

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 2

І. Ш. Невлюдов

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

Частина 2

ПІДРУЧНИК ДЛЯ ЗДОБУВАЧІВ
ВИЩОЇ ОСВІТИ
галузей знань «Автоматизація та приладобудування»,
«Електроніка та телекомунікації»

Видавець Чернявський Д.О.
м. Кривий Ріг
2022

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
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).*

Н40 Невлюдов І.Ш.
Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва технічних засобів автоматизації. Частина 2: Підручник
Кривий Ріг: видавець Чернявський Д.О., 2022 – 424 с.з іл.
ISBN 978-617-8045-44-9

Підручник присвячено автоматизації виробництва ТЗА, визначено шляхи вирішення конкретних задач, зокрема, наведено особливості розробки керуючих технологічних програм для автоматизованого технологічного обладнання, розглянуто передумови організації гнучких автоматизованих ліній і ділянок. Наведено схеми використання роботів і робототехнічних систем, а також представлено ієрархію рівнів планування інтегрованих виробничих систем ті керування ними, а також наведено метод оцінки економічної ефективності гнучких виробничих систем. Розглянуто теоретичні й організаційні основи регульованих і контрольних-випробувальних процесів, включаючи організацію робочих місць. Викладено основи організації складально-монтажних робіт, а також детально описано технології виготовлення електромонтажних з'єднань, виконаних паянням, зварюванням і накручуванням. Розглянуто тенденції розвитку цих технологій, наведено сучасні матеріали та обладнання для виконання операції паяння електронних компонентів на друковані плати, зокрема проаналізовано особливості використання паяльних паст для компонентів поверхневого монтажу, а також актуальність переходу до безсвинцевих технологій. Розглянуто принципи раціонального поєднання гнучкості та продуктивності робототехнічних комплексів, а також наведено метод оцінки економічної ефективності гнучких виробничих систем. 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 001.8

ISBN 978-617-8045-44-9

©І.Ш. Невлюдов
© Харківський національний
університет радіоелектроніки, 2022
© Видавець Д.О. Чернявський

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	5
ПЕРЕДМОВА.....	7
1 ОСНОВИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ВИРОБНИЦТВІ ЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ.....	11
1.1 Основні поняття та визначення.....	11
1.2 Стратегія автоматизації виробництва.....	16
1.3 Основні передумови автоматизації.....	18
1.4 Тенденції розвитку засобів автоматизації серійного та масового виробництва.....	20
1.5 Рівні автоматизації виробництва.....	24
1.6 Автоматизовані технологічні засоби у виробництві ТЗА.....	31
1.7 Автоматизоване технологічне устаткування та промислові роботи... ..	46
1.8 Автоматичні лінії та роботизовані технологічні комплекси.....	77
1.9 Гнучка автоматизація виробництва.....	97
1.10 Економічна ефективність ГВС.....	111
1.11 Принципи раціонального поєднання гнучкості та продуктивності РТК.....	123
Запитання для самоперевірки	128
2 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ ДЛЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	129
2.1 Друковані плати як основні комутаційні засоби для технічних засобів автоматизації.....	129
2.2 Основні характеристики друкованих плат.....	134
2.3 Класифікація друкованих плат.....	137
2.4 Конструкторські вимоги та характеристики ДП.....	140
2.5 Електричні та технологічні вимоги до ДП.....	147
2.6 Матеріали для виготовлення друкованих плат.....	154
2.7 Матеріали для виготовлення ГДП, ГДК і ГЖДП.....	163
2.8 Основні технологічні методи виготовлення ДП.....	173
Запитання для самоперевірки.....	180
3 ФІЗИКО-ХІМІЧНІ Й ОРГАНІЗАЦІЙНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ СКЛАДАЛЬНО-МОНТАЖНИХ РОБІТ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	181
3.1 Організаційні основи складання.....	181
3.2 Варіанти та технологія встановлення навісних елементів на друковані плати.....	187
3.3 Схеми позиціонування компонентів при автоматичному складанні та монтажі.....	201
3.4 Способи та технологія кріплення елементів на друкованій платі.....	207
3.5 Методи та технології електричних з'єднань у технічних засобах автоматизації.....	210
3.6 Фізико-хімічні основи отримання електричних з'єднань за допомогою паяння.....	212

3.7 Технологічні матеріали для виконання монтажного паяння.....	221
3.8 Способи та технологія монтажного паяння ЕК на ДП.....	235
3.9 Автоматизовані методи паяння ЕК на ДП.....	244
3.10 Технологія поверхневого монтажу.....	258
3.11 Технології нанесення паяльних паст.....	261
3.12 Способи та технології монтажного зварювання.....	283
3.13 Монтаж способом накручування.....	297
3.14 Особливості побудови та дослідження просторово-часової структури складання та монтажу технічних засобів автоматизації.....	314
3.15 Організація потокових ліній складання технічних засобів автоматизації.....	325
3.16 Особливості проектування технологічних процесів складання в автоматизованому виробництві.....	332
Запитання для самоперевірки.....	341
4 ОСНОВИ РЕГУЛЬОВАНИХ І КОНТРОЛЬНО-ВИПРОБУВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА ТЗА.....	343
4.1 Умови, що визначають необхідність введення в електричну схему (конструкцію) регульовальних елементів.....	343
4.2 Процеси регулювання та налаштування технічних засобів автоматизації.....	351
4.3 Умови, що визначають необхідність контролю у процесі виробництва технічних засобів автоматизації.....	363
4.4 Автоматизація регулювання електронних засобів.....	366
4.5 Технічний контроль засобів автоматизації.....	384
4.6 Технологія контролю.....	388
4.7 Випробування технічних засобів автоматизації.....	408
Запитання для самоперевірки.....	420
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	422

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АБ – автоматизований банк даних
АВК – автоматизований вимірювальний комплекс
АРМ – автоматизоване робоче місце
АСКВ – автоматизована система керування виробництвом
АСМТЗ – автоматизована система матеріально-технічного забезпечення
АСНД – автоматизована система наукових досліджень
АСТПВ – автоматизована система технологічної підготовки виробництва
АТЗ – автоматизовані технологічні засоби
АТСС – автоматизована транспортно-складська система
БД – база даних
БОП – бункерно-орієнтуючі пристрої
БКП – багатошарова комутаційна плата
БПП – багатозондовий підмикальний пристрій
БШДП – багатошарова друкована плата
ВО – виробниче об'єднання
ГАВ – гнучке автоматизоване виробництво
ГВМ – гнучкий виробничий модуль
ГВС – гнучка виробнича система
ГЖДП – гнучко-жорсткі друковані плати
ГДП – гнучка друкована плата
ГДК – гнучкий друкований кабель
ГІВ – гнучке інтегроване виробництво
ГФ – гетинакс фольгований
НДІ – науково-дослідний інститут
ДДП – двостороння друкована плата
ДП – друкована плата
ЕК – електронні компоненти
ІС – інтегральна схема
КМО – компоненти, що монтуються в отвори
КМП – компоненти, що монтуються на поверхню
НТД – нормативно-технічні документи
НВО – науково-виробниче об'єднання
НЧП – науково чиста продукція
ОДП – одностороння друкована плата

ПАЗ – пристрої автоматизованого завантаження
ПМ – поверхневий монтаж
ПН – плаский нагрівач
ПР – промисловий робот
ПФ – парова фаза
РТК – робототехнічний комплекс
САПР – система автоматизованого проектування
СКТБ – спеціальне конструкторсько-технологічне бюро
СФ – склотекстоліт фольгований
ТЗА – технічні засоби автоматизації
ТМО – технології монтажу в отвори
ТМП – технології монтажу на поверхню
ТО – технологічне обладнання
ТП – технологічний процес
ТПМ – технології поверхневого монтажу
ТС – технологічна система
ЧПК – числове програмне керування

ПЕРЕДМОВА

Конкурентоспроможність сучасних приладобудівних підприємств суттєво залежить від темпів впровадження на них наукомістких інтелектуальних, цифрових і мережевих технологій. Їх використання дозволить як значно збільшити продуктивність і надійність технологічних систем, так і підвищити якість виготовленої продукції. Основною тенденцією розвитку цього напрямку є удосконалення виробничих систем за концепціями «Індустрії 4.0» та «розумного виробництва», які базуються на використанні хмарних технологій і кібер-фізичних систем для керування усіма процесами життєвого циклу виробів у режимі реального часу.

