходження оптимальних технологічних режимів дослідник буде рухатися по сприятливому для нього крилу сідла.

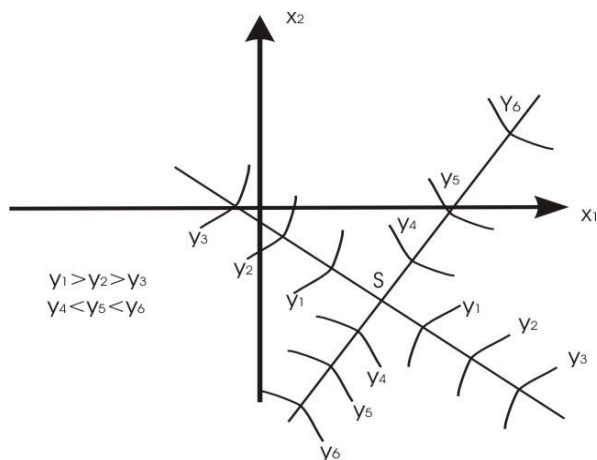


Рис. 6.12. Поверхня відгуку типу мінімакс

в) якщо один з коефіцієнтів B_i дорівнює нулю, то поверхня відгуку має вигляд зростаючого узвишшя (рис 6.13). Тут дослідник для відшукування оптимуму буде рухатися по гребню, поки це допускають можливості технологічного процесу.

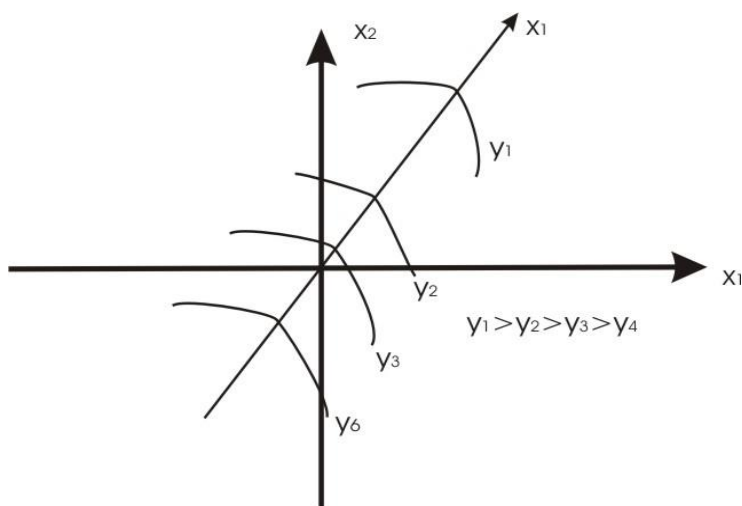


Рис. 6.13. Поверхня відгуку типу зростаючого узвишшя

6.6 Виявлення найбільш суттєвих технологічних факторів

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 збіль-

шення помилки експерименту. 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 звичайно 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 з мінімальними витратами виділити з великої кількості факторів домінуючі, які найбільш істотно впливають на хід процесу.

Метод рангової кореляції. 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:

а) як можна більш широкому колу фахівців пропонується розташувати технологічні фактори в порядку убуття ступеня

їхнього 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;

б) результати опитування подаються у вигляді таблиці – матриці рангів (табл. 6.9), 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 6.9 – Матриця рангів

Фахівці	Фактори				
	X_1	X_2	X_3	...	X_n
1	a_{11}	a_{12}	a_{13}		a_{1n}
2					
3	a_{21}	a_{22}	a_{23}		a_{2n}
.					
.	a_{31}	a_{32}	a_{33}		a_{3n}
.					
m	.	.	.	.	.
Сума рангів	.	.	.	.	.
Відхилення суми рангів від середнього	.	.	.	.	.
Квадрати відхилень	a_{m1}	a_{m2}	a_{m3}		a_{mn}

Чим менше сума рангів даного фактора, тим більш високе місце він займає в ранжируванні, тим більше повинен впливати цей фактор на вихідний параметр.

в) останні два рядки матриці потрібні для обчислення коефіцієнта конкордації

$$W = \frac{12H}{m^2(n^3 - n)}, \quad (6.51)$$

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.

г) за допомогою отриманої матриці рангів будується діаграма рангів (рис. 6.14).

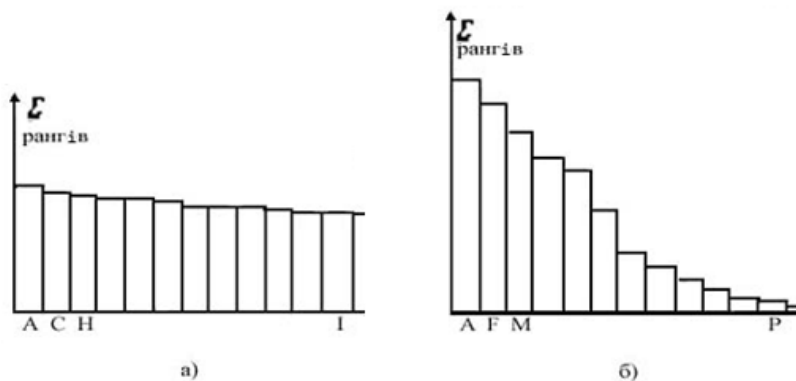


Рис. 6.14. Діаграми рангів

Якщо розподіл на діаграмі рангів рівномірний, то усі фактори повинні включатися в експеримент. Можна 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. 6.14, а).

Найбільш сприятливим є випадок швидкого експонентного зменшення ступеня впливу факторів. У цьому випадку можливе відсівання ряду факторів на основі проведеного опитування рис. 6.14, б).

Насичені плани. 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 215-11 з кількістю дослідів $N = 16$ (табл. 6.10).

Таблиця 6.10 – Матриця насиченого планування

№ дослі ду	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

$$x_5 = x_1 x_2 x_3 x_4;$$

$$x_6 = x_1 x_2 x_3;$$

$$x_7 = x_1 x_2 x_4;$$

$$x_8 = x_1 x_3 x_4;$$

$$x_9 = x_2 x_3 x_4;$$

$$x_{10} = x_1 x_2;$$

$$x_{11} = x_1 x_3;$$

$$x_{12} = x_1 x_4;$$

$$x_{13} = x_2 x_3;$$

$$x_{14} = x_2 x_4;$$

$$x_{15} = x_3 x_4.$$

Після виконання експериментів виконується обчислення коефіцієнтів і оцінка їх значимості. Фактори, для яких коефіцієнти виявилися незначущими, відкидаються. Однак іноді допускається відсівання несуттєвих факторів виходячи з порядку отриманих коефіцієнтів.

Можна 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 ТЗА обмежене, тому що вплив взаємодії технологічних факторів на вихідний параметр дуже значний.

Метод надтонасичених планів. Цей метод дає можли-

вість 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 можна 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 кожную 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 можна взяти ПФЕ, у якому перебираються всі можливі комбінації рівнів у групі. План експерименту утвориться шляхом випадкового змішування рядків групових планів, виконуваного звичайно за до-

помогою таблиці випадкових чисел.

Отриманий експериментальний матеріал обробляється в кілька етапів за допомогою діаграм розсіювання результатів спостережень за окремими факторами (рис. 6.15). 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. Таким чином, проти кожного фактора буде знаходитись N точок, які відповідають N результатам експериментів. Ці точки розділено на дві групи: одна відповідає дослідів, 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 груп 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 Y на величину

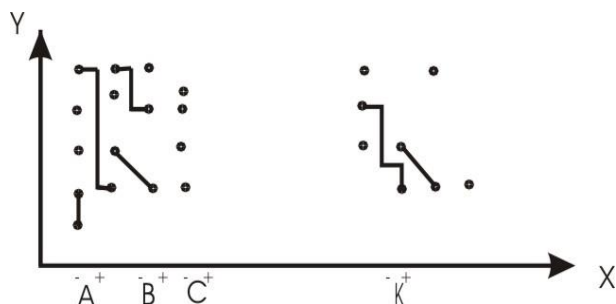


Рис. 6.15. Діаграми розсіювання результатів спостережень за окремими факторами

$$\beta_i = (My)_1 - (My)_2, \quad (6.52)$$

де $(My)_1$ – центр розподілу y при перебуванні фактора X на першому рівні; $(My)_2$ – 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 $(m+1)$ -я точка. Істотні технологічні фактори тепер можна 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 А, З, G, тоді таблиця буде мати такий вигляд (табл. 6.11).

Таблиця 6.11 – 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 кожную клітинку заносяться результати експериментів відповідно до рівнів, на яких знаходились виділені фактори. При цьому може виявитися, що деякі клітинки виявляться незаповненими, у цьому випадку треба скоротити кількість входів таблиці, тобто зменшити кількість виділюваних на даному етапі факторів.

Обчислення коефіцієнтів при відповідних факторах здійснюється за наступними формулами:

$$\left. \begin{aligned} b_C &= \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_5 + \bar{y}_6}{4} - \frac{\bar{y}_3 + \bar{y}_4 + \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{4}, \\ b_A &= \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4}{4} - \frac{\bar{y}_5 + \bar{y}_6 + \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{4}, \\ b_G &= \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_3 + \bar{y}_5 + \bar{y}_7}{4} - \frac{\bar{y}_2 + \bar{y}_4 + \bar{y}_6 + \bar{y}_8}{4}. \end{aligned} \right\} .(2.53)$$

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 можна перевірити за допомогою t -критерію:

$$S\{b_i\} = S\{y\} \sqrt{\sum_{j=1}^l \frac{1}{n_j}}; \quad (6.54)$$

$$S^2\{y\} = \frac{\sum_{j=1}^b S_j^2 (n_j - 1)}{\sum_{j=1}^b (n_j - 1)}; \quad (6.55)$$

$$S_j^2 = \frac{1}{n_j - 1} \sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y})^2, \quad (6.56)$$

де n_j – кількість спостережень у j -ї клітині табл. 6.11;
 $S^2\{y\}$ – залишкова дисперсія, l – кількість клітин табл. 6.11.

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 їхня 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.6.16). 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.6.16). З рис. 6.16, крім того, видно, що взаємодія може мати значний внесок, у той час як кожен фактор окремо характеризувався невеликим внеском.

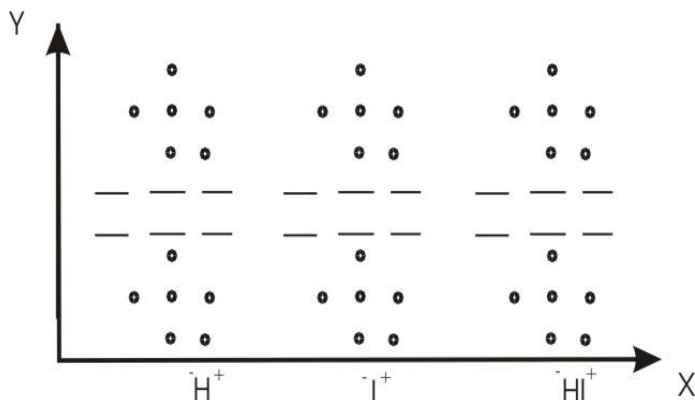


Рис. 6.16. Побудова діаграми розсіювання результатів спостережень для взаємодії факторів

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 можна, використовуючи матрицю незалежних змінних, виділяти й оцінювати відразу значно більшу кількість ефектів.

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 оціненні 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».

Запитання для самоперевірки

1. Якими особливостями характеризується виробництво ТЗА?
2. Що таке модель?
3. Яким вимогам повинна відповідати модель?
4. Як класифікуються моделі ТП? У чому суть і область застосування кожного?
5. Які методи оптимізації найбільш поширені у виробництві ТЗА?
6. У чому суть методу Гаусса-Зейделя?
7. Поясніть метод градієнта.

8. Що характерно для методу Кіфера-Вольфовиця і методу Бокса-Уїлсона?
9. Як здійснюється пошук екстремуму за методом крутого сходження?
10. Як визначається екстремум симплексним методом?
11. Викладіть методику дисперсійного і регресійного аналізу ТП.
12. У чому суть методу планування екстремальних експериментів?
13. З яких етапів складається побудова моделі методом ПФЕ?
14. Що таке планування ПФЕ?
15. Як здійснюється перехід до безрозмірних змінних? Та назад?
16. Як будується матриця планування?
17. Скільки строк містить матриця планування 24?
18. На яких рівнях змінюються значення вхідних параметрів при ПФЕ?

7. ВИДИ РОБІТ З ТЕХНІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА

7.1 Визначення показників технологічної підготовки виробництва

Технічна підготовка виробництва (ТПВ) – системно організований процес, що керується.

Метою технічної підготовки на етапі освоєння є забезпечення повної технічної готовності підприємства і його виробничих підрозділів до освоєння випуску нових виробів високої якості, в установлені директивні строки, при ефективному використанні обладнання, оснащення, виробничих площ, трудових, паливно-енергетичних, матеріальних та інших ресурсів.