Нижнім рівнем таких інтелектуальних виробничих систем є технічні засоби автоматизації (ТЗА), призначені для виконання широкого кола завдань зі збору інформації про хід технологічних процесів (ТП), а також реалізації зворотних зав'язків у автоматизованих системах керування ТП за рахунок регулювання технологічних режимів, параметрів виконавчих механізмів тощо. Для виконання притаманних функцій ТЗА мають відповідати вимогам точності, надійності, економічності. Перелічені параметри забезпечуються високим рівнем технології та організації виробництва.

Виробництво ТЗА є складним багатоопераційним процесом, у якому застосовуються новітні розробки у сфері науки та техніки: досягнення у галузях матеріалознавства, мікроелектроніки, автоматизації проектувальних робіт та управління технологічними процесами. Також сприяють підвищенню якості ТЗА удосконалення фізико-хімічних методів обробки деталей, технологій складання виробів тощо. Причому масогабаритні характеристики об'єкта, його надійність і собівартість певною мірою визначаються саме рівнем розвитку технології виробництва.

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

На сьогодні в Україні спостерігається тенденція зростання виробництва ТЗА і для його подальшого розвитку необхідні – як головна умова – молоді кадри. Нині їх готують Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» та Національний технічний університет України «Львівська політехніка», Харківський національний університет радіоелектроніки, Харківський державний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «ХАІ», Одеський національний політехнічний університет та інші.

Впровадження новітніх технологій виготовлення ТЗА, а також систем автоматизації та інтелектуалізації сучасних виробничих процесів потребує висококваліфікаційного рівня знань фахівців, які залучені до проектування, виробництва та експлуатації вказаних засобів і систем, саме тому високоякісна підготовка студентів і науковців є основою підвищення загальносвітового рівня вітчизняної промисловості.

Створення цього підручника базується на багаторічному досвіді викладання дисциплін, пов'язаних з технологією виробництва ТЗА в Харківському національному університеті радіоелектроніки на кафедрі Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, а також на досвіді викладання технологічних дисциплін у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Національному університеті «Львівська політехніка», Національному університеті харчових технологій та інших. Підручник також втілює цінний досвід, здобутий у співдружності автора з видатними вченими в галузі технології радіоелектронного приладобудування та автоматизації виробничих процесів: А.О. Дружиніним, Ю.Ф. Зінковським, А.П. Ладанюком, В.П. Лисенком, М.В. Лобуром, О.М.Пупеню та іншими.

Під час підготовки підручника використано підручники та навчальні посібники під редакцією А.П. Достанка, А.М. Медведєва, А.О. Грачова, Л.С. Ямпольського та інших.

Цей підручник є узагальненням сучасних досягнень у галузі комп'ютерно-інтегрованих технологій та організації виробництва ТЗА і складається з двох частин.

У першій частині підручника розглянуто сучасні тенденції інтелектуального виробництва, інформаційне та технічне забезпечення операцій і процесів комп'ютерно-інтегрованого

виробництва ТЗА, висвітлені питання, пов'язані з організацією та функціонуванням технологічних систем виробництва ТЗА та підготовкою виробництва. Розглядаються основні положення та методи розрахунку точності виробництва ТЗА та їх деталей, а також методи моделювання, оптимізації технологічних процесів у виробництві ТЗА. Наведено основні теоретичні відомості з технічної підготовки комп'ютерно-інтегрованого виробництва та методики моделювання ТП методом планування екстремальних експериментів. Значну увагу приділено також організаційним основам складання та питанням статистичного аналізу технологічних операцій складання.

Друга частина підручника, яку Ви тримаєте у руках, містить чотири розділи.

Перший розділ підручника містить відомості про конструктивно-технологічні особливості друкованих комутаційних плат як основної складової частини будь-якого ТЗА, зокрема розглянуто їх класифікацію, проаналізовано конструкторські, технологічні та електричні вимоги до них, а також наведено інформацію про базові матеріали, застосовувані для виготовлення друкованих плат, у тому числі гнучких.

У другому розділі викладено основи організації складально-монтажних робіт, а також детально описано технології виготовлення електромонтажних з'єднань, виконаних паянням, зварюванням і накручуванням. Розглянуто тенденції розвитку цих технологій, наведено сучасні матеріали та обладнання для виконання операції паяння електронних компонентів на друковані плати, зокрема проаналізовано особливості використання паяльних паст для компонентів поверхневого монтажу, а також актуальність переходу до безсвинцевих технологій. Враховуючи, що в Україні та світі ще не усі приладобудівні підприємства перейшли на використання технологій «lead-free», а також те, що в окремих класах електронних засобів згідно європейської директиви RoHS припустиме використання сплавів на основі свинцю, автором розглянуто також питання використання традиційних припоїв, що містять свинець.

Третій розділ містить теоретичні й організаційні основи регульовальних і контрольно-випробувальних процесів, включаючи організацію робочих місць. У ньому викладено особливості автоматизації регулювання ТЗА та наведено схеми

автоматизованих систем регулювання ТЗА різного призначення, розглянуто організацію технічного контролю ТЗА та їх випробувань.

Четвертий розділ присвячено автоматизації виробництва ТЗА, визначено шляхи вирішення конкретних задач, зокрема, наведено особливості розробки керуючих технологічних програм для автоматизованого технологічного обладнання, розглянуто передумови організації гнучких автоматизованих ліній і ділянок. Наведено схеми використання роботів і робототехнічних систем, а також представлено ієрархію рівнів планування інтегрованих виробничих систем ті керування ними, розглянуто принципи раціонального поєднання гнучкості та продуктивності робототехнічних комплексів, а також наведено метод оцінки економічної ефективності гнучких виробничих систем.

Підручник призначено для підготовки фахівців у галузі знань «Автоматизація та приладобудування» та «Електроніка та телекомунікації», а також може бути корисним студентам інших спеціальностей і технічним працівникам у галузі виробництва ТЗА.

Автор вдячний своїм колегам, які допомагали йому в роботі над рукописом: доц. Жаріковій І.В., доц. Демській Н.П., Коломієць А. І. Також велику подяку автор висловлює проф. Андрусевичу А.О. та проф. Олександрову Ю.М. за цінні поради під час написання та видання підручника.

1 ОСНОВИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ВИРОБНИЦТВІ ЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ

1.1 Основні поняття та визначення

Автоматизація виробничих процесів – це комплекс заходів з розробки нових прогресивних технологічних процесів і проектування на їхній основі високопродуктивного технологічного устаткування, на якому здійснюються робочі і допоміжні процеси без участі людини.

Однак ні в якому випадку не слід розуміти автоматизацію у виробництві електронних апаратів лише як процес впровадження елементів і схем автоматики, насичення ними існуючих чи проектуваних конструкцій технологічного устаткування.

Автоматизація – це комплексна конструкторсько – технологічна задача створення принципово нової техніки на базі прогресивних технологічних процесів обробки, складання і контролю. Вона включає створення таких методів і схем обробки матеріалів, конструкцій обладнання і компонувань виробничих комплексів, які б дозволили звільнити людину від безпосередньої участі в процесі виготовлення виробів.

У зв'язку з цим промисловості потрібні не просто технологи, а технологи з розробки автоматизованих технологічних процесів; не просто конструктори з розробки технологічного устаткування, а спеціалісти зі створення нових робототехнічних комплексів, напіваавтоматів і автоматів, автоматичних ліній.

З практики відомо, що будь-яку продукцію, для якої створено методи і технологію обробки та складання, найпростіше отримати шляхом виготовлення на універсальному неавтома-тизованому устаткуванні за особистої участі людини.

Автоматизація виробничих процесів, як правило, пов'язана з великими капітальними вкладеннями і має за мету підвищення продуктивності праці й якості продукції за рахунок виключення суб'єктивного фактора, а також зменшення кількості обслуговуючих робітників порівняно з неавтома-тизованим виробництвом.

Саме зазначені фактори й їхня реалізація забезпечують економічний ефект і окупність засобів автоматизації.

Автоматизація – це дуже специфічна галузь виробництва зі своїм змістом, поняттями і визначеннями.

Автоматизація виробництва передбачає застосування таких засобів виробництва, які дозволяють здійснювати всі операції виробничого процесу чи переважну їх частину без особистої участі людини, за яким залишаються функції налагодження, нагляду і контролю.

Автоматизація з погляду повноти охоплення і стадії розв'язуваних задач розділяється на часткову, комплексну і повну.

Часткова автоматизація за стадіями розв'язуваних задач є початковою, але вона здійснюється після повної механізації технологічних процесів. За повнотою охоплення – це автоматизація окремих технологічних операцій за умови, що інша частина операцій виконується робітником.

Вищою формою автоматизації виробництва на початковій стадії є автоматичні лінії, складені з напівавтоматів, де основні технологічні операції (процеси) виконуються автоматично, а міжверстатне транспортування, накопичення заділів, операції завантаження вивантаження, контроль якості, вилучення відходів виконуються вручну.

Комплексна автоматизація виробництва електронних засобів передбачає передачу керування комплексом виробничих операцій від людини до засобів обчислювальної техніки. Це стає можливим при виробництві певного виду продукції в рамках окремої виробничої системи (лінії, ділянки, цеху, підприємства), яка розглядається як єдиний взаємозв'язаний автоматичний комплекс. При цьому на використуваному технологічному устаткуванні всі операції (основні і допоміжні) виконуються автоматично. В обов'язки людини входить настроювання обладнання, його увімкнення та вимкнення, контроль за ходом процесу.

Повна автоматизація виробництва є вищою формою автоматизації, за якої усі функції з керування і контролю за виробничим процесом покладено на автоматичну систему керування (АСК).

Процес автоматизації розвивається в часовому просторі по спіралі (рис. 1.1). Причому швидкість переходу від одного етапу до іншого є різною. Так, рух від першого витка до другого зайняв 30 років. Числове програмне керування (ЧПК) верстатами дозволило отримати значний ефект в одиничному і серійному виробництвах, але в масовому виробництві воно було менш ефективним.

Подальший розвиток електроніки, застосування ЕОМ і мікропроцесорів розкрили нові можливості ЧПК при створенні універсальних верстатів, безпосередньо керованих від ЕОМ у режимі розподілу часу (третій виток розвитку автоматизації). Індивідуальні верстати з ЧПК типу CNC, верстати типу «обробляючий центр» (ОЦ), фрезернорозточувальні і токарські верстати стали основою гнучких виробничих систем.

На базі ОЦ створюються гнучкі виробничі модулі, ділянки, лінії. На цьому витку почалося об'єднання в єдину систему усіх виробничих функцій зі створенням гнучких автоматизованих виробництв.

Подальший розвиток автоматизації пов'язаний зі створенням інтегрованих автоматизованих виробництв на базі ЕОМ п'ятого покоління.

Створення штучного інтелекту стало запорукою подальшого розвитку автоматизації на новому витку.

Однак слід зазначити, що автоматизації виробництва передують механізація зі своїми етапами розвитку: часткова (мала) механізація і повна механізація.

Часткова механізація дозволяє механізувати частину рухів, необхідних для здійснення виробничого процесу, – головний рух, або допоміжні та установлювальні рухи, пов'язані з переміщенням виробів з однієї робочої позиції на іншу.

Повна механізація – це механізація всіх основних, допоміжних, установлювальних і транспортних рухів, що виконуються по ходу виробничого процесу. При повній механізації обслуговуючий персонал здійснює тільки оперативне керування виробничим процесом.

Класифікація автоматичного устаткування. З погляду участі людини в роботі устаткування виділяють

напівавтомати, автомати, потокові й автоматичні лінії, гнучкі робототехнічні комплекси.



1 – універсальні верстати; 2 – універсальні автомати і напівавтомати; 3 – спеціальні і спеціалізовані автомати і напівавтомати; 4 – агрегатні верстати; 5 – автоматичні лінії з агрегатних верстатів; 6 – автоматичні лінії з універсальних верстатів; 7 – комплексні автоматичні лінії й автоматичні заводи; а – верстати з ЧПК; б – автомати з ЧПК; в – спеціальні верстати з ЧПК; г – ОЦ з індивідуальним ЧПК; д – автоматичні лінії з ЧПК; I – верстати з ЧПК/CNC; II – ОЦ фрезернорозточувальні, токарські з CNC; III – ГВС; IV – ГВС зі спеціалізованими ОЦ масового виробництва; V – ГВС, ГАВ = ГВС + САПР + АСТПВ; VI – автоматичний завод; А – автоматичний «безлюдний» завод

Рисунок 1.1 – Етапи розвитку автоматизації виробництва ТЗА

Під **напівавтоматом** розуміють устаткування, на якому без особистої участі людини, тобто автоматично, здійснюється виконання всіх операцій з безпосереднього впливу на предмети праці. Повторення операції (обробки, складання) вимагає втручання людини для установлення деталі, зняття її та пуску обладнання.

Основним недоліком напівавтоматичного устаткування є порушення людиною безперервності технологічного процесу.

Автомат – це одиниця устаткування, яка автоматично виконує усі робочі і холості ходи робочого циклу. Людина

налагоджує автомат, заповнює завантажувальні пристрої заготовками, деталями, стежить за ходом процесу виготовлення виробу.

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

Автоматична лінія є групою верстатів-автоматів, об'єднаних загальними транспортними пристроями, з єдиним темпом і загальною системою керування, які здійснюють без участі людини у визначеній технологічній послідовності комплекс операцій (частину виробничого процесу). В автоматичних лініях людина виконує тільки налагодження, спостереження і регулювання, а в деяких випадках початкові завантажувальні і кінцеві розвантажувальні операції.

Під **робототехнічним** комплексом розуміють сукупність основних технологічних машин і промислових роботів, що працюють у єдиному виробничому циклі з виготовлення виробів і здатні швидко перестроюватися на новий вид продукції. Об'єднання декількох робототехнічних комплексів у складну систему з керуванням від автономної чи централізованої ЕОМ дозволяє створити гнучкі роботизовані технологічні лінії, придатні для експлуатації в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва.

Роботизація виробництва – це комплексне поняття, що охоплює широке коло аспектів – від створення нових технологій та нового обладнання до розробки принципів керування й організації виробництва, в якому широко використовуються роботи.

У **роботизованому виробництві** на різних його етапах у необхідному і достатньому обсязі використовуються промислові роботи і маніпулятори.

Роботизований технологічний процес передбачає використання промислових роботів і маніпуляторів як основне технологічне устаткування.

Роботизована технологічна ділянка – це ділянка виробництва, на якій функціонують у єдиному комплексі

основні виробничі машини (автомати, напівавтомати, верстати з ЧПК, зварювальні агрегати, преси та ін.) і промислові роботи.