Під повною технічною готовністю слід розуміти наявність на підприємстві, в його підрозділах комплекту конструкторсько-технологічної документації на усі освоювані види виробів, а також наявність необхідного технологічного обладнання, в тому числі контрольного та випробувального, технологічного оснащення, інструменту та засобів контролю, засобів механізації та автоматизації виробничих процесів, включаючи міжопераційні транспортні засоби, засоби пересування та складування нової продукції, що забезпечують випуск нових виробів в необхідній кількості, в задані строки та при мінімально можливих затратах.

Для загальної оцінки технічної підготовки підприємства в цілому може бути використаний інтегральний показник, що визначається як середнє зважена величина значень часткових коефіцієнтів (табл. 7.1)

$$K_{m_2} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i};$$

де K_i – часткові коефіцієнти технічної готовності; m_i – вагомість i -го показника.

Табл. 7.1 – Співвідношення для розрахунку коефіцієнтів технічної готовності виробництва

Показник	Формула	Позначення
Коефіцієнт готовності технічної документації (кресленні, технологічні процеси тощо)	$K_{m\phi} = \frac{T_{\phi}}{T_n}$	T_{ϕ} – фактична кількість на момент початку освоєння нових виробів; T_n – загальна кількість креслень, технологічних процесів, що передбачені за планом (розрахунком)
Коефіцієнт забезпеченості виробничими потужностями	$K_m = \frac{M_{\phi}}{M_p}$	M_{ϕ} – фактична (наявна) середнє річна потужність підприємства (провідного цеху, обладнання); M_p – розрахункова (необхідна) потужність підприємства (провідного цеху, обладнання) з урахуванням об'ємів випуску нового виробу
Коефіцієнт оснащеності нового виробу необхідним технологічним обладнанням, енергетичними установками, транспортними засобами	$K_{об} = \frac{C_{\phi}}{C_n}$	C_{ϕ} – фактична наявність даного типу обладнання, транспортних засобів тощо; C_n – необхідна кількість даного типу обладнання, що забезпечує випуск нового виробу

Показник	Формула	Позначення
Коефіцієнт готовності технологічного оснащення (штампи, притискування, пресформування тощо) для нового виробу	$K_{oc} = \frac{O_{\phi}}{O_n}$	Оф – фактична забезпеченість операцій технологічним оснащенням; Оп – забезпеченість виробництва інструментом на момент початку виготовлення нових виробів, що планується
Коефіцієнт забезпеченості виробництва нового виробу інструментом загального і спеціального призначення	$K_n = \frac{P_{\phi}}{P_n}$	Рф – фактична забезпеченість виробництва інструментів на момент початку виготовлення нових виробів; Рп – забезпеченість виробництва інструментів, що планується, (нормативна)

7.2 Автоматизоване проектування ТП

7.2.1. Аналіз елементної та конструктивно-технологічної бази засобів автоматизації

Елементну базу сучасних електронних пристроїв складають ЕРЕ, мікромодулі, інтегральні мікросхеми та модульні вузли різного ступеня інтеграції. На нижчому, нульовому рівні конструктивної ієрархії виробу знаходяться інтегральні мікросхеми (ІМ), які виконують логічні, допоміжні, спеціальні функції або функцію запам'ятовування. ІС класифікуються за рядом ознак:

- за функціональним призначенням (логічні, лінійно-імпульсні та лінійні);
- за технологією виготовлення (напівпровідникові та гібридні);
- за конструктивним оформленням (корпусні з виводами,

корпусні без виводів та безкорпусні).

Кожна ІС незалежно від технології виготовлення та схемотехнічної бази характеризується сукупністю параметрів, що визначають логічні, схемотехнічні та експлуатаційні можливості мікросхеми.

Конструктивні параметри ЕРЕ важливі на етапі проектування друкованих плат. До конструктивних параметрів належать: габаритні розміри елемента, тип корпусу, тип виводів, розмір та форму настановного місця, особливості монтажу.

7.2.2. Проектування друкованих плат

Під час розробки конструкції друкованих плат необхідно розв'язати наступні задачі:

- схемотехнічні – трасування друкованих провідників, мінімізація кількості шарів тощо;
- радіотехнічні – розрахунок паразитних наведень, параметрів ліній зв'язку тощо;
- теплотехнічні – температурний режим роботи друкованої плати, тепловідвід тощо;
- конструктивні – розміщення елементів на друкованій платі;
- технологічні – вибір методу виготовлення, захист тощо.

Усі ці задачі взаємозв'язані. Розглянемо основні правила конструкторсько-технологічного проектування друкованих плат:

– максимальний розмір сторін друкованої плати (одношарової або багатошарової) не повинен перевищувати 500 мм;

– рекомендуються наступні співвідношення розмірів сторін друкованої плати: 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, 3:2, 5:2 тощо;

– доцільно розроблювати друковані плати прямокутної форми;

– ширина друкованих провідників та мінімальна відстань між ними визначається класом друкованого монтажу. У вітчизняній промисловості встановлено два класи друкованого монтажу: А – малої щільності, Б – великої щільності. Для плат класу А вказані величини допускаються в межах 0,5 – 0,8 мм, для плат класу Б – у межах 0,2 – 0,4 мм;

– для визначення взаємного розташування елементів друкованого монтажу використовують координатну сітку у прямокутній системі координат. Стандартний шаг координатної сітки друкованого монтажу дорівнює 1,25 мм. Початок координат встановлюється у лівому нижньому куту плати;

– по краях плати слід передбачати технологічну зону шириною

1,5 – 2,0 мм. Розташування установочних та інших отворів, а також друкованих провідників у цій зоні не допускається. Усі отвори повинні розташовуватися у вузлах координатної сітки;

– для правильної орієнтації мікросхем при їх встановленні на друковану плату на ній повинні бути передбачені «ключі», що визначають положення першого виводу мікросхеми;

– конденсатори, резистори, та інші навісні елементи слід розташовувати паралельно координатній сітці. Відстань між корпусами ЕРЕ повинна бути не менше 1 мм, а відстань між ними по торцю – не менше 1,5 мм;

– координати монтажних отворів можуть бути задані одним з перелічених нижче способів: табличним (нумерацією отворів та занесенням їх координат по осях координат в таблицю), зазначенням розмірів координат за межами рисунка друкованої плати, нумерацією ліній координатної сітки;

– діаметр монтажних отворів беруть більшим від діаметру виводу на 0,5 мм;

– на друкованих платах повинно бути передбачено орієнтувальний паз (або зрізаний лівий кут) або технологічні базові отвори, необхідні для правильної орієнтації друкованої плати при виготовленні;

– друковані провідники не повинні мати різких перегинів та гострих кутів.

Площа друкованої плати визначається наступним чином:

$$S_m = 1,5 \sum_{i=1}^k (n_i S_i),$$

де n_i – кількість елементів i -го типу; S_i – площа, що займається елементом i -го типу; i – кількість типів елементів.

Отримані значення використовують для визначення розмірів друкованої плати.

7.3 Моделювання та оптимізація ТП

7.3.1 Методика моделювання ТП методом планування екстремальних експериментів

7.3.1.1 Повний факторний експеримент

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 дослідях.

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.

Планування експерименту. Центр плану, чи точка, в околі якої ставиться серія дослідів, вибирається на основі апріорних 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 вихідного параметра у до базового значення y_0 можна 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:

$$x_i = \frac{X_i - X_{oi}}{\Delta X_i}, \quad (7.1)$$

де X_{oi} – 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 бачити, 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. 7.1). У безрозмірній системі координат верхній рівень відповідно до виразу (5.1) дорівнює +

1, а нижній дорівнює - 1, координати ж центру плану дорівнюють нулю і збігаються з початком координат.

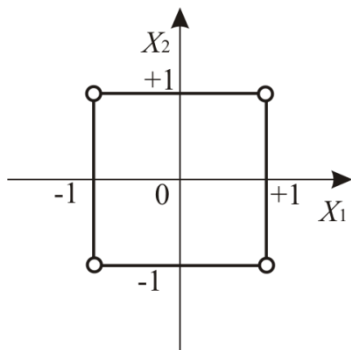


Рис. 7.1. Розташування точок, в яких проводиться дослід

Складемо матрицю планування (табл. 7.2), 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 $x_1 x_2$.

Табл. 7.2 – Матриця планування 2^2

№ досліду	x_0	x_1	x_2	$x_1 x_2$	y
1	+	-	-	+	y_1
2	+	+	-	-	y_2
3	+	-	+	-	y_3
4	+	+	+	+	y_4

При побудові матриці планування можна 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. 7.3.

Табл. 7.3 – Матриця планування 2^3

№ досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3^3$	y
1	+	-	-	-	+	+	+	-	y_1
2	+	+	-	-	-	+	+	+	y_2
3	+	-	+	-	-	-	-	+	y_3
4	+	+	+	-	+	-	-	-	y_4
5	+	-	-	+	+	-	-	+	y_5
6	+	+	-	+	-	-	-	-	y_6
7	+	-	+	+	-	+	+	-	y_7

У цьому випадку досліджені точки розташовуються у вершинах куба з центром (0; 0; 0) (рис. 7.2).

Відзначимо деякі особливості наведених вище планів ПФЕ.

По-перше, досліджені точки відповідно до цих планів розташовано оптимальним образом, 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.

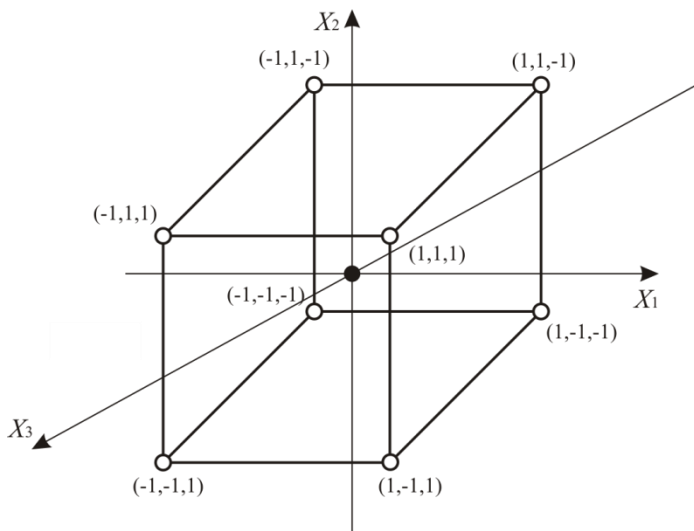


Рис. 7.2. Розташування точок, в яких проводиться дослід

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, і, отже, матриця стає не ортогональною із залежними стовпцями.

Проведення експерименту. 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_{q_1} , Y_{q_2} , Y_{q_3} усереднюються

$$\bar{y}_q = \frac{\sum_{l=1}^m y_{ql}}{m},$$

де y_{ql} – значення параметру; l – 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.

Перевірка відтворюваності. 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_q^2 при цьому знаходяться

$$S_q^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{l=1}^m (y_{ql} - \bar{y}_q)^2.$$

Якщо перевірка показала, що експерименти відтворені, то їхні результати можна використовувати для оцінки коефіцієнтів регресії; якщо ж експерименти не відтворені, то залишається визнати, що наявність не контрольованих і некерованих факторів

створює на виході занадто великий рівень «шуму». При цьому можна 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

$$b_i = \frac{\sum_{q=1}^N x_{q_i} \bar{y}_q}{N}, \quad (5.2)$$

де x_{q_i} 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 (5.2) 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 їхньої 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 $|b_i|$

$$t_i = \frac{|b_i|}{S\{b_i\}}.$$

При ортогональному плануванні дисперсії помилок визначення кожного з коефіцієнтів рівні між собою:

$$S^2\{b_i\} = \frac{S^2\{y\}}{N \cdot m}.$$

Для оцінки $S^2\{y\}$ дисперсії відтворюваності можна скористатися групою вибірових дисперсій

$$S^2\{y\} = \frac{\sum_{g=1}^N S_g^2}{N}.$$

Коефіцієнт b_i виявляється значимим, якщо t_i перевищує значення $t_{кр}$ 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_{0_i}) (або за добутком змінних) близький до точки локального екстремуму

$$b_i \approx \frac{\partial y(\bar{X}_0)}{\partial x_i} = 0$$

– 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 виявляться 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.

Перевірка адекватності. 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 $\vec{X}_g$ факторного простору. Оцінюємо дисперсію адекватності

$$S^2_{ad} = \frac{1}{N - \alpha} \sum_{g=1}^N (y_g - \hat{y}_g)^2,$$

де α – кількість членів апроксимуючого полінома.

Якщо σ_{ad}^2 не перевищує дисперсії досліджуваного $\sigma^2\{y\}$, то отримана математична модель адекватно подає результати експерименту, якщо ж $\sigma_{ad}^2 > \sigma^2\{y\}$, то її опис вважається неадекватним об'єктові. Перевірка гіпотези про адекватність здійснюється за допомогою F-критерію Фішера.

Якщо обчислене значення критерію менше $F_{кр}$, знайденого для прийнятого рівня значимості q_{zn} , %, $v = N - \alpha$, і $v_{ad}^2 = N_{(m-1)}$ ступенів волі, то модель визначається адекватною об'єктові.

У випадку, якщо $S_{ad}^2 \leq S^2\{y\}$, F-критерій менше або дорівнює одиниці і нерівність $F < F_{кр}$ виконується завжди.