Упровадження промислових робіт у виробництво є невід'ємною частиною повної автоматизації виробництва, особливо це стосується виробництв із дрібносерійним та одиничним характером випуску продукції.

1.2 Стратегія автоматизації виробництва

Теоретичною основою автоматизації виробничих процесів є теорія продуктивності, яка дозволяє розглядати питання проектування й експлуатації машин у їхньому взаємозв'язку, формулювати основні закони автоматобудування, вирішувати конкретні задачі розрахунку і вибору технологічних, конструктивних, структурних і експлуатаційних параметрів з позицій високої продуктивності, надійності й ефективності.

Розвиток автоматизації на сучасному етапі характеризується зміщенням акценту з масового на серійне виробництво, яке нині складає основну частину в електронній галузі. Інша характерна риса сучасної автоматизації – розширення арсеналу технічних засобів і, як наслідок, багатоваріантність розв'язань задач автоматизації виробничих процесів.

Стратегія комплексної автоматизації електронного апаратобудування як основи технічної політики визначається кількома аспектами, у тому числі:

- правильним розумінням змісту й основної спрямованості робіт з автоматизації;
- об'єктивною оцінкою в часі перспективності та доцільності застосування нових методів і засобів автоматизації, їхнього сполучення та зв'язку з аналогами.

Автоматизація виробництва часто трактується як процес заміщення функцій людини пристроями і системами керування і контролю, тобто ототожнюється з впровадженням автоматики. При цьому вважається, що технологічні процеси й устаткування залишаються в основному колишніми. Це в корені неправильно.

Зміст виробництва складають технологічні процеси, саме в них закладаються потенційні якість і кількість продукції, що випускається, та ефективність виробництва. Система керування є лише формою реалізації цих можливостей. Тому автоматизація виробництва є комплексною конструкторсько-технологічною задачею, вирішення якої пов'язане зі створенням принципово нових, прогресивних технологічних процесів і високопродуктивних засобів виробництва на їхній основі.

Так, будь який автомат (токарський чи фрезерний верстат, верстат-автомат) є комплексом технологічних і конструктивно компонувальних рішень та характеризується багатопозиційністю, одночасним функціонуванням великої кількості механізмів, пристроїв і інструментів. Створення таких складних технологічних об'єктів вимагає вирішення багатьох задач, у тому числі автоматизації транспортування, завантаження деталей, орієнтації в просторі, накопичення заділів, вилучення відходів та інше, і тільки за таких умов може бути ефективним застосування автоматичного керування. Автоматично діючі засоби виробництва тільки тоді перспективні, коли виконують виробничі функції швидше і краще за людину.

Надзвичайну актуальність у рамках стратегії автоматизації набуває проблема об'єктивної оцінки і розумного впровадження новітніх методів і засобів автоматизації, тому що це пов'язано з великими капітальними витратами.

Будь-яке технічне нововведення, яким би перспективним воно не було, проходить ряд стадій: ідея – макет – конструкція. Кожна стадія характеризується удосконалюванням параметрів, систему яких у першому наближенні можна звести до формули: «швидкодія – надійність – вартість».

І тільки після того, як усі параметри відповідатимуть техніко-економічним вимогам, нововведення може бути рекомендованим до впровадження. У зв'язку з цим у технічній політиці однаково неприпустимі як скоростиглі ідеї, тобто не дозрілі первинні ідеї, так і запізнені ідеї і рішення.

Одне з принципових питань стратегії комплексної автоматизації – оптимальне поєднання новітніх методів і засобів із традиційними. В автоматичних машинах і системах для

масового виробництва широко використовуються принципи диференціації і концентрації операцій, суміщення їх у часі, що і забезпечує високу продуктивність і ефективність. Переваги масового виробництва слід перенести на серійне виробництво, для якого характерна часта змінюваність номенклатури виробів. Це можливо лише за умови створення легко переналагоджуваних технічних засобів. Системи з ЧПК, прямого цифрового керування від ЕОМ та інші є досить мобільними й ефективними при автоматизації серійного й одиничного виробництва.

Підвищений інтерес до гнучких технологічних комплексів визначається соціальними, економічними та технічними аспектами їхнього впровадження у виробництво.

1.3 Основні передумови автоматизації

Упровадження досягнень механізації й автоматизації виправдовується, насамперед, у крупносерійному і масовому виробництві, тому що значні витрати, пов'язані з використанням дорогого устаткування, окупаються тільки у випадку виготовлення на ньому великих партій виробів. Однак існуюча тенденція переходу від крупносерійного і масового виробництва до одиничного і дрібносерійного, викликана необхідністю постійного відновлення продукції, ставить перед промисловістю серйозні проблеми, вирішення яких вимагає нетрадиційних підходів.

Необхідність відновлення продукції різко суперечить витратам на технологічну підготовку її виробництва. Трудомісткість переналагодження устаткування виявляється в багато разів більшою, ніж трудомісткість самого технологічного процесу виготовлення виробів. Значну частину часу таке устаткування простоє, що знижує віддачу основних фондів. Максимальну фондовіддачу можна отримати, наділивши крупносерійне і масове виробництво гнучкістю і забезпечивши при цьому широку автоматизацію. Для дрібносерійного виробництва необхідно забезпечити комплексну автоматизацію

з метою надання йому переваг масового виробництва – безперервності, ритмічності, високого темпу випуску виробів.

Незважаючи на серйозні проблеми, що мають місце в галузі автоматизації, у реальній дійсності широка автоматизація виробництва має соціальні, технічні й економічні передумови.

Соціальними передумовами широкої автоматизації є:

- звільнення людини від некваліфікованої, монотонної, важкої і шкідливої праці;

- забезпечення умов безпеки праці, зниження виробничого травматизму і професійних захворювань;

- підвищення культури виробництва;

- підвищення інтелектуального і професійного рівня робітника, внаслідок функцій, що змінюються.

Технічними передумовами автоматизації є:

- можливість швидкої перебудови виробництва на випуск нової продукції за рахунок технічної і технологічної гнучкості виробничої системи;

- можливість інтенсифікувати технологічний процес – підвищити коефіцієнт змінності (Кзм) устаткування, оптимізувати режими обробки, оперативно корегувати технологічні процеси з урахуванням поточної ситуації, скоротити виробничий цикл;

- підвищення продуктивності праці;

- підвищення якості продукції;

- зменшення виробничих площ за рахунок оптимальних компоновальних рішень;

- підвищення ритмічності виробництва.

Економічні передумови широкої автоматизації:

- економія заробітної плати за рахунок вивільнення робітників в результаті підвищення рівня автоматизації виробництва (застосування напівавтоматів, автоматів, промислових роботів);

- зниження собівартості продукції;

- економія ресурсів за рахунок зменшення виробничих утрат від браку, виключення нерівномірності ритму роботи та ін.;

- підвищення ефективності і рентабельності виробництва.

Ефективність автоматизації визначається тим, наскільки раціонально організований виробничий процес у цілому, чи комплексно і на всіх ланках технологічного ланцюжка впроваджено засоби автоматизації, наскільки діюча система організації і керування виробництвом дозволяє приймати оптимальні рішення.

1.4 Тенденції розвитку засобів автоматизації серійного та масового виробництва

Закордонний і вітчизняний досвід показує, що основною формою виробництва в сучасних умовах стає комплексно автоматизоване і високомеханізоване виробництво. Будь-які нові неавтоматизовані технологічні процеси й устаткування мають розглядатися як окремі вимушені рішення, коли в конкретних умовах виробництва ще не дозріли технічні чи економічні передумови для їх автоматизації.

Традиційним напрямком комплексної автоматизації було вирішення задач, пов'язаних з масовим виробництвом, де створено і впроваджено безліч автоматів і напівавтоматів, потокових і автоматичних ліній. Як правило, зазначені технічні засоби є спеціальними, тобто не пристосованими до виготовлення будь яких інших виробів, окрім конкретних для даного виду устаткування.