Очевидно, що перевірка адекватності за допомогою критерію Фішера можлива, якщо $v_{ad} > 0$; при $N = \alpha$ не залишається ступенів волі для перевірки нуль-гіпотези про адекватність. У цьому випадку можна 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 можна 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:

- по-перше, до збільшення відносини завад до корисного сигналу, що обумовлює необхідність збільшення кількості паралельних дослідів для виділення сигналу на фоні шуму;

– 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:

а) усі лінійні коефіцієнти значимі – дослідник може використовувати отриману модель для керування технологічним процесом і оптимізації його шляхом руху в напрямку екстремуму;

б) один з коефіцієнтів різко виділяється за абсолютною величиною; у цьому випадку рух за градієнтом функції виродиться у звичайний однофакторний експеримент. Тому варто повторити експеримент, зменшивши інтервал варіювання цього фактора або збільшивши інтервали для інших факторів;

в) 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.

г) 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.

7.3.1.2. Дробовий факторний експеримент

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 досліді 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 можна 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 можна 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.7.4). Такий скорочений план-половина ПФЕ називається напівреплікою від ПФЕ 2^3 .

Табл. 7.4 – Матриця планування ДФЕ 23-1

№ досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	y
1	+	-	-	+	y_1
2	+	+	-	-	y_2
3	+	-	+	-	y_3
4	+	+	+	+	y_4

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. Якщо ця передумова не виконується, то знайдені коефіцієнти будуть оцінками для спільних ефектів:

$$b'_1 = b_1 + b_{23}; \quad b'_2 = b_2 + b_{13}; \quad b'_3 = b_3 + b_{12}.$$

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 досліди, дорівнявши цього разу $x_3 = -x_1x_2$ (табл. 7.5). Користуючись цим планом, можна оцінити спільні ефекти:

$$b''_1 = b_1 + b_{23}; \quad b''_2 = b_2 + b_{13}; \quad b''_3 = b_3 + b_{12}.$$

Табл. 7.5 – Матриця планування ДФЕ 23-1

№ 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 $x_1, x_3, x_2, x_3, x_1, x_2$, узятим із зворотним знаком.

Тепер після постановки уже восьми дослідів відповідно до приведених планів можна отримати роздільні оцінки:

$$\left. \begin{aligned} b_1 &= \frac{b'_1 + b''_1}{2}; & b_2 &= \frac{b'_2 + b''_2}{2}; & b_3 &= \frac{b'_3 + b''_3}{2}; \\ b_{23} &= \frac{b'_1 - b''_1}{2}; & b_{13} &= \frac{b'_2 - b''_2}{2}; & b_{12} &= \frac{b'_3 - b''_3}{2}. \end{aligned} \right\}$$

Необхідно помітити, що об'єднання представлених двох напівреплік дає нам ПФЕ 2^3 , тому роздільні оцінки b_i і b_{ij} ми отримаємо 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:

$$x_3 = x_1x_2; \quad x_3 = -x_1x_2.$$

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:

$$x_3^2 = 1 = x_1x_2x_3; \quad x_3^2 = 1 = -x_1x_2x_3.$$

Значення ВК дозволяє визначити всю систему спільних оцінок, не вивчаючи матрицю планування. Для цього треба послідовно помножити незалежні змінні ВК:

$$x_1 = x_2x_3; \quad x_1 = -x_2x_3;$$

$$x_2 = x_1x_3; \quad x_2 = -x_1x_3;$$

$$x_3 = x_1x_2; \quad x_3 = -x_1x_2.$$

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 апріорі 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: $x_4 = x_1x_2x_3$ і $x_4 = x_1x_2$.

Визначимо ВК та з їхньою допомогою знайдемо системи спільних оцінок:

$1 = x_1x_2x_3x_4;$	$1 = x_1x_2x_4;$
$x_1 = x_2x_3x_4;$	$x_1 = x_2x_4;$
$x_2 = x_1x_3x_4;$	$x_2 = x_1x_4;$
$x_3 = x_1x_2x_4;$	$x_3 = x_1x_2x_3x_4;$
$x_4 = x_1x_2;$	$x_4 = x_1x_2;$
$x_1x_2 = x_3x_4x_1;$	$x_1x_3 = x_2x_3x_4;$
$x_1x_3 = x_2x_4;$	$x_2x_3 = x_1x_3x_4;$
$x_1x_4 = x_2x_3;$	$x_3x_4 = x_1x_2x_3.$

Таким чином, якщо експериментатора, насамперед, цікавлять оцінки для лінійних ефектів, то варто вибирати ГС.

При дослідженні багаторічних 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.

7.3.1.3 Опис «майже стаціонарної» області

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 можна 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 вдається описати з достатньою точністю поліномом другого порядку:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i \neq j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2.$$

З теорії інтерполяції відомо, що для знаходження роздільних оцінок кількості 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 можна, 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 можна 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. 7.3).

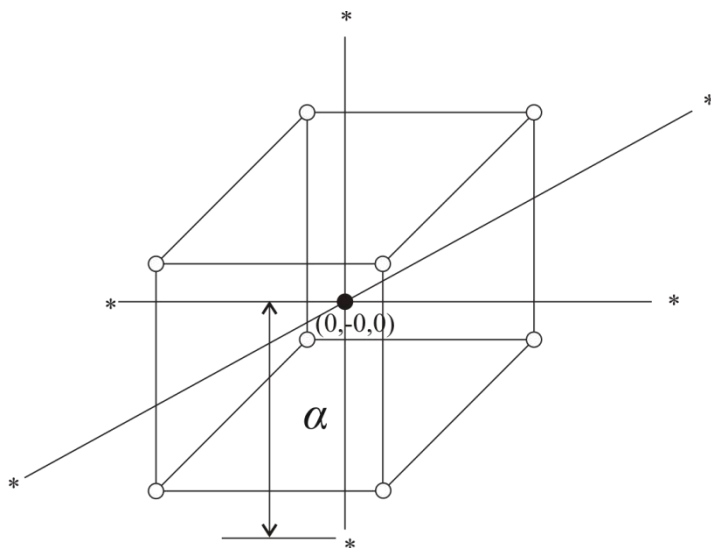


Рис. 7.3. Розташування експериментальних точок

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 $(0, \alpha, \dots, 0)$, що лежать на сфері діаметром 2α (рис. 7.3). Загальна кількість дослідів центрального композиційного плану при k факторах дорівнює:

$$N = 2^k + 2k + n_0,$$

де n_0 – кількість дослідів у центрі плану; $2k$ – зіркові точки.

У теорії планування другого порядку розрізняють кілька типів композиційних планів Найбільше поширення отримали ортогональне ЦПК і рототабільне ЦПК:

У теорії планування другого порядку розрізняють кілька типів композиційних планів Найбільше поширення отримали ортогональне ЦПК і рототабільне ЦПК:

а) 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. 7.6), у той час як при ПФЕ типу 3^3 необхідно було поставити вже 27 дослідів.

Табл. 7.6 – Матриця для різних коефіцієнтів центрального композиційного ортогонального планування

№ дос- ліду	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}

У силу ортогональності планування всі коефіцієнти визначаються незалежно один від одного.

$$b_i = \frac{\sum_{g=1}^N x_{g_i} \bar{y}_g}{\sum_{g=1}^N x_{g_i}^2}.$$

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 включасться 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

$$S^2\{b_i\} = \frac{S^2\{y\}}{\sum_{g=1}^N x_{g_i}^2}.$$

При ЦКОП дисперсії визначення коефіцієнтів змінюються при повороті координат, тобто точність прогнозування вихідної величини в різних напрямках факторного простору неоднакова. Більш удалим 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

$$\sigma^2\{y\} = \text{const при } R = \text{const}.$$

При цьому центральні композиційні рототабельні плани (ЦКРП) дозволяють мінімізувати помилки у визначенні u , пов'язані з неадекватністю подання результатів дослідження поліномом другого порядку.

Для того щоб композиційний план був рототабельним, величину зіркового плеча α вибирають з умови $\alpha = 2^{k/4}$ і, крім того, при ЦКРП кількість центральних точок збільшується і визначається в залежності від кількості факторів.

Величини α і n_0 як для рототабельного, так і для ортогонального ЦКП рототабульовані і зведені в таблиці, які можна знайти в спеціальній літературі. Матриця ЦКРП, приклад якої для $k = 3$ наведений у табл. 7.7, не ортогональна.

Табл. 7.7 – Матриця центрального композиційного рототабельного планування

№ дос- ліду	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}

№ дос- ліду	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2	y
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}

Формули для розрахунку коефіцієнтів полінома і їхніх дисперсій при рототабельному плануванні значно складніші, ніж при ортогональному:

$$b_0 = \frac{A}{N} \left[2\lambda(k+2)(0y) + 2\lambda c \sum_{i=1}^k (ijy) \right];$$

$$b_i = \frac{c}{N} (iy);$$

$$b_{ij} = \frac{c^2}{N\lambda} (ijy);$$

$$b_{ij} = \frac{A}{N} \left\{ c^2[(k+2)\lambda - k](ijy) + c^2(1-\lambda) \sum_{i=1}^k (ijy) - 2\lambda c(0y) \right\}$$

;

$$S^2\{b_0\} = \frac{2A\lambda^2(k+2)S^2\{y\}}{N \cdot m};$$

$$S^2\{b_i\}=\frac{cS^2\{y\}}{N\cdot m},$$

$$S^2\{b_{ij}\}=\frac{A[(k+1)\lambda-(k+1)]c^2S^2\{y\}}{N\cdot m};$$

$$S^2\{b_{ij}\}=\frac{cS^2\{y\}}{\lambda N\cdot m},$$

де

$$c=\frac{N}{\sum\limits_{l=1}^N x^2_{ij}};$$

$$A=\frac{1}{2\lambda[(k+2)\lambda-k]};$$

$$\lambda=\frac{kN}{(k+2)n_1};$$

$$n_1=N-n_0;$$

$$(oy)=\sum\limits_{l=1}^N x_{0l}y_l;$$

$$(ijy)=\sum\limits_{l=1}^N x^2_{il}y_l;$$

$$(iy) = \sum_{l=1}^N x_{il} y_l ;$$

$$(ijy) = \sum_{l=1}^N x_{il} x_{jl} y_l .$$

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:

$$Y - Y_S = B_{11}^2 X_1^2 + B_{22}^2 X_2^2.$$

Поверхня відгуку в залежності від виду канонічного рівняння може бути однією з трьох типів:

а) якщо коефіцієнти B_{11} і B_{22} мають однакові знаки, то поверхня відгуку є еліптичним параболоїдом, а центр фігури S шуканим екстремумом (рис. 7.4).

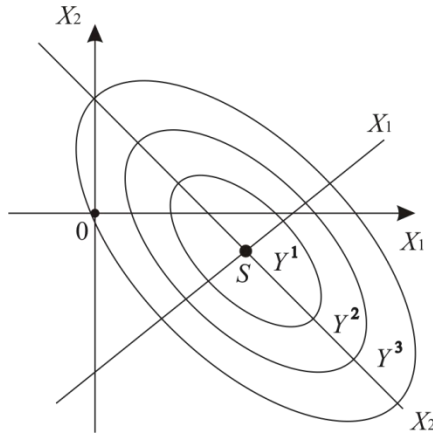


Рис. 7.4. Поверхня відгуку у вигляді еластичного параболоїду

У цьому випадку дослідник для отримання оптимальної точки може скористатися і не приведеним рівнянням другого порядку. Для цього прирівнюються нульові значення компонент градієнта

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = b_i + 2b_{ij}x_i + b_{ij}x_j = 0$$

і вирішується система рівнянь;

б) якщо B_{11} і B_{22} мають різні знаки, то поверхня відгуку відноситься до типу мінімакс чи «сідла» (рис. 7.5). Для знаходження оптимальних технологічних режимів дослідник буде рухатися по найсприятливішому для нього каналу «сідла»;

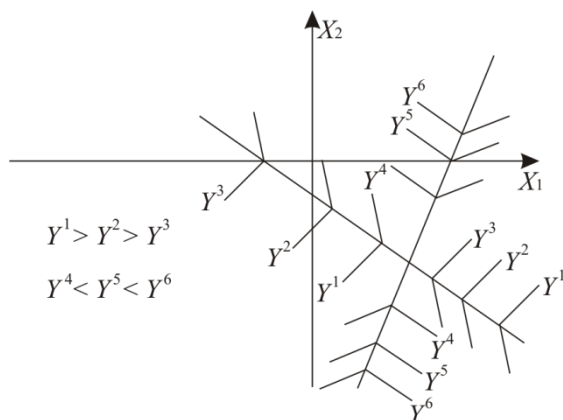


Рис. 7.5. Поверхня відгуку типу мінімакс чи «сідло»

в) якщо один із коефіцієнтів B_i дорівнює нулю, то поверхня відгуку має вигляд зростаючого узвишшя (рис. 7.6). Тут дослідник для відшукування оптимуму буде рухатися по гребню, поки це допускають можливості технологічного процесу.

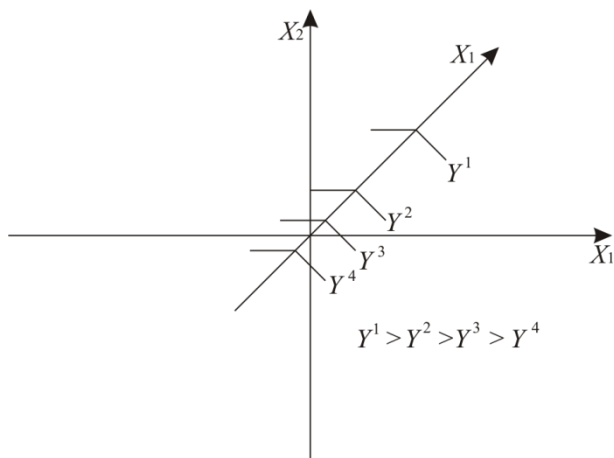


Рис. 7.6. Поверхня відгуку у вигляді зростаючого узвишшя

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. 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.

7.3.1.4 Метод рангової кореляції

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:

а) як можна більш широкому колу фахівців пропонується розташувати технологічні фактори в порядку убутання ступеня їхнього 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;

б) результати опитування подаються у вигляді таблиці – матриці рангів (табл. 7.8), 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.

Табл. 7.8 – 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 більш високе місце він займає в ранжируванні, тим більше повинен впливати цей фактор на вихідний параметр;

в) останні два рядки матриці потрібні для обчислення коефіцієнта конкордації

$$W = \frac{12H}{m^2(n^3 - n)},$$

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;

г) за допомогою отриманої матриці рангів будується діаграма рангів (рис. 7.7).

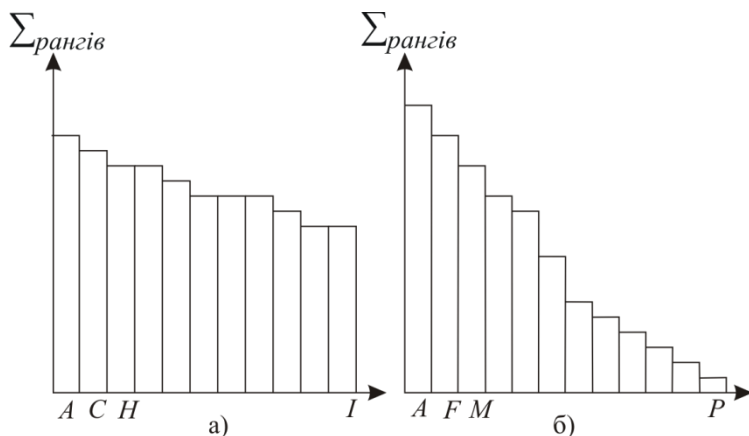


Рис. 7.7. Діаграма рангів: *а* – при рівномірному розподілі рангів; *б* – при нерівномірному розподілі рангів

Якщо розподіл на діаграмі рангів рівномірний, то усі фактори повинні включатися в експеримент. Можна 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 ро-

битися, але робиться невпевнено. Тому тут також краще усі фактори включити в експеримент (рис. 7.7, а).

Найбільш сприятливим є випадок швидкого експонентного зменшення ступеня впливу факторів. У цьому випадку можливе відсівання ряду факторів на основі проведеного опитування рис. 7.7, б).

7.3.1.5. Насичені плани

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. 7.9).

Табл. 7.9 – Матриця насиченого планування

№ дослід	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

$$\begin{aligned}
 x_5 &= x_1x_2x_3x_4; & x_6 &= x_1x_2x_3; & x_7 &= x_1x_2x_4; & x_8 &= x_1x_3x_4; \\
 & & x_9 &= x_2x_3x_4; & x_{10} &= x_1x_2; & & \\
 x_{11} &= x_1x_3; & x_{12} &= x_1x_4; & x_{13} &= x_2x_3; & x_{14} &= x_2x_4; \\
 & & & & x_{15} &= x_3x_4.
 \end{aligned}$$

Після виконання експериментів виконується обчислення коефіцієнтів і оцінка їх значимості. Фактори, для яких коефіцієнти виявилися незначущими, відкидаються. Однак іноді допускається відсівання несуттєвих факторів виходячи з порядку отриманих коефіцієнтів.

Можна 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 дослі-

дження технологічних процесів ЗА обмежене, тому що вплив взаємодії технологічних факторів на вихідний параметр дуже значний.

7.3.1.6. Метод надтонасичених планів

Цей метод 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 можна сподіватися, що таким чином їх вдасться 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 розбива-

ються на групи. З погляду отримання роздільних оцінок доцільніше розбивку на групи робити так, щоб у кожную 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 можна 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. 7.8). 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. 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 y на величину

$$\beta_i = (M_y)_1 - (M_y)_2,$$

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.

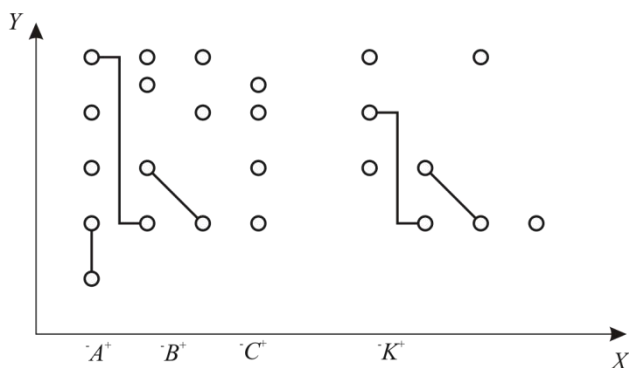


Рис. 7.8. Діаграма розсіювання результатів спостережень за окремими факторами

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 можна 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. 7.11).

Табл. 7.10 – 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 кожену 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 здійснюється за наступними формулами:

$$\left. \begin{aligned} b_C &= \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_5 + \bar{y}_6}{4} - \frac{\bar{y}_3 + \bar{y}_4 + \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{4}; \\ b_A &= \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4}{4} - \frac{\bar{y}_5 + \bar{y}_6 + \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{4}; \\ b_G &= \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_3 + \bar{y}_5 + \bar{y}_7}{4} - \frac{\bar{y}_2 + \bar{y}_4 + \bar{y}_6 + \bar{y}_8}{4}. \end{aligned} \right\}.$$

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 різними комбінаціями 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 можна перевірити за допомогою t -критерію:

$$S\{b_i\} = S\{y\} \sqrt{\sum_{j=1}^l \frac{1}{n_j}};$$

$$S^2\{y\} = \frac{\sum_{j=1}^b S^2_j (n_j - 1)}{\sum_{j=1}^b (n_j - 1)};$$

$$S^2_j = \frac{1}{n_j - 1} \sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y})^2,$$

де n_j – кількість спостережень у j -й клітині табл. 7.11; $S^2\{y\}$ – залишкова дисперсія; l – кількість клітин табл. 7.10.

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 їхня 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. 7.9). 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. 7.9). З рис. 7.9, крім того, видно, що взаємодія може мати значний внесок, у той час як кожен фактор окремо характеризувався невеликим внеском.

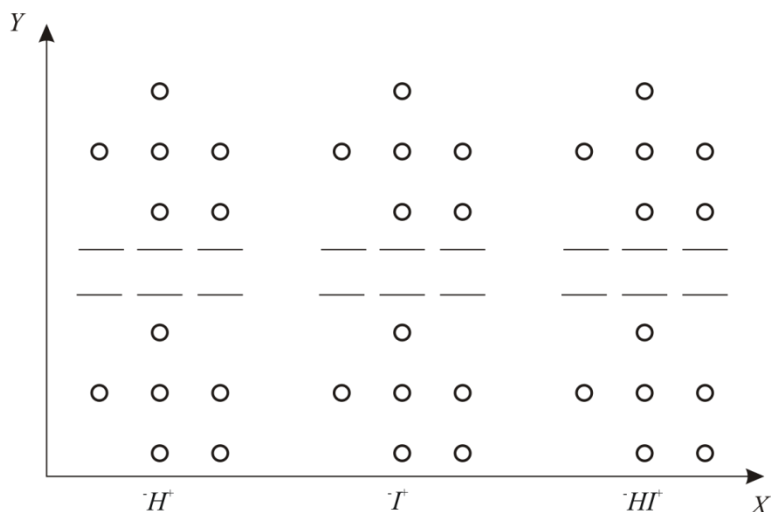


Рис. 7.9. Діаграма розсіювання для ефектів взаємодії

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 можна, використовуючи матрицю незалежних змінних, виділяти й оцінювати відразу значно більшу кількість ефектів.

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».

Запитання для самоперевірки:

1. Що розуміють під технологічною підготовкою виробництва?
2. Які задачі вирішуються під час організації ТПВ?
3. Назвіть функції ТПВ та їх зміст.
4. Які види робіт входять у технічну підготовку виробництва?
5. Що таке науково-дослідна робота (НДР)?
6. Що є характерним для науково-дослідної роботи?
7. Яким вимогам має відповідати модель?

8. Поясніть метод градієнта.
9. Що характерно для методу Кіфера – Вольфовиця і методу Бокса – Уїлсона?
10. Як здійснюється пошук екстремуму за методом крутого сходження?
11. Що таке планування ПФЕ?
12. Що розуміють під АСТПВ?
13. З яких підсистем складається АСТПВ?
14. Назвіть технічні засоби, що використовуються в АСТПВ.
15. Яке призначення інформаційного забезпечення АСТПВ?
16. Яке призначення і зміст програмного забезпечення АСТПВ?
17. Технічне забезпечення АСТПВ. Які технічні засоби використовуються в АСТПВ і яке їх призначення?
18. Яка роль організаційного забезпечення АСТПВ?

8. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

8.1 Забезпечення точності операцій складання

8.1.1 Розрахунок точності складання вихідних параметрів засобів автоматизації

У виробництві засобів автоматизації (ЗА) застосовуються наступні методи забезпечення заданої точності вихідних параметрів функціональних вузлів: повної взаємозамінності, неповної взаємозамінності, групової взаємозамінності, підгонки та регулювання.

Варіант складального процесу обирають порівнянням результатів точнісного аналізу вихідних параметрів (у рамках загальної теорії точності) за відомої точності параметрів елементів та похибки, що вноситься складально-монтажними операціями, із припустимими значеннями точності вихідних параметрів та наступним логічним аналізом результатів цього порівняння.

У результаті вирішення задачі отримаємо рекомендації з вибору оптимального варіанта складання (повної та неповної взаємозамінності, групової взаємозамінності, підгонки або регулювання). Математична модель вирішення такої задачі подається у вигляді системи рівнянь та нерівностей. Відносно синтезу складання функціонального вузла модель має вигляд

$$\sigma_{nv}^2 = \sigma_{ick}^2 \sum_{j=1}^n A_{ij}^2 \sigma_j^2 + 2 \sum_{j>U}^n \rho_{iU} A_{ij} A_{iu} \sigma_j \sigma_u ; \quad (8.1)$$

$$i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n};$$

$$\sigma_{idod} \geq \sigma_{ine}; \quad (8.2)$$

$$\sigma_{idod} \geq \frac{1}{k_{\Sigma}} \sigma_{ine}, \quad (8.3)$$

де σ_{ine} – середньоквадратичне відхилення i -го вихідного параметра, що утворюється за умовами повної взаємозамінності; σ_{ick} – середньоквадратичне відхилення i -го вихідного параметра, що утворюється у результаті впливу складального процесу; A_{ij} – коефіцієнт впливу i -го параметра елемента на j -й вихідний параметр вузла; A_{iu} – коефіцієнт впливу i -го параметра елемента на u -й параметр вузла; σ_j – середньоквадратичне відхилення j -го параметра елемента; ρ_{ju} – коефіцієнт кореляції між параметрами багатомірних елементів; n – кількість параметрів, що складають вузол, та елементів; m – кількість вихідних параметрів вузла; σ_{idod} – допустиме середньоквадратичне відхилення вихідного параметра; k_{Σ} – коефіцієнт ризику.

Група (8.1), що включає m рівнянь, відображає функціональні взаємозв'язки між вихідними параметрами вузла та параметрами складальних його елементів з урахуванням похибок, що вносяться складальним процесом.

Група нерівностей (8.2) визначає умову виконання складального процесу методом повної взаємозамінності.

Група нерівностей (8.3) визначає умовно виконання складального процесу методом повної взаємозамінності. Група нерівностей (8.3) визначає умови виконання складального процесу методом неповної взаємозамінності, де коефіцієнт ризику K_{Σ} визначає допустимий за критерієм собівартості процент браку. Невиконання умови (8.3) потребує переходу до методу групової

взаємозамінності з попередньою селекцією заздалегідь обумовленого числа елементів із зменшеною величиною σ_j . Якщо і в цьому випадку не вдається виконати $\sigma_{\text{ідоп}}$, необхідно перейти до методу підгонки або регулювання.

При вирішенні задачі про синтез складального процесу відомі усі величини та додаткові умови для методів групової взаємозамінності, підгонки та регулювання, що входять до виразів (8.1) – (8.3). Отже, в результаті вирішення задачі залишається одне оптимальне рішення. Самі параметри елементів становлять із себе випадкові величини з відомими законами розподілу. Для спільності методики розрахунку використовують рішення нормального закону розподілу з урахування впливу відмінних від нього законів розсіювання. Вираз (8.1) носить приблизний характер та повністю справедливий лише при лінійній залежності між вихідними параметрами вузла та параметрами елементів.