У масовому виробництві з постійним об'єктом випуску, як правило, застосовується високопродуктивне спеціальне устаткування, об'єднане автоматичними транспортно завантажувальними пристроями періодичної дії, що в комплексі являє собою так звані жорсткі лінії.

У жорстких (синхронних) автоматичних лініях вироби завантажуються, обробляються і передаються від верстата до верстата одночасно чи через короткі відрізки часу (при виході з ладу хоча б одного верстата, вся лінія зупиняється). При створенні таких ліній прагнуть забезпечити мінімальний цикл роботи.

Жорсткі автоматичні лінії відрізняються високою продуктивністю, але мають нульову гнучкість. Головними вимогами до основного і допоміжного устаткування є забезпечення продуктивності і надійності в процесі тривалої експлуатації і високий рівень автоматизації виконуваних операцій. Надійність і ресурс основного технологічного устаткування, допоміжних пристроїв і засобів автоматизації обмежені терміном випуску масової продукції. До засобів автоматизації не висуваються вимоги переналагодження і функціональної взаємозамінності, що визначає відносну простоту їхніх конструкцій.

На сьогодні у більшості автоматичних ліній подібного типу використовуються традиційні засоби автоматизації допоміжних операцій: різні конвеєри, підйомноопоротні столи, автоматичні живильники, орієнтатори, відтинувачі, автооператори і т.ін. Однак тенденції частішої змінюваності номенклатури, викликані конкуренцією на ринку збуту, вимагають відносно частого пере налагодження чи зміни структури діючої автоматичної лінії, заміни устаткування та засобів автоматизації. Іншими словами, термін експлуатації жорсткої автоматичної лінії, орієнтованої на випуск конкретної продукції, скорочується внаслідок морального старіння об'єкта виробництва. Цей фактор визначає неминучість широкого застосування промислових роботів у масовому виробництві.

Застосування промислових роботів різного функціонального призначення дозволяє швидко комплектувати автоматичні лінії, до складу яких входить різноманітне технологічне устаткування.

Що ж стосується серійного виробництва, то воно довгий час базувалося тільки на універсальному неавтоматизованому устаткуванні, малопроductивному, але досить мобільному (швидкопереналагоджуваному на виготовлення інших виробів).

Переломним моментом в автоматизації серійного виробництва стала поява верстатів із ЧПК, які характеризуються високою продуктивністю і мобільністю завдяки наявності систем керування на електронній основі.

Нині існують різні способи автоматизації серійного виробництва:

– застосування переналагоджуваного агрегатного технологічного устаткування, об'єднаного в переналагоджувані автоматичні лінії з гнучким зв'язком (несинхронні);

– створення автоматичних ліній з програмним керуванням на базі верстатів із ЧПК.

Сьогодні несинхронні переналагоджувані автоматичні лінії розвиваються у напрямку підвищення їхньої гнучкості у відношенні до складу операцій і технологічного процесу, тобто можливості переналагодження чи перестроювання на виготовлення нових виробів, конструкції яких не були відомі до моменту початку проектування і виготовлення цих ліній.

Застосування переналагоджуваних несинхронних автоматичних ліній забезпечує:

1) уповільнення процесу морального старіння дорогого верстатного устаткування, використовуваного в середньо- і крупносерійному виробництві;

2) можливість одночасного чи послідовного виготовлення декількох різних виробів одного функціонального призначення, близьких за габаритними розмірами.

Числове програмне керування дозволяє різко скоротити час переналагодження основного і допоміжного устаткування. Тому лінії і ділянки, до складу яких входять роботизовані комплекси чи гнучкі виробничі модулі, можуть з успіхом використовуватися в умовах серійного багатомоделного виробництва за умов частой зміни об'єктів виробництва і різних обсягів їхнього випуску.

Одним зі шляхів ефективного вирішення проблеми комплексної автоматизації серійного виробництва є створення типових автоматизованих технологічних комплексів (АТК) різного призначення. Ці комплекси мають відповідати таким вимогам: забезпечувати надійне функціонування при високому рівні автоматизації; охоплювати основні технологічні процеси електронного апаратобудування; мати можливість стикування між собою і з типовими транспортними засобами при компонуванні автоматизованих ділянок і автоматичних ліній; забезпечувати широку пристосовуваність до зміни умов виробництва.

Перспективним для автоматизації середньо- та дрібносерійного виробництва є створення типових роботизованих комплексів, а також гнучких виробничих технологічних модулів. Їхнє застосування дозволить комплектувати різні типи автоматизованих ділянок, ліній і гнучких виробничих модулів, створювати складні виробничі системи, диференційовані за складом виконуваних операцій, призначенням і рівнем автоматизації технологічного процесу та керування ним.

Зі сказаного вище випливають відповідні тенденції розвитку засобів автоматизації серійного і масового виробництва.

Тенденція перша – перехід від верстатів-напівавтоматів до автоматів, що диктується вимогами підвищення продуктивності й економічної ефективності.

Тенденція друга – перехід до багатоінструментальної і багатопозиційної обробки. Скільки б не було інструментів у магазині звичайного верстата з ЧПК, у будь-який конкретний момент відбувається обробка тільки однієї деталі одним інструментом, тобто відсутнє суміщення операцій – найважливіший фактор підвищення продуктивності.

У зв'язку з цим перехід до устаткування, що реалізує принцип суміщення операцій, є прогресивним і виправданим.

Тенденція третя – створення уніфікованих конструкцій замість спеціально розроблених у кожному конкретному випадку. У найпростішому вигляді – це створення гами устаткування на одній базі. Можливий також варіант уніфікації устаткування з різним ступенем автоматизації.

Тенденція четверта – перехід від індивідуальних пультів програмного керування до спеціальних керуючих ЕОМ, що стало можливим завдяки успіхам мікроелектроніки й обчислювальної техніки.

Таким чином, при автоматизації серійного виробництва широко використовується досвід автоматизації масового виробництва.

1.5 Рівні автоматизації виробництва

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

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

1) універсальне устаткування з ручним керуванням, що забезпечує найбільшу гнучкість виробництва (наприклад, універсальні верстати, які можуть бути пристосовані до випуску практично будь-якої продукції, але мають низьку продуктивність і потребують постійної присутності робітника-верстатника);

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

Інше устаткування займає проміжне положення.

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

Перший рівень – автоматизація циклу обробки. Вона полягає в керуванні послідовністю і характером рухів робочого інструмента з метою одержання заданої форми, розмірів і якості поверхні оброблюваної деталі. Автоматизація цього рівня найбільш повно втілена у верстатах із ЧПК. При цьому продуктивність праці зростає в 2-4 рази порівняно з верстатами, що мають ручне керування, істотно підвищується якість виробів.

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

Найбільшу універсальність і швидкість переналагодження мають промислові роботи, використовувані як завантажувально-розвантажувальні пристрої. На багатоцільових верстатах часто такими засобами служать автооператори.

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

Третій рівень – автоматизація контролю, раніше виконуваного верстатником. Зокрема, контролю:

- стану інструмента і своєчасної його заміни;
- якості оброблюваних деталей (розмірів, шорсткості поверхні);
- стану верстата і вилучення стружки, а також ходу технологічного процесу і його підналагодження (адаптивне керування).

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

Третій рівень автоматизації забезпечується створенням адаптивних РТК і ГВМ, що є комплексом, до складу якого входять багатоопераційний верстат, пристрої прийому і переміщення супутників (палет), промисловий робот (чи автооператори), пристрої контролю, діагностування, підналагодження й інші допоміжні механізми та пристрої. Керування комплексом здійснюється за допомогою загальної пристрою керування.