Рівняння вихідного параметра має вид:

$$N_i = f(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_m) \quad (8.4)$$

як функція параметрів елементів x_j величин $\sigma_{\text{іск}}$, σ_j , $\sigma_{\text{ідоп}}$, K_Σ , σ_u , l (число елементів, що селектують), номінальних значень параметрів елементів x_{j0} .

Рівняння (8.4) використовується для визначення коефіцієнтів впливу A_{ij} методом часткових похідних та наступного формування рівняння похибки (8.1). Останнє можна виконати також за статистичними даними експерименту, що планується, або регресійно-кореляційним аналізом за даними пасивного експерименту.

Потім обчислюємо похибку параметра N_i . При цьому одночасно визначаються середньоквадратичне відхилення та мак-

симальне відхилення $\sigma_{inv} = 3\sigma_{inv}$ при умові врахування законів розподілу усіх параметрів елементів та штучного приведення їх до нормального (за рівнем $P = 0,9973$) введення коефіцієнтів відносного розсіювання K_j , що використовуються в теорії точності. В цьому випадку на підставі (8.1)

$$\sigma_{inv} = k_i^2 \sigma_{ick}^2 + \sum_{j=1}^n A_{ij}^2 k_j^2 \sigma_j^2 + 2 \sum_{j>u}^n \rho_{ju} A_{ij} A_{iu} k_j k_u \sigma_j \sigma_u ; (8.5)$$

$$\delta_{inv} = 3\sigma_{inv} , (8.6)$$

де k – коефіцієнт відносного розсіювання, $k_i = \frac{\delta \sigma_i}{\Delta_i}$; Δ_i – поле розсіювання величини параметра N_i для $P = 0,9973$.

При вирішенні задачі синтезу процесу складання послідовно перевіряють можливості застосування кожного з перерахованих раніше методів складання. Критерій можливості застосування метода повної взаємозамінності – виконання умови (8.2) при переході до величини σ_{inv}

$$\delta_{inv} \leq \delta_{idod} . (8.7)$$

При виконанні умови (8.7) оптимальним є метод повної взаємозамінності та подальший аналіз не проводиться, результати обчислення та порівняння поступаються на вивід. Якщо умова (8.7) не виконується, необхідно зробити висновок про неможливість застосування метода повної взаємозамінності. Забезпечує

чити необхідну точність вихідних параметрів можна в результаті селекції вхідних елементів для зменшення їх похибок, що досить трудомістко та збільшує собівартість, або в результаті проценту браку виробів за точностними характеристиками вихідних параметрів N_i , що допускається. У більшості випадків, особливо в умовах крупносерійного та масового виробництва, слід задіяти другий варіант та перейти до подальших розрахунків, аналізуючи можливість застосування, метода неповної взаємозамінності. Відхилення σ_i вихідного параметра N_i повинно задовольняти умові (8.6). З урахуванням (8.4) та (8.5) отримаємо умову (8.7) для виконання складального процесу методом неповної взаємозамінності:

$$\delta_{inv} = \frac{1}{k_{\Sigma}} \delta_{inv} \leq \delta_{idod}. \quad (8.8)$$

Коефіцієнт ризику $k_{\Sigma} > 1$ для метода неповної взаємозамінності обираємо виходячи з допустимого проценту ризику (браку) з табл. 8.1.

Табл. 8.1 – Залежність проценту ризику від k_{Σ}

Процент ризику	0,5	1,0	2,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
k_{Σ}	1,05	1,11	1,21	1,30	1,33	1,36	1,40	1,44

У випадку виконання умови (8.8) при заданому k_{Σ} оптимальним є метод неповної взаємозамінності та подальший розрахунок припиняється. Якщо умови не виконуються, аналізується можливість використання метода групової взаємозамінності,

коли необхідно обрати групу елементів із найбільшими значеннями коефіцієнтів впливу A_{ij} та застосувати селекцію цих елементів, раніше обумовивши межі зменшення відхилень параметрів елементів. У цьому випадку похибка вихідного параметру δ_{ic} повинна задовольняти умові

$$\delta_{ic} \leq \delta_{idod}. \quad (8.9)$$

Кількість елементів, що селектуються, та їх допустимі відхилення визначаються вартісними обмеженнями.

Виконання умови (8.9) завершується вирішення задачі висновком про те, що оптимальним є метод групової взаємозамінності.

У випадку цього невиконання необхідно перейти до методу підгонки та регулювання. У якості елемента, за допомогою якого здійснюється компенсація похибки, використовується елемент із максимальним A_{ij} . Похибка цього елемента δ_{ij} дорівнює нулю, що дозволяє зменшити відхилення вихідного параметра δ_{ip} . Далі оцінюється величина компенсації відхилення елемента δ_{ip} з умови $\delta_{ip} \leq \delta_{idod}$:

$$B = \delta_{inv} - \delta_{ip};$$

$$\delta_{ij} = \frac{B}{A_{ij}}.$$

Якщо

$$\delta_{ip} < \delta_{idod}$$

обраний варіант метода підгонки та регулювання буде задовольняти вирішенню задачі оптимального синтезу ТП складання.

Якщо величина δ_{ij} незначна, вона може бути скомпенсована у результаті операції при складанні (метод підгонки), якщо δ_{ij} порівняно велика, – уводиться додатковий елемент – компенсатор.

8.2 Організаційні основи складання

8.2.1 Розрахунок техніко-економічних показників складання

Тип виробництва визначають з аналізу конструкції ЗА, програми випуску та дійсного річного фонду робочого часу. Для певного типу виробництва обирають оптимальні методи складання, необхідне обладнання та оснащення. Тип виробництва установлюють за допомогою коефіцієнта серійності

$$k_c = \frac{K_0}{n_p},$$

де k_0 – кількість складальних операцій за технологічним процесом; n_3 – кількість робочих місць, необхідних для виконання процесу складання

$$n_p = \frac{N \sum_{i=1}^{K_0} T_{um_i}}{60 \cdot k \cdot \Phi_\partial},$$

де N – річний обсяг випуску ЗА, шт.; $\sum_{i=1}^{K_0} T_{um,i}$ – трудомісткість складання ЗА, хв.; $T_{um,i}$ – норма штучного часу i -ї складальної операції, хв.; k – коефіцієнт виконання норм в процесі складання; Φ_0 – дійсний річний фонд часу, год.; $k_c \leq 1$ відповідає масовому виробництву, $k_c > 1$ – серійному виробництву, $k_c \gg 1$ – для невеликих програм та одиничного виробництва.

Тривалість виробничого циклу T_u – час між запуском у виробництво та закінченням виготовлення партії радіоапаратури або одного апарату. Тривалість циклу залежить від сполучення операцій.

При послідовному сполученні операцій

$$T_u = N \cdot T_y,$$

де N – кількість ЗА в партії; T_y – час проходження усіх операцій одним апаратом.

При паралельному сполученні операцій кожен ТЗА переходить на наступну операцію, не очікуючи доки усі інші апарати цієї партії проходять дану операцію, тоді

$$T_u = T_y + (N - 1)T_{um, \max},$$

де $T_{um, \max}$ – норма часу найбільш трудомісткої операції.

При послідовно-паралельному способі сполучення операцій

$$T_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^n t_{\text{см}} + N \cdot T_{\text{ум}_k} \text{ Т},$$

де $t_{\text{см}}$ – зсув у часі між початками двох операцій, що йдуть послідовно, хв.; $T_{\text{ум}_k}$ – норма часу кінцевої операції, хв.

Якщо тривалість попередньої операції більше наступної, то зсув між цими операціями

$$t_{\text{см}} = T_{\text{ум}_i} - (N - 1)T_{\text{ум}_{i+1}}.$$

Якщо попередня операція менше наступної, то зсув між операціями:

$$t_{\text{см}} = T_{\text{ум}_i}.$$

Операції технологічного процесу бажано проектувати рівними або кратними одна до іншої за тривалістю. Це дозволяє легко організовувати поточне виробництво. Розрахунки поточних та конвеєрних ліній полягають у визначенні їх основних параметрів та виконуються однаково. У ході розрахунку необхідно знайти: τ – такт поточної лінії, хв.; $T_{\text{л}}$ – темп поточної лінії, шт./год.; $t_{\text{л}}$ – ритм поточної лінії, хв., що розраховують лише в тому випадку, якщо деталі передаються транспортними партіями; n_p – число робочих місць на лінії; L – довжину поточної лінії або конвеєра, м; $B_{\text{л}}$ – ширину стрічки транспортеру, см; v_k – швидкість руху конвеєра, м/хв.

Такт поточної лінії

$$\tau = \frac{\Phi_{см}}{П_{сз}},$$

де $\Phi_{см}$ – фонд робочого часу за зміну, хв.:

$$\Phi_{см} = 492 - T_{об} - T_{відп},$$

де $T_{об}$ – час організаційно-технічного обслуговування лінії, хв.; $T_{відп}$ – час на відпочинок, хв.; $T_{об}$ і $T_{відп}$ у сумі складають 7 – 10 % від оперативного часу, що дорівнює

$$T_{оп} = T_o + T_{\delta},$$

де T_o – основний технологічний час; T_{δ} – допоміжний час, що не перекривається; $П_{сз}$ – змінне завдання запуску, шт.:

$$П_{сз} = \frac{100 \cdot П_з}{100 - p},$$

де $П_з$ – змінне планове завдання випуску ЗА, шт.; p – процент допустимого браку.

Темп поточної лінії

$$T_{\text{л}} = \frac{60 - (T_{\text{об}} + T_{\text{відн}})/r}{\tau},$$

де r – кількість годин в зміні ($r = 8,2$).

Ритм поточної лінії

$$t_{\text{л}} = \frac{T_{\text{зм}} \cdot S}{\Pi_{\text{зз}}},$$

де $T_{\text{зм}}$ – тривалість зміни, хв.; S – кількість ЗА, що складаються, в транспортній партії

$$n_p = \sum_{i=1}^n \frac{T_{\text{ум},i}}{\tau}.$$

При розташуванні робочих місць в лінію з однієї сторони стрічки транспортеру

$$L = l_{\text{num}} \cdot n_p \text{ при } l_{\text{num}} \geq 1,2 \text{ м.}$$

При розташуванні робочих місць з двох сторін стрічки транспортеру в шаховому порядку

$$L = l_{\text{num}} \left(\frac{n_p}{2} + 1 \right) \text{ при } l_{\text{num}} \geq 0,8 \text{ м,}$$

де l_{num} – питома довжина одного робочого місця за напрямком руху стрічки транспортеру, м.

$$v_k = \frac{l_{num}}{\tau}.$$

Перервно-поточні (прямоточні) лінії характеризуються відсутністю строгої синхронності операції. Ритмічність такої лінії полягає в тому, що через певні проміжки часу на кожній операції оброблюється строго визначена, однакова кількість ЗА при різному завантаженні робочих місць. Отже, під ритмом роботи t_l прямоточної лінії розуміють інтервал часу (кратний тривалості зміни), протягом якого на лінії формується заготовка заданої величини. Внаслідок різниці роботи за операціями, що мають різну продуктивність, створюються міжопераційні оперативні заділи.

Повне використання фонду робочого часу досягається впровадженням багатоверстатного обслуговування та суміщення обслуговування операцій. Для цього складають графік обслуговування, що визначає періоди роботи обладнання та робочих, порядок та час переходів робочих, що обслуговують декілька операцій протягом зміни. Час роботи робочого на одному робочому місті – період комплектування заділу

$$T_x = t_l \cdot k_3,$$

де k_3 – коефіцієнт завантаження робочого на одному робочому місті на даній операції;

$$k_3 = \frac{T_{шт.}}{\tau}.$$

Протягом періоду комплектування заділу зберігається однаковий план роботи на суміжних операціях, а величина міжопераційного заділу змінюється від нуля до максимального абсолютного значення. Тривала величина заділу відноситься до кінця періоду T_x , а його від'ємна величина – до початку періоду T_x .

Величину міжопераційного зворотного заділу $z_{\max}$ визначають з виразу

$$z_{\max} = \left(\frac{n_{p_i}}{T_{шт_i}} - \frac{n_{p_{i+1}}}{T_{шт_{i+1}}} \right) \cdot T_x,$$

де n_{p_i} та $n_{p_{i+1}}$ – кількість робочих місць на кожній з двох суміжних операцій, зайнятих протягом періоду T_x .

Норма вироблення розраховується для різних проміжків технологічного часу (година, зміна тощо) і залежить від типу виробництва.

В серійному виробництві змінна норма вироблення

$$H_{зм} = \frac{T_{зм} - T_{нз}}{T_{шт.}},$$

де $T_{нз}$ – підготовчо-заклучний час, що витрачається на підготовчі дії перед початком складання та на завершальному

етапі, після складання партії ЗА (ознайомлення з технологічним процесом, транспортування деталей та складальних одиниць, налагодження обладнання тощо).