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

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

П'ятий рівень автоматизації – гнучкі виробничі системи (ГВС) здатні забезпечити комплексну автоматизацію

всіх ланок виробничого процесу, включаючи процеси виготовлення і керування, підготовку виробництва, розробку необхідної конструкторсько-технологічної документації і планування.

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

Підвищення рівня автоматизації застосовуваного устаткування тісно пов'язане зі зростанням рівня організації усього виробництва на даному підприємстві. Ізольований гнучкий виробничий модуль чи верстат із ЧПК, як правило, не дає бажаного ефекту при одиничному використанні на підприємстві, де не застосовують інші верстати з ЧПК, оскільки вся система організації виробництва в цьому випадку не відповідає вимогам, які б забезпечили ефективне використання нової високопродуктивної техніки.

Перспективним є створення на базі ГВМ, ГАЛ і ГАЦ гнучких автоматизованих виробництв із повним циклом виготовлення і самовідновлення.

Технічні характеристики засобів автоматизації

За ступенем автоматизації технологічні процеси поділяють на три рівні залежно від участі людини оператора в керуванні процесом і устаткуванням. Ступінь автоматизації оцінюють коефіцієнтом автоматизації K_a , який визначається за формулою

$$K_a = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n t_{H_i} / \sum_{j=1}^m t_{a_j}}, \quad (1.1)$$

де t_{H_i} – середній час за множиною операцій i ($i = \overline{1, n}$), затрачений на реалізацію неавтоматизованих операцій, включаючи операції керування;

t_{aj} – середній час за множиною операцій j ($j = \overline{1, n}$), затрачений на їхнє автоматичне виконання.

Прийнято вважати, якщо значення $K_a \geq 0,98$, то технологічний процес має високий ступінь автоматизації; практично такий процес можна вважати автоматичним, тому що частка ручної праці зведена до мінімуму (роботу людини-оператора зведено до роботи за пультом автоматичного керування лінією, ділянкою). При $0,98 > K_a \gg 0,50$ має місце середній ступінь автоматизації процесу; такий процес називають автоматизованим. Якщо $K_a < 0,5$, то процес має низький ступінь автоматизації.

Вибір того чи іншого ступеня автоматизації залежить від конкретних умов виробництва й економічної доцільності. У табл. 1.1 наведено деякі рекомендації з вибору ступеня автоматизації. Знаком «+» позначений ступінь, що рекомендується.

При створенні засобів автоматизації однією з важливих умов є розробка устаткування і систем керування, конструкція і структура яких забезпечує можливість їхнього компонування з однотипних функціональних пристроїв, блоків і елементів. Виконання цієї умови можливе, якщо забезпечено типізацію й універсалізацію конструкцій функціональних пристроїв і блоків, які входять до складу устаткування, та типізацію технологічних процесів.

Ступінь універсалізації устаткування кількісно оцінюється коефіцієнтом K_y

$$K_y = \frac{1}{1 + \frac{n_H}{n_y}}, \quad (1.2)$$

де n_H – кількість різнойменних операцій ТП $\bigcup_i A_i$ виготовлення i_x аналогічних виробів;

n_y – кількість операцій із сукупності ТП $\bigcup_i A_i$,

реалізовуваних типовими (універсалізованими) функціональними пристроями чи блоками.

Поняття універсалізації засобів автоматизації пов'язано зі спеціалізацією виробництв з виготовлення аналогічної продукції. Ступінь універсалізації як показник прогресивності засобів автоматизації для кожної галузі промисловості має різне значення. Однак критерієм оцінки досконалості є $K_y = \max$.

Важливою властивістю устаткування є можливість його перестроювання на випуск нових виробів.

Таблиця 1.1 – Ступінь автоматизації процесу, що рекомендується

№	Найменування	$K_a \geq 0,98$	$0,5 < K_a < 0,98$	$K_a < 0,5$
1	Виключення шкідливих впливів на оператора	+	-	-
2	Виключення участі оператора (при збільшенні кількості верстатів, що обслуговуються)	+	+	-
3	Виключення суб'єктивних помилок оператора при керуванні процесом	+	-	-
4	Необхідність дистанційного керування процесом	+	+	-
5	Виконання складного технологічного процесу за наявності відомого закону керування	+	+	-
6	Виконання складного технологічного процесу за відсутності відомого закону		+	+
7	Необхідність безпосереднього спостереження з боку людини за ходом процесу	-	+	+
8	Складність устаткування і систем керування	-	+	+

Доцільність і швидкість перестроювання характеризуються й оцінюються коефіцієнтом мобільності (гнучкістю) устаткування, що відображує ступінь використання балансу його робочого часу. **Коефіцієнт мобільності** залежить від продуктивності устаткування, тривалості його перестроювання (на одиницю продукції) і виражається співвідношенням

$$K_M = \frac{1}{1 + \frac{P_{\Pi}}{Q} \sum_{i=1}^n t_{\Pi_i}}, \quad (1.3)$$

де t_{Π_i} – середня тривалість переналадження (перенастроєння) i -го функціонального пристрою, механізму чи блока, хв;

P_{Π} – циклова продуктивність устаткування, хв⁻¹;

Q – кількісний обсяг партії виробів;

n – кількість пристроїв, механізмів, блоків, переналадження яких не суміщено в часі.

Для підвищення мобільності засобів автоматизації при високій їхній продуктивності, а також при виготовленні порівняно малих партій тривалість переналаджень слід скорочувати. Вважають, що автоматичне устаткування відповідає високим вимогам у тому випадку, якщо значення $K_M > 0,9$. Звідси можна визначити орієнтовний мінімальний обсяг партії виробів, який доцільно виготовляти на переналаджуваному устаткуванні:

$$Q_{\min} \approx 15P_{\Pi}(t_K + t_H), \quad (1.4)$$

де t_K і t_H – сумарна тривалість перекомпонування (за необхідності) і настроювання.

Крім коефіцієнта K_a , використовують показник рівня механізації й автоматизації Y_{Ma_j} , обчислюваний для кожної j -ї операції відповідно до співвідношення

$$Y_{Maj} = \frac{t_{MPj} + t_{MAj}}{t_j}, \quad (1.5)$$

де t_{MPj} – машинно-ручний час j -ї операції, хв;

t_{MAj} – машинно-автоматичний час, хв; t_j – час виконання операції.

Відповідно рівень автоматизації операції визначають за формулою

$$Y_{aj} = \frac{t_{MAj}}{t_j}. \quad (1.6)$$

Аналогічні показники для сукупності операцій на лінії чи ділянці визначають як

$$Y_{Mal} = \frac{\sum_{j=1}^n (t_{MPj} + t_{MAj})}{\sum_{j=1}^n t_j}, \quad (1.7)$$

$$t_{a,l} = \frac{\sum_{j=1}^n t_{MAj}}{\sum_{j=1}^n t_j}, \quad (1.8)$$

де $j = 1, 2, \dots, n$ – операції, виконувані на лінії (ділянці). Чим ближче значення цих показників до одиниці, тим вище рівень механізації й автоматизації виробництва.

Із зростанням капітальних вкладень, як правило, рівень механізації й автоматизації підвищується. Можна вважати, що між капітальними вкладеннями (K) і рівнем механізації й автоматизації виробництва існують певні функціональні залежності для кожного типу виробів за всіма операціями

$$K_j = \varphi(Y_{MA_j}) \text{ чи } K(Y_{MA_j}). \quad (1.9)$$

З іншого боку, з підвищенням рівня механізації, зростанням продуктивності праці й устаткування знижується собівартість продукції (C), тобто також мають місце залежності типу

$$C_j = f(Y_{MA_j}) \text{ чи } C(Y_{MA_j}). \quad (1.10)$$

При порівнянні декількох варіантів технічних засобів, призначених для механізації й автоматизації виробництва на j -ї операції, економічно обґрунтований варіант визначається найменшою величиною річних приведених витрат (B_{np})

$$B_{np}(Y_{ma}) = C(Y_{MA_j}) + E_H K(Y_{MA_j}) \rightarrow \min, \quad (1.11)$$

де $C(Y_{MA_j})$ – собівартість продукції від реалізації j -ї операції, що залежить від рівня механізації й автоматизації, грн;
 E_H – нормативний коефіцієнт економічної ефективності.