У масовому виробництві при наявності наладчика та поданні деталей та складальних одиниць і матеріалів на робоче місце змінна норма вироблення визначається виразом

$$H_{зм} = \frac{T_{зм}}{T_{шт.}}$$

При складанні на конвеєрних та поточних лініях вона визначається виразом

$$H_{зм} = \frac{T_{зм} - (T_{об} + T_{відп})}{T_o + T_e}.$$

Економічний розрахунок проводиться при: виборі найбільш ефективного варіанту технологічного процесу; виборі спеціального оснащення; обґрунтуванні технологічності ЗА.

Вибір технологічного процесу з ряду прийнятних варіантів проводять визначенням критичної кількості пристроїв чи порівнянням приведеної технологічної собівартості.

Технологічна собівартість ЗА C_m – частка собівартості, що включає витрати, що можуть суттєво змінюватися при зміні технологічного процесу:

$$C_m = M + 3 + П + E = P + \frac{B}{N_p},$$

де M – витрати на матеріали, що використовуються в з'єднаннях; 3 – зарплата виробничих робочих; E – витрати, пов'язані з експлуатацією обладнання та універсальних пристосувань; $P = M + 3 + E$ – річні витрати на складання одного ЗА;

$П = \frac{B}{N_p}$ – річні витрати з експлуатації, амортизації та налаго-

дження спеціального оснащення, віднесені до одиниці ЗА, що складається.

Критичну кількість ЗА, при якій собівартість двох порівняних варіантів однакова, визначають з рівності $C_{m1} = C_{m2}$:

$$N_{кр} = \frac{P_2 - P_1}{B_1 - B_2}.$$

8.3 Статистичний аналіз технологічних операцій складання

8.3.1 Основні розрахункові співвідношення

Визначення оптимальної структури ТП складання і монтажу; оцінка основних його техніко-економічних показників проводиться статистичними методами. За основу вибирається одна зі статистичних моделей. Розглянемо методику статистичного моделювання стосовно до процесу складання і монтажу

складальної одиниці на друкованій платі.

У результаті операції складання до ведучого напівфабрикату (плати) послідовно приєднується n деталей. Позначимо їхні параметри до моменту початку складання $t \leq t^H$: для ведучого напівфабрикату α_j , а для відомих $\alpha_{j1}, \alpha_{j1}, \dots, \alpha_{jk}$. Операція складання продовжується, якщо в необхідний момент часу є відповідна деталь, у противному випадку відбувається зрив операції. У момент закінчення складання $t \geq t^k$ одержуємо складальну одиницю зі значенням вихідного параметра Π_j . Кожна деталь, яка приєднується до ведучого напівфабрикату, піддається перевірці протягом часу $\tau^{пр}$. Вона з імовірністю $P^{бр}$ може виявитися бракованою й у цьому випадку замінюється новою, якісною, якщо така є. Операція складання продовжується обмежений час, тому що режим переміщення складальної одиниці по ходу процесу є жорстким. Якщо вона не укладається у встановлену норму часу, то відбувається зрив операції складання. Після закінчення процесу й отримання готового виробу, а також після випадків зриву операції переходять до складання чергового виробу. Використовуване для складання устаткування підготовляється до операції протягом часу $\tau^Г$, який може бути детермінованою або випадковою величиною. Процес досліджується доти, поки дотримується умова $t_j^n < T$, де t_j^n – момент надходження на складання ведучого напівфабрикату; T – період функціонування.

Розіб'ємо складальну операцію на $i = 1, 2, \dots, n$ найпростіших операцій, які полягають у приєднанні до ведучого напівфабрикату тільки однієї деталі. Тривалість i -ї операції для j -го вузла позначимо τ_{ij}^{ck} , а момент її закінчення – τ_{ij}^k . При формалізації її зручно представити в наступному вигляді

$$\tau_{ij}^{ck} = \tau_{ij}^{\phi} + \tau_{ij}^y + \tau_{ij}^{kp},$$

де τ_{ij}^{ϕ} , τ_{ij}^y , τ_{ij}^{kp} – час формування, установки і кріплення (паяння) деталей, який визначається, виходячи з наявного на підприємстві устаткування або на підставі галузевих стандартів.

Для кожної операції (складання, контролю якості) накопчується статистичний матеріал про зміну їхніх тривалостей у часі (наприклад, шляхом хронометражу робочого часу). На підставі наявних дослідних і довідкових даних установлюються детерміновані в часі показники процесу складання і ймовірних діапазонів їх зміни: тривалість підготовки до операції τ_{ij}^{Γ} , інтенсивність перевірки якості деталей λ_{np_r} , ймовірність появи браку деталей $P_i^{\text{бp}}$ та ін. Накопичений статистичний матеріал представляється в компактній, зручній для сприйняття ЕОМ формі: установлюються закони розподілу (рис. 8.1), визначаються їхні числові характеристики.

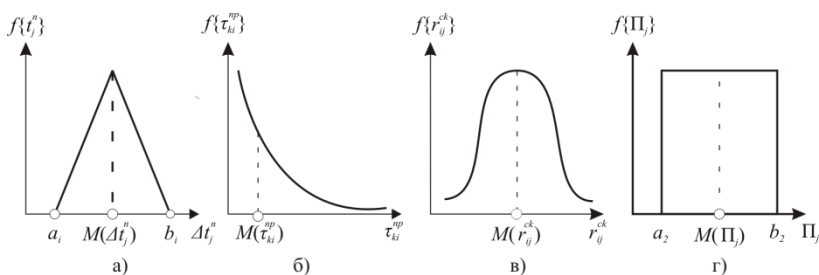


Рис. 8.1. Розподіл характеристик процесу складання: а – інтервалів між моментами надходження ведучого напівфабрикату; б – тривалості перевірки якості деталей; в – тривалості операції складання; г – вихідного параметра – маси виробу

Це дозволяє розрахувати за допомогою рівнянь ритм складання

$$\tau^T = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n M(\tau_{ij}^{cK}) + \sum_{i=1}^n M(\tau_{ij}^{\Gamma}) + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{n_{ki}} M(\tau_{ki}^{np}) \right],$$

кількість деталей, необхідна для складання за аналізований період,

$$n_{ki} = T/\tau^T,$$

граничні значення моменту складання i -ї операції

$$t_{ij}^* = t_j^n + 1,1 \left[M(\tau_{ij}^{\Gamma}) + \sum_{k=1}^{n_{ki}} M(\tau_{ki}^{np}) + M(\tau_{ij}^{cK}) \right]$$

і j -го вузла

$$t_j^* = t_j^n + 1,1 \sum_{i=1}^n \left[M(\tau_{ij}^{\Gamma}) + \sum_{k=1}^{n_{ki}} M(\tau_{ij}^{np}) + M(\tau_{ij}^{cK}) \right].$$

Далі в аналітичній формі записуються всі співвідношення, необхідні при моделюванні: момент закінчення операції складання t_{ij}^k і момент часу готовності складального агрегату до виконання наступної операції t_{ij}^{Γ} :

$$t_{ij}^k = t_{ij}^H + \tau_{ij}^{CK};$$

$$t_{ij}^{\Gamma} = t_{i-1,j}^k + \tau_{i-1,j}^{\Gamma}.$$

Виходячи з задач дослідження, установлюється час аналізу роботи системи: зміна, декада, місяць, рік.

Для побудови математичної моделі процесу складання установимо необхідні співвідношення між параметрами виробу до операції, і після її виконання. У загальному вигляді залежність має вид

$$P_j = f(\alpha_j, \alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{ik}, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m), \quad (8.10)$$

де $\alpha_j, \alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{ik}$ – параметри виробу; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ – параметри, які характеризують складальний агрегат.

У зв'язку з випадковим характером процесів, які протікають при складанні, рівняння (8.10) можна представити у вигляді

$$P_j = P_j^0 \pm \delta(P_j),$$

де $\delta(P_j)$ – випадкові відхилення величини P_j , від деякого не випадкового значення P_j^0 задані відповідними законами розподілу.

Однак представлені співвідношення не вичерпують математичного опису операції складання. До них необхідно додати залежності, які визначають режим функціонування складального агрегату в часі. Якщо операція складання синхронізована з так-

том випуску продукції, то її початок визначається наступним виразом

$$t^H = t_0 + (K + 1) \cdot \tau^T,$$

де t_0 – початок відліку; τ^T – тривалість ритму складання; K – числа 0, 1, 2,

На практиці існують процеси, що не мають жорсткого керування режимом виробничих циклів у часі. Операція в цьому випадку починається в будь-який момент часу, якщо агрегат готовий до роботи і до нього надійшов черговий напівфабрикат

$$t_{ij}^H = \begin{cases} t_{ij}^n, & \text{якщо } t_{i-1,j}^k + \tau_{i-1,j}^{\Gamma} \leq t_{ij}^n; \\ t_{i-1,j}^k + \tau_{i-1,j}^{\Gamma}, & \text{якщо } t_{i-1,j}^k + \tau_{i-1,j}^{\Gamma} > t_{ij}^n. \end{cases}$$

Будь-які можливі простої складального устаткування враховуються при визначенні τ^{Γ} .

Якщо операція складання почата при надходженні всіх напівфабрикатів на складання і готовності устаткування, то початок операції визначається за формулою

$$t_j^n \max\{t_j^n, t_1^n, t_2^n, ..., t_i^n, ..., t_n^n, t_{j-1}^k + \tau_{j-1}^{\Gamma}\}.$$

Операторна схема моделюючого алгоритму для складової операції складання має вигляд

$${}^8\Phi_1 P_{2\downarrow 21}^{2,18,20} P_{3\downarrow 9} \Phi_4 K_5 K_6 F_7 F_8^{13} F_9^{9,14} P_{10}^{\uparrow 12\ 10,17} \\ K_{11}^{19\ 10} K_{12} \Phi_{13} P_{14}^{\uparrow 10} \Phi_{15} A_{16} P_{17\downarrow 11} K_{18}^3 {}^{11}F_{19} K_{20}^3 {}^2A_{21} \mathcal{Y}_{22}.$$

Функції операторів, що використовуються наступні: Φ_1 – формування випадкової події t_n^j – момент надходження на складання ведучого напівфабрикату; P_2 – перевірка умови $t_j^n < T$; P_3 – перевірка логічної умови $i > n$, що визначає приєднання усіх деталей до ведучого напівфабрикату; Φ_4 – формування вихідної ознаки якості готового виробу Π_j або параметрів складальної одиниці на виході складального агрегату у випадку зриву операції; K_5 – лічильник числа виробів, що пройшли складання, реалізує операцію $N + 1$; K_6 – лічильник номерів ведучих напівфабрикатів ($j + 1$); F_7 – формування початку складання $i = 1$; F_8 – перехід до нової складальної одиниці; F_9 – встановлення тривалості підготовки обладнання до виконання чергової операції складання τ_{ij}^F ; P_{10} – перевірка умови $n_{ki} > 0$, де n_{ki} – кількість деталей i -го типу, які є в складальному агрегаті; K_{11} – лічильник числа зривів складової операції складання; K_{12} – лічильник деталей i -го типу, що залишилися в складальному агрегаті після виконання наступної операції складання, Φ_{13} – формування випадкового значення тривалості часу перевірки за відомим законом розподілу $f(\tau^{np})$; P_{14} – перевірка придатності деталі за умови $\xi P < \tau_i^{\bar{op}}$, де ξ – випадкову число з рівноімовірнісним розподілом в інтервалі $[0, 1]$; Φ_{15} – формування тривалості операції складання за відомим законом $f(\tau^{ck})$; A_{16} – визначення моменту t_{ij}^k закінчення i -ї операції складання з урахуванням часу перевірки якості τ_{ij}^{np} ; P_{17} – перевірка умови $t_{ij}^k < t_{ij}^*$; K_{18} – лічильник чис-

ла складальних операцій ($i + 1$); F_{19} – імітація закінчення складальної операції складання ($i = n + 1$); K_{20} – лічильник готових виробів (реалізує операцію $N - 1$, віднімає браковані вироби); A_{21} – обробка результатів моделювання; Y_{22} – видача результатів.

8.4 Технологічне оснащення у виробництві ЗА

8.4.1 Основні теоретичні відомості

Точностні вимоги до складальних верстатів. Одним з центральних питань при використанні складального устаткування є складання виробів у точній відповідності з ТУ, конструкторською документацією та іншими нормативними документами.

Для складальних верстатів, на відміну від металорізальних, кінцевим результатом є складальна одиниця, що збирається з певної кількості деталей, розміри яких коливаються в межах допусків. Таким чином, для складальних верстатів-автоматів можна сформулювати дві основних вимоги: висока стабільність процесу автоматичного складання і точність виконання складальних операцій.

У загальному випадку стійкість процесу автоматичного складання є технологічною оцінкою ходу процесу. Під стабільністю автоматичного складання розуміють постійність у часі параметрів розподілу досліджуваної ознаки якості. Стабільний процес є стійким. Однак стійкий процес може бути нестабільним.

Стабільність і можливість автоматичного складання може визначатися сумарною похибкою відносної орієнтації збираних деталей перед їхнім сполученням, яка залежить від конструкції

складального верстата-автомата, і точністю виконання окремих вузлів і деталей, що надходять на складання.

Для нормального протікання автоматичного складання необхідно, щоб сумарна похибка відносної орієнтації деталей перед їхнім сполученням не перевищувала припустимих значень. Цю умову можна виразити у вигляді

$$\Delta_{\Sigma_{\max}} \leq |\Delta_R|,$$

де $\Delta_{\Sigma_{\max}}$ – максимальне значення сумарної похибки відносної орієнтації збираних деталей; Δ_R – величина, обумовлена видом з'єднання і групою посадки.

Припустима похибка відносної орієнтації збираних деталей визначається видом сполучення і точністю виготовлення сполучуваних поверхонь. Точність виконання складальної операції визначається похибкою взаємного розташування деталей у вузлі, що збирається.

Сумарну похибку відносної орієнтації деталей на позиції складання для будь-якого складального автомата можна представити функцією

$$\Delta_{\Sigma} = f(\Delta'_{\Sigma}, \Delta_{\delta}, \Delta_{CG}),$$

де Δ_{Σ} – сумарна похибка відносної орієнтації деталей на позиції складання; Δ'_{Σ} – сумарна похибка відносного розташування складального пристосування і складальної головки; Δ_{δ} – похибка базування деталей на позиції складання; Δ_{CG} – похибка розташування робочих частин складальної головки чи прис-

тосування.

Сумарна похибка відносного розташування складального пристосування і складальної головки безпосередньо залежить від конструкції верстата і визначається обраною схемою автоматичного складання. Отже, при розгляді похибки Δ'_Σ виходять з конструкції складального верстата.

Похибка базування деталей на позиції складання Δ_δ обумовлюється обраною схемою базування. При виборі останньої потрібно виходити з того, що коливання розмірів деталі в межах допуску незначно відбивається на її положенні. Похибка базування має випадковий характер.

Похибка виготовлення складальної головки (розташування її робочих частин) Δ_{CG} являє собою похибку відносного розташування робочих частин пристрою, з яких здійснюється видача деталей, що приєднуються до базової деталі. Ця похибка має місце у випадках, коли виконується паралельне чи послідовно-паралельне приєднання до базової деталі.

Продуктивність АТУ з ЧПК. Робота будь-якого технологічного автомата характеризується періодичним повторенням основних (робочих) і допоміжних (холостих) дій у заданій послідовності, тобто повторенням робочого циклу. Відповідно до основних положень теорії продуктивності, продуктивним є тільки той час, що витрачається на безпосередню технологічну дію, тобто час робочих ходів. Інший час з погляду цієї теорії є загубленим, будь то холості ходи робочого циклу чи позациклові втрати (простої) з технічних чи організаційних причин.

Період робочого циклу є важливим параметром, що визначає циклову продуктивність устаткування. Циклова продуктивність Q_u технологічного автомата визначається кількістю про-

дукції, яку виготовлено на ньому за одиницю часу

$$Q_u = 1/T_u = 1/(t_p + t_x),$$

де t_p – час основних (робочих) ходів з формоутворення, складання, монтажу, зварювання, паяння, очищення та ін.; t_x – час допоміжних (холостих) ходів (подача заготовки чи деталі в робочу зону, переміщення виробу з однієї позиції на іншу, відведення і підведення інструмента, вмикання і вимикання устаткування та ін.).

Циклова продуктивність залежить від таких факторів, як складність виробу, спосіб і режими його виготовлення, ступінь суміщення операцій, швидкість допоміжних рухів і конструктивні особливості їхніх механізмів.

Для автоматів різного технологічного призначення складові t_p і t_x , що входять у циклову продуктивність, будуть визначатися по-різному в залежності від структури автомата, типу привода та ін.

Наприклад, у складальних автоматах при складанні ДП можна виділити наступні елементи циклу: переміщення ДП у задану позицію $t_{ДП}$, пошук потрібного компонента t_k , доставка його в зону дії робочої головки $t_{ок.}$, захоплення компонента робочою головкою й установка в монтажні отвори t_y , обрізка та гнуття виводів компонента з протилежного боку плати t_{np} .

Усі ці елементи циклу, як правило, виконуються послідовно, і тоді

$$Q_u = (t_{дп} + t_{\kappa} + t_{\partial\kappa} + t_y + t_{np})^{-1}.$$

Якщо деякі дії сполучаються (наприклад, пошук компонента та його доставка в зону дії робочої головки можуть бути суміщені з переміщенням плати в задану позицію), тоді

$$Q_u = (t_{дп} + t_y + t_{np})^{-1}.$$

Технологічну продуктивність автомата можна визначити за співвідношенням

$$Q_T = 1/t_p.$$

В автоматах безперервної дії (при $t_x = 0$), коли час холостих ходів відсутній, циклова продуктивність дорівнює технологічній, тобто

$$Q_u = Q_T, \text{ якщо } t_x = 0.$$

Однак циклова продуктивність не є вичерпною характеристикою продуктивності технологічних автоматів. Так, продуктивність протягом тривалого часу, наприклад зміни, залежить ще від позациклових утрат, тобто має місце так звана фактична продуктивність.

Фактична продуктивність визначається у відповідності з

формулою

$$Q_{\phi} = (t_p + t_x + \sum_i^n t_{ni})^{-1},$$

де $\sum_i^n t_{ni}$ – позациклові втрати.

За функціональними ознаками всі позациклові втрати (простої) технологічних автоматів можна поділити на п'ять видів:

- простої по інструменту. У ці простої входить час, що простоє устаткування через непрацездатність інструментів: отримання інструмента, установка його в робочу головку, зміна, регулювання та підналагодження;

- простої по устаткуванню. Устаткування простоє через поломки окремих механізмів, відмови в роботі, розрегулювання, забруднення і т. ін. Час простоїв по устаткуванню включає час на ремонт і регулювання механізмів, заміни зношених деталей і вузлів, очікування наладчика.

- простої з організаційних причин. Вони виникають у тих випадках, коли устаткування працездатне, але відсутні зовнішні умови для його нормальної експлуатації: відсутні заготовка, деталі, компоненти, електроенергія, мають місце порушення персоналом, який обслуговує, трудової дисципліни (несвоєчасний початок роботи, передчасне її закінчення і несанкціоноване залишення робочого місця), прибирання верстатів;

- простої через брак. Коли інструмент і механізми працездатні, є заготовка, деталі і т. ін., але результат роботи не відповідає вимогам якості. Тому, хоча устаткування і працює, але придатної продукції немає, і час, витрачений на випуск бракова-

ної продукції, повинний бути віднесений до простоїв;

- простої, пов'язані з переналагодженням устаткування на випуск нових виробів. Час, пов'язаний із заміною програмно-носіїв, технологічного оснащення, затискних пристроїв.

Усі простої можна розділити на власні й організаційно-технічні. Власні простої функціонально пов'язані з режимом роботи устаткування. Їхній рівень визначається конструктивною досконалістю устаткування, його надійністю в роботі, кваліфікацією робітників. До цього виду відносять простої по інструменту й устаткуванню, простої, пов'язані з прибиранням верстата, налагоджувальний брак. Організаційно-технічні простої обумовлені зовнішніми причинами (відсутність заготовок, деталей, переналагодження, брак у попередніх операціях, порушення персоналом, який обслуговує, трудової дисципліни).

Чим частіше виникають простої і більша їхня тривалість, тим нижче фактична продуктивність технологічного устаткування.

Надійність АТУ. Відповідно до загальних положень теорії надійності, остання являє собою властивість об'єкта виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах, які відповідають заданим режимам і умовам використання. Під об'єктами в теорії надійності розуміють будь-які системи чи елементи, що мають певне функціональне призначення. У нашому випадку під об'єктом будемо розуміти технологічне устаткування (автомат, напівавтомат, автоматична лінія, гнучкий виробничий модуль і т. ін.).

Для технологічного устаткування заданою функцією є випуск продукції необхідної якості в необхідній кількості. Надійність АТУ – це, насамперед, його здатність до безперебійного випуску придатної продукції в розмірах, обумовлених заданою виробничою програмою протягом усього строку служби.

Чим нижче надійність АТУ, тим вище втрати продуктивності і тим більшою є різниця між фактичною і цикловою продуктивністю. Таким чином, надійність АТУ характеризує ступінь підвищення продуктивності і реалізації потенційних можливостей, закладених у технологічних процесах АТУ.

Надійність АТУ обумовлюється його безвідмовністю, ремонтпридатністю, довговічністю. Будь-який об'єкт (устаткування) може знаходитися в одному з двох станів: працездатному і непрацездатному. Працездатним називається такий стан АТУ, в якому воно здатне виконувати задані функції – випуск придатної продукції, що відповідає ТУ. Подія, що полягає в порушенні працездатності (переході АТУ з працездатного стану в непрацездатне унаслідок виникнення неполадок), називається відмовою.

Виникнення відмов, їхнє виявлення, усунення і попередження – це випадкові процеси, що відбуваються в часі. Тому всі кількісні показники надійності мають імовірнісний характер. Показники надійності можна розділити на дві групи: часткові показники, що оцінюють тільки один якісний бік надійності, наприклад, тільки безвідмовність чи тільки ремонтпридатність; і узагальнені (комплексні) показники, що оцінюють, наприклад, і безвідмовність і ремонтпридатність.

Безвідмовність є властивістю АТУ зберігати працездатність протягом деякого часу чи деякого напруцювання.

Як показує практика, тривалість безвідмовної роботи АТУ t від увімкнення до відмови є величиною випадковою, яка змінюється в дуже широких межах навіть при стабільних умовах експлуатації.

При стаціонарних умовах експлуатації щільність імовірності безвідмовної роботи звичайно описується експонентним розподілом

$$f(t) = \frac{1}{m_{cp}} \cdot e^{-\frac{t}{m_{cp}}},$$

де m_{cp} – середній час безвідмовної роботи АТУ, год.; t – тривалість безвідмовної роботи АТУ, год.

Важливим показником безвідмовності є імовірність P , що АТУ буде працювати без відмов на протязі часу t після ввімкнення.

Функціональна залежність імовірності безвідмовної роботи P протягом часу t після пуску від тривалості часу t називається функцією надійності і позначається $P(t)$. Математичний вираз, найбільш повно апроксимуючий статистичну функцію надійності, має вигляд

$$P(t) = e^{-\int_0^t \omega(t) dt},$$

де $\omega(t)$ – параметр потоку відмов, у загальному випадку також є величиною, що залежить від часу.

Параметр потоку відмов $\omega(t)$ є показником безвідмовності, характеризуючи частоту відмов при експлуатації АТУ. Він чисельно дорівнює середньому математичному сподіванню кількості відмов за одиницю часу. Якщо час t виражений у робочих циклах, величина $\omega(t)$ означає імовірність виникнення відмови при кожному спрацьовуванні механізму, пристрою чи АТУ в цілому.

Величина, зворотна параметру потоку відмов, являє собою середній час безвідмовної роботи, чи середнє напрацювання на відмову

$$m_{cp} = 1/\omega.$$

Припустимо, що $\omega = const$, тобто параметр потоку відмов є величиною умовно постійною для деякого інтервалу тривалості експлуатації АТУ. Тоді математичний вираз функції надійності можна записати у вигляді

$$P(t)e^{-\omega t} = e^{-t/m_{cp}}.$$

Показники надійності $P(t)$, ω , m_{cp} в однаковій мірі дозволяють оцінити як надійність спрацьовування, так і технологічну (точносну) надійність. Так, для надійності спрацьовування величина $P_1(t)$ означає імовірність того, що в АТУ на протязі часу t не виникає ніяких поломок, перекосів, згоряння й інших несправностей механізмів, пристроїв, інструмента та ін. Для технологічної надійності величина $P_2(t)$ означає імовірність того, що за час t після розмірного підналагодження чи заміни інструмента не з'явиться жодного бракованого виробу і не буде потрібне нове розмірне підналагодження чи заміни інструмента.

Аналогічно величина m_{cp} для надійності спрацьовування означає середню кількість циклів між двома неспрацьовуваннями механізму, а для технологічної надійності – середню кількість придатних деталей між двома бракованими чи середню

кількість робочих циклів між двома розмірними підналагодженнями.

Комплексними показниками надійності АТУ є: власні позациклові втрати $\sum t_n$ і коефіцієнт технічного використання η_{tex} , які одночасно є і важливими параметрами теорії продуктивності.

Власні позациклові втрати характеризують і безвідмовність, і ремонтпридатність

$$\sum t_n = \omega \theta_{cp} / T = \theta_{cp} / (m_{cp} \cdot T),$$

де ω – параметр потоку відмов; θ_{cp} – середній час виявлення й усунення відмов, год.; T – тривалість робочого циклу, год.

Коефіцієнт технічного використання визначають за співвідношенням

$$\eta_{tex} = \frac{1}{1 + (\sum t_n / T)} = \frac{1}{1 + (\theta_{cp} / m_{cp})} = \frac{1}{1 + \omega_{\theta} \theta_{cp}},$$

де $\sum t_n$ – власні позациклові втрати, год.; ω_{θ} – імовірність відмови АТУ при кожному робочому циклі, 1/цикл.