1.6 Автоматизовані технологічні засоби у виробництві ТЗА

Будь-який автоматизований технологічний засіб (АТЗ), як правило, є складним програмно-технічним комплексом, що складається з основних і допоміжних пристроїв, механізмів і блоків.

До основних складових АТЗ належать технологічні автомати, напіваавтомати, верстати з ЧПК, ГВМ.

Допоміжні засоби – це різного роду типові елементи: спеціалізовані пристрої (пристрої автоматичного завантаження – ПАЗ, накопичувачі – Н, постачальники – П, транспортні пристрої – ТП) і технічні засоби АСК (засоби технічного зору, давачі, пристрої прийому, обробки і передачі інформації та ін.).

Пристрої автоматичного завантаження служать для подання об'єктів у робочу зону, тобто для завантаження пристрою обробки об'єкта. ПАЗ можуть мати різне конструктивне виконання, яке залежить від форми і маси об'єкта. ПАЗ мають бути надійними в роботі і забезпечувати безперебійну подачу необхідної кількості правильно орієнтованих деталей на складальні агрегати.

За способом завантаження нагромаджувальної ємності штучними заготовками ПАЗ поділяють на дві групи: бункерно-орієнтуючі пристрої і касети з попереднім укладанням у них деталей.

У промисловості застосовуються такі основні типи бункерно-орієнтуючих пристроїв (БОП): дискові (карманчикові), трубчасті, секторні, шибєрні, барабанні і вібраційні.

Широке застосування знаходять бункерно-магазинні пристрої, що поєднують у собі *бункерні* і *магазинні* елементи (див. рис. 1.2).

Заготовки (для процесів обробки) чи деталі (для процесів складання) завантажуються в бункер Б і по одній чи порціями видаються в лоток Л. При цьому всередині бункера чи поза ним деталі орієнтуються в просторі за допомогою орієнтуючого механізму О.

Рух орієнтуючому механізму та іншим рухомих частинам бункера передається від привода $P_{pб}$ через трансмісію T_p . У лоток деталі попадають орієнтованими в просторі, далі вони надходять у магазин-нагромаджувач деталей М. Звідси деталі за допомогою механізму постачання МП із приводом P_p видаються через певні проміжки часу відповідно до циклу роботи верстата в його робочу зону РЗ. Бункерно-магазинний завантажувальний пристрій виконує всі основні функції

завантаження верстата. Касети (магазини) служать для збереження певної кількості деталей, попередньо орієнтованих у просторі, та їхньої видачі (за допомогою механізму постачання) у робочу зону верстата.

Касети (магазини) служать для збереження певної кількості деталей, попередньо орієнтованих у просторі, та їхньої видачі (за допомогою механізму постачання) у робочу зону верста та. Магазин може бути частиною бункерно-магазинного завантажувального пристрою чи використовуватися без бункера (автономно).

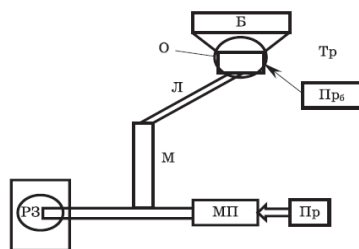


Рисунок 1.2 – Схема принципова бункерно-магазинного завантажувального пристрою

Конструктивне виконання касет (магазинів) може бути різним і залежить від масогабаритних параметрів і форми деталей. Завдяки певній універсальності і техніко-експлуатаційним перевагам перед іншими пристроями аналогічного призначення, широке застосування знайшли вібраційні бункери – вібропостачальники.

Продуктивність вібраційного завантажувального пристрою має забезпечувати роботу устаткування із заданою цикловою продуктивністю. На продуктивність завантажувального пристрою впливає ціла низка експлуатаційних і конструктивних факторів, які важко врахувати аналітично. До таких факторів відносять періодичну зміну напруги електромережі, зміну ступеня заповнення бункера деталями, мінливість коефіцієнта тертя, забруднення лотків, кількість завантажуваних деталей та ін. Це викликає необхідність установлення такої розрахункової продуктивності завантажу-

вального пристрою P_{cp} , яка б перевищувала циклову продуктивність $P_{ц}$ устаткування, тобто:

$$P_{cp} = \frac{P_{ц}}{1 - K_H} (x\epsilon^{-1}), \quad (1.12)$$

де K_H – коефіцієнт нестабільності роботи завантажувального пристрою, $K_H = 0,2-0,3$.

Для задовільнення вимогам продуктивності, вібраційний завантажувальний пристрій має забезпечувати відповідну швидкість руху (v_D , мм/с) деталей по лотку, яку можна визначити зі співвідношення

$$v_D = \frac{P_{cp}}{60K_3} l_D, \quad (1.13)$$

де l_D – розмір деталі в напрямку руху, мм; K_3 – коефіцієнт заповнення лотка бункера деталями, що рухаються в необхідному орієнтованому положенні.

Значення $P(l_0)$ залежить від конфігурації деталі, фізико-механічних властивостей матеріалу, прийнятої системи орієнтування і конструктивного виконання орієнаторів на лотках бункера, а також від імовірностей захоплення деталей у бункері з навалу. Аналітичне визначення $P(l_0)$ для деталей складної форми є важким. Приблизно воно може бути підраховане для деталей найпростішої форми (типу гладкий валик, втулка, чип-резистор, чип-конденсатор та ін.) і призматичних деталей з однією чи двома площинами симетрії.

Коефіцієнт заповнення визначається з виразу

$$K_3 = P(l_0) C_{П}, \quad (1.14)$$

де $P(l_o)$ – коефіцієнт імовірності орієнтування положення деталей на вихідному лотку; C_{II} – коефіцієнт щільності потоку деталей:

$$C_{II} = \frac{l_d}{l_d + S},$$

де S – середня величина зазору між деталями, що рухаються (визначається експериментально).

При пасивному орієнтуванні симетричних валиків і втулок по циліндричній поверхні для випадку, коли $l_d > d$

$$P(l_o) \approx \frac{l_d}{\sqrt{1 + \left(\frac{d}{l_d}\right)^2}}, \quad (1.15)$$

де d – базовий діаметр деталі, мм.

При пасивному орієнтуванні валиків з несиметричними кінцями $P(l_o)$ визначається за формулою

$$P(l_o) = \frac{0,5}{\sqrt{1 + \left(\frac{d}{l_d}\right)^2}}. \quad (1.16)$$

При активному орієнтуванні циліндричних деталей імовірність руху їх в орієнтованому положенні на вихідному лотку може бути визначена за формулою (1.15).

При завантаженні тонких симетричних пластин ($b < l_d \gg \vartheta$) і симетричних довгих циліндричних деталей ($l_d > 10d$) можна прийняти $P(l_o) \approx 1$.

При завантаженні асиметричних деталей, що потребують складних систем орієнтування, імовірність $P(l_0)$ зручніше визначати експериментально.

Значення коефіцієнта щільності потоку C_{Π} в основному залежить від режиму роботи вібраційного бункера. Якщо завантажувальний пристрій працює з підпором, то $S = 0$ і $C_{\Pi} = 1$.

У загальному вигляді продуктивність вібробункера (Q , шт./хв) може бути визначена за формулою

$$Q = \frac{v \cdot 60}{l_D} K_3, \quad (1.17)$$

де v – швидкість руху деталей по лотку, мм/с.