Таким чином, коефіцієнт технічного використання є показником надійності, характеризуючи і безвідмовність, і ремонтпридатність АТУ в конкретні періоди його експлуатації.

Запитання для самоперевірки

1. У чому полягають конструктивно-технологічні особливості загального складання засобів автоматизації?
2. Від чого залежить точність позиціювання?
3. У чому суть вибіркового методу, який використовується у математичній статистиці?
4. Як класифікуються вибірки за величиною?
5. Що таке статистичний ряд, гістограма і полігон?
6. Які критерії погодження Ви знаєте?
7. Що таке точнісна діаграма, як вона будується?
8. Якими методами і як здійснюється статистична перевірка гіпотез про закон розподілу?
9. Наведіть основні положення автоматизації виробництва.
10. Які існують стратегії автоматизації виробництва?
11. Які основні передумови автоматизації виробництва?
12. Опишіть основні рівні автоматизації виробництва?
13. У чому полягають особливості автоматизованого устаткування?

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Муляр Ю.І. Теорія автоматичного керування технологічними системами. Навчальний посібник / Ю.І. Муляр. – Вінниця : ВНТУ, 2005. – 99 с.
2. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія інформаційного забезпечення в технологічних системах» для студентів спеціальності 8.05020201 – Автоматизоване управління технологічними процесами / Упоряд. І.Ш. Невлюдов, Н.П. Демська. – Харків : ХНУРЕ, 2015. – 100 с.
3. Бобух А.О. Автоматизовані системи керування технологічними процесами: Навч. посібник / А.О. Бобух. – Харків : ХНАМГ, 2006. – 185 с.
4. Балюбаш В.А. Средства автоматизации и управления. Ч.1: Учеб.-метод. пособие / В.А. Балюбаш, В.А. Добряков, В.В. Назарова. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. 72 с.
5. Дудник І.М. Вступ до загальної теорії систем: Навчальний посібник. - Полтава: 2010. - 129с.
6. Макурін М.С. Технологічні системи у виробництві ЕОЗ: Навчальний посібник. – К.: ІСДО, 1993. – 140 с. Рос. мовою
7. Надійність техніки. Системи технологічні. Терміни та визначення: ДСТУ 2470-94. - К. :Держстандарт України, 1995. – 28 с.
8. Винер Н. Кибернетика / Винер Н. – М., 1958. – 326 с.

9. Гурин В.А., Востріков В.П., Кузьмич Л.В. Основы промышленных технологий і матеріалознавства: навч. посібник.– Рівне: НУВГП, 2019.–310 с.

10. Невлюдов І.Ш., Андрусевич А.О., Євсєєв В.В., Мілютіна С.С. Основы САПР: технічна підготовка виробництва: Навчальний посібник/ І.Ш. Невлюдов. - Київ: НАУ, 2014. – 360 с.

11. Муленко В.В. Компьютерные технологии и автоматизированные системы в машиностроении: Учебное пособие / В.В. Муленко.– Спб.: Москва, 2015. – 73 с.

12. Технології інформаційно-пошукових систем: Навч. посібник / Невлюдов І.Ш., Андрусевич А.А., Сотник С.В., Фролов А.В. – Київ: НАУ, 2015. – 156 с.

13. Умное производство в электронной промышленности. Полностью цифровая стратегия, объединяющая проектирование печатных плат и механических узлов / Siemens PLM Software 2019 Mentor Graphics Corporation. Режим доступа: [URL://https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/ourstory/newsroom/siemens-press-release/43852](https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/ourstory/newsroom/siemens-press-release/43852).

14. D. Kwon, M. R. Hodkiewicz; J. Fan, T. Shibutani, and M. G. Pecht, “IoT-based prognostics and systems health management for industrial applications,” IEEE, vol.4, pp. 2169-3536, July. 2016. DOI:10.1109/acess.20162587754

15. H. Kagermann, W. Wahlster, and J. Helbig, “Recommendations for implementing the strategic initiative Індустрія 4.0,” Plattform Industrie 4.0 Frankfurt: Heilmeyerundsernaу, 2013.

16. I. Lee and K. Lee, “The internet of things (IoT): applications, investments, and challenges for enterprises,” Business Horizons, vol. 58, n.4, pp. 431-440, Ago. 2015.

17. J. Lee, B. Bagheri, and H. A. Kao, "A cyber-physical systems architecture for Індустрія 4.0 – based manufacturing systems," *Manufacturing Letters*. v. 3, pp. 18-23, Jan. 2015.

18. J. Lee, B. Bagheri, and H. A. Kao, "Recent advances and trends of cyber-physical systems and big data analytics in industrial informatics," *Proceeding of Int. Conference on Industrial Informatics*. Cincinnati, 2014.

19. J. H. Ang, C. Goh, and Y. LI, "Smart design for ships in a smart product through-life and Industry 4.0 environment," 2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), pp: 5301-5308, 2016.

20. A. Astarloa, U. Bidart, J. Jimenez, A. Zuloaga, and J. Lazaro, "Intelligent gateway for Industry 4.0-compliant production," *IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, pp: 4902 – 4907, 2016.

21. J. Wan, M. Yi, D. Li, C. Zhang, S. Wang, and K. Zhou, "Mobile Services for Customization Manufacturing Systems: An Example of Індустрія 4.0," *IEEE Journals & Magazines*, vol. 4, pp. 8977-8986, 2016.

22. M. Zarte, A. Pechmann, J. Wermann, F. Gosewehr, and A. W. Colombo, "Building an Індустрія 4.0-compliant lab environment to demonstrate connectivity between shop floor and IT levels of an enterprise," *Industrial Electronics Society. IECON 2016, 42nd Annual Conference of the IEEE*, pp. 23-26, Oct. 2016.

23. K. Schwab, "The Fourth Industrial Revolution," 1st Edition, World Economic Forum, Crown Busines: New York. ISBN: 9781524758869, 2016

24. M. Wollschlaeger, T. Sauter, and J. Jasperneit, "The Future of Industrial Communication: Automation Networks in the Era of the Internet of Things and Індустрія 4.0," IEEE Industrial Electronics Magazine, vol. 11, pp. 17-27, 2016.

25. J. Wan, S. Tang, Z. Shu, D. Li, S. Wang, M. Imran, and A. V. Vasilakos, "Software-Defined Industrial Internet of Things in the Context of Industry 4.0," IEEE Sensors Journal, vol. 16, no. 20, pp. 7373-7380, 2016.

26. T. Y., Chen, Y. M. Yang, D. L. Chen, and Y. C., "New Method for Індустрія 4.0 Machine Status Prediction - A Case Study with the Machine of a Spring Factory," 2016 International Computer Symposium (ICS), pp. 322-326, 2016.

27. J. Bohuslava, J. Martin, H. Igor, "TCP/IP Protocol Utilization in Process of Dynamic Control of Robotic Cell According Індустрія 4.0 Concept," 2017 IEEE 15th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII), pp. 217-222, 2017.

28. M. Baygin, H. Yetis, M. Karakose, and E. Akin, "An Effect Analysis of Industry 4.0 to Higher Education," 2016 15th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET), pp. 1-4, 2016.

29. Юрчак О. «Залізничне постачання» №2 Квітень 2019.
Режим доступу: <http://internetinside.ru/internet-veshhey-setevaya-arkhitektura-i/>

30. Addington, D. M., & Schodek, D. (2005). *Smart material and new technologies: for the architechture and design profession* . Elsevier.

31. Madlmayr, G., Langer, J., Josef, S., & Kantner, C. (2008, April). NFC Devices: Security and Privacy. IEEE Computer Society
32. Bughin J, Chui M, Manyika J., An executive's guide to the Internet of Things, McKinsey&Company, 2015 mckinsey.com/Insights/Business_Technology/An_executives_guide_to_the_Internet_of_Things?cid=digital-eml-alt-mip-mck-oth-1508
33. Lee J, Bagheri B, Kao H-A., A Cyber Physical Systems Architecture for Індустрія 4.0-based Manufacturing System, Manuf Lett 2015;3:18–23. doi:10.1016/j.mfglet.2014.12.001.
34. Stock, T.; Obenaus, M.; Kunz, S.; Kohl, H. Індустрія 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential. Process Safety Environ. Prot. 2018, 118, 254–267. [CrossRef]
35. Esmaeilian, B.; Behdad, S.; Wang, B. The evolution and future of manufacturing: A review. J. Manuf. Syst. 2016, 39, 79–100. [CrossRef]
36. Zheng, P.; Wang, H.; Sang, Z.; Zhong, R.Y.; Liu, Y.; Liu, C.; Mubarak, K.; Yu, S.; Xu, X. Smart manufacturing systems for Індустрія 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. Front. Mech. Eng. 2018, 137–150. [CrossRef]
37. Strozzi, F.; Colicchia, C.; Creazza, A.; Noè, C. Literature review on the 'Smart Factory' concept using bibliometric tools. Int. J. Prod. Res. 2017, 55, 6572–6591. [CrossRef]
38. Шорина А.А., Стефанова Н.А. Инновации, меняющие будущее // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2015. – № 9-1. – С. 78-80.

39. Салмин А.А. Анализ интернет-технологий современной электронной торговли // Теоретические и прикладные вопросы науки и образования: Сборник по материалам конференции. В 16 ч. Ч. 2. – Тамбов: Консалтинговая компания «Юком», 2015. – 164 с. – С. 138-139.

40. Enabling Connectivity of Cyber-Physical Production Systems: A Conceptual Framework Rafael / A. Rojasa, Erwin Raucha, Renato Vidonia, Dominik T. Matta, Procedia Manufacturing 11 (2017) 822 – 829 // 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2017, 27-30 June 2017, Modena, Italy.

41. Reischauer, G. Индустрия 4.0 as policy-driven discourse to institutionalize innovation systems in manufacturing. Technol. Forecast. Soc. Change 2018, 132, 26–33. [CrossRef]

42. Превисокова Н.В. Інтегровані системи управління. Конспект лекцій. – Івано-Франківськ: 2013. – 61 с.

43. Невлюдов І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації: Підручник. – Кривий Ріг: КК НАУ, 2017. – 444 с.

44. Введение в специальность «Мехатроника и робототехника»: курс лекций / Б. М. Готлиб, А. А. Вакалюк. – Екатеринбург : УрГУПС, 2012. – 134

45. Ступина Е.Е., Ступин А.А., Чупин Д.Ю., Каменев Р.В. Основы робототехники: учебное пособие. – Новосибирск: Агентство «Сибпринт», 2019. – 160 с.

46. Невлюдов І.Ш. Автоматичне управління технологічними об'єктами / І.Ш. Невлюдов, О.В. Токарева. – Київ: НАУ, 2018. – 200 с.

47. Системы оцувствления и адаптивныe промышленные роботы. Под общ. ред. Е.П.Попова, В.В.Клюева. М.: Машиностроение, 1985. – 256с.

48. В.Л., Интеллектуальные робототехнические и мехатронные системы : учеб. пособие / под ред. В.И. Сырымкина. – Томск, 2017. – 256 с.

49. Роботехника и гибкие автоматизированные производства. Кн.8. Основы построения автоматизированного проектирования гибких производств/ Под ред. И.М. Макарова. – М.: Высшая школа, 2006 – 176 с.

50. Роботизовані технологічні комплекси /Г. І. Костюк, О. О. Баранов, І. Г. Левченко, В. А. Фадєєв - Учеб. Посібник. - Харків. Нац. аерокосмічний університет В«ХАІВ», 2003. - 214с.

51. Максимычев О.И. М171 Программирование логических контроллеров (PLC): учеб. пособие / О.И. Максимычев, А.В. Либенко, В.А. Виноградов. – М.: МАДИ, 2016. – 188 с.

52. Невлюдов І.Ш. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень: Підручник / І.Ш. Невлюдов. – Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ, 2019. – 448 с.

53. Невлюдов І.Ш. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. – Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ, 2019. – 366 с.

54. Невлюдов І.Ш. Людино-машинний інтерфейс в технічних засобах автоматизації: Навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, О.І. Филипенко, Б.О. Шостак. – Харків : «ХТМТ», 2019. – 244 с.

НОТАТКИ

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

ПІДРУЧНИК ДЛЯ СТУДЕНТІВ
ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Невлюдов І. Ш.

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Підручник для студентів
закладів вищої освіти
Частина 1

*Рекомендовано Вченою радою
Харківського національного університету радіоелектроніки
(протокол №9 від 30 жовтня 2020 року)*

Комп'ютерна верстка Ляшова Н.К.

Підп. до друку 26.05.2021 р Формат 60х84 1/16.
Папір офсет. Гарнітура Таймс 37,8 Умов.друк.арк.
27,6 Умов.вид.арк. Тираж 300 прим.Зам № 18.

Видано на замовлення ХНУРЕ

Видавець: ФОП Панов А.М.
Свідоцтво серії ДК№4847 від 06.02.2015р.
м.Харків, вул. Жон Мироносиць,10, оф.6,
тел.+38(067)714-06-74,+38(050)976-32-87
copy@vlavke.com

Виготовлювач – Видавництво «Константа»
Україна, м. Харків, вул. Космічна,26
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №376 від 22.01.2001