Нагромаджувачі призначені для нагромадження деталей і регулювання ритму роботи технологічного комплексу за рахунок регулювання швидкості видачі деталей. Функції магазину-нагромаджувача можуть виконувати практично будь-які транспортні пристрої, призначені для переміщення деталей від верстата до верстата. При цьому має виконуватися умова: деталі при транспортуванні не втрачають орієнтації в просторі.

Постачальники за своєю формою можуть бути дисковими, трубчастими, шибєрними, секторними. Постачальники є невід’ємним пристроєм верстатів-автоматів. Як правило, постачальники оснащені відтинувачами і штовхачами. Останні виштовхують деталь із постачальника в робочу зону автомата.

Транспортні пристрої виконують операції передачі (транспортування) деталей від одного робочого місця до іншого чи від однієї робочої позиції до іншої. Конструктивно транспортні пристрої можуть бути виконані лінійними (транспортери, лотки, рольганги, труби тощо), круговими (з горизонтальною чи вертикальною віссю обертання) і у вигляді транспортних промислових роботів.

Вибір виду транспортного пристрою залежить від масогабаритних параметрів і форми деталей, обсягу випуску

виробів, форми організації виробництва та схеми компоновання засобів технологічного оснащення.

Транспортні пристрої є невід'ємною частиною автоматичних технологічних комплексів і ліній. В автоматичних лініях транспортні системи можуть виконувати досить складні функції, зокрема, адресування, нагромадження, передачу, розподіл і переорієнтацію деталей у процесі їхнього переміщення.

Різновидом транспортних засобів є конвеєри, що поділяються на дві групи, – вбудовані в автоматичні верстати чи лінії (конвеєр є складовою частиною останніх) і у вигляді самостійного агрегату з автономним приводом. В автоматичних лініях із жорстким і гнучким зв'язком застосовуються різні транспортні системи. У лініях із жорстким зв'язком єдина транспортна система проходить через усі робочі позиції і вироби залишаються на транспортері під час їхнього складання. У цих лініях застосовують в основному крокові конвеєри декількох типів: штангові, рейнерні, грейферні, штовхальні, ланцюгові, стрічкові.

Транспортні системи допускають нагромадження деталей між позиціями (з втратою чи без втрати їхньої орієнтації), завдяки чому кожний верстат чи ділянка має нібито «свій» транспорт, що працює самостійно. Час на переміщення деталей частково чи цілком суміщується з основним часом на виготовлення (виконання технологічної операції) і, отже, зупинка одного верстата не викликає зупинки всієї лінії. У цьому полягає велика перевага ліній із гнучкою транспортною системою.

За способом переміщення деталей конвеєри поділяють на самопливні (гравітаційні), напівсамопливні, із примусовим переміщенням і комбіновані.

Кількісною ознакою зазначеного розподілу є співвідношення між кутом нахилу γ транспортного лотка і обрієм та кутом тертя φ (рис. 1.3), що визначається з рівності $\text{tg } \varphi = f$, де f – коефіцієнт тертя ковзання. При $\gamma < \varphi$ необхідні заходи, що знижують значення f , а при $\gamma < \theta$

(переміщення вгору по конвеєру) рух можливий лише під дією примусової сили.

При переміщенні деталей у самопливних лотках ковзанням можливий варіант чистого котіння деталей у лотках-схилах: $f > k/r$, де k – коефіцієнт котіння; r – радіус деталі, мм.

Гравітаційні конвеєри широко розповсюджені завдяки своїй простоті й універсальності. За формою подовжнього профілю їх поділяють на прямолінійні, вигнуті, гвинтові, змійкові, каскадні та ін.

У *напівсамопливних конвеєрах* зниження сил тертя досягається спеціальними конструктивними рішеннями (рухливе дно, що коливається в поперечному напрямку, створення повітряного прошарку між поверхнею лотка і деталлю та ін.). Ці заходи дозволяють знизити кут транспортування деталей γ з 60° до 2° без порушення умов нормальної роботи конвеєра.

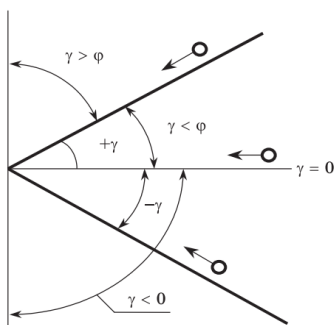


Рисунок 1.3 – Діаграма способів переміщення деталей

Конвеєри з примусовим переміщенням деталей можуть бути різної конструкції, залежно від способу примусового руху деталі. У таких конвеєрах середовищем, що викликає примусовий рух деталей по лотку, можуть бути: струмінь повітря (струминні пневматичні конвеєри), магнітне поле (електромагнітні конвеєри), спрямовані гармонійні коливання (віброконвеєри), вакуум (вакуумні конвеєри), біжне магнітне поле, створюване асинхронним лінійним двигуном (лінійні

конвеєри), стиснене повітря (конвеєри з повітряною подушкою). У *комбінованих конвеєрах* можливе використання вищевказаних середовищ примусового руху деталей у різних комбінаціях з відповідним конструктивним виконанням.

Промислові роботи як транспортний засіб. Промислові роботи є універсальним засобом автоматизації виробничих процесів. Промислові роботи (ПР) можуть застосовуватися для виконання основних технологічних операцій (складання, зварювання, лакофарбового покриття тощо) і допоміжних, в основному транспортування деталей від одного верстата до іншого в технологічному процесі обробки чи складання виробів. Вибір ПР здійснюється на основі всебічного аналізу технологічного процесу (операції), що підлягає роботизації, і виробу (його масогабаритних параметрів, форми, стану поверхонь, технологічності тощо), який потрібно виготовити. На основі комплексного аналізу формуються вимоги до ПР, весь комплекс яких можна поділити на три групи: технологічні, експлуатаційні й економічні.

Технологічні вимоги установлюють функціональні характеристики ПР, необхідні для його застосування з метою реалізації певних операцій. Так, масогабаритні параметри і конфігурація виробів визначають вантажність ПР, а фізичні властивості виробу – граничну величину прискорень при їхньому переміщенні.

Вантажність є важливим кількісним показником для транспортних ПР. Для технологічних ПР важливим показником є не тільки вантажність, але і точність позиціонування.

Геометричні характеристики робочої зони, спосіб установлення на робочому місці, кількість ступенів свободи робота залежать від конструктивних характеристик виробу, виду і змісту технологічних операцій його виготовлення.

Експлуатаційні вимоги (продуктивність, надійність, точність позиціонування та ін.) є специфічними і тісно пов'язані з експлуатаційними вимогами технологічного устаткування, що обслуговує ПР.

Економічні вимоги визначаються вартістю ПР і витратами, пов'язаними з його експлуатацією, і встановлюються з умов отримання планованого економічного

ефекту. Вибір ПР здійснюється шляхом порівняння необхідних характеристик з характеристиками існуючих моделей ПР.

Основними технічними характеристиками ПР є: вантажність (від 0,02 кг до декількох десятків кілограмів), кількість ступенів рухливості (1-7), кількість рук (1-4), вид приводу (електричний, пневматичний, гідравлічний), система керування (циклова, позиційна, контурна, універсальна), керування з використанням ЕОМ, кількість програмовних координат (2-7), похибка позиціонування ($\pm 0,03$... $\pm 3,0$ мм), найбільший виліт руки (2450 мм), кутове переміщення в градусах (до 360°).

Якщо серед існуючих моделей ПР відсутні моделі з необхідними характеристиками або їхнє придбання є неможливим, необхідно здійснити повторний аналіз технологічного процесу (операції) й об'єкта роботизації з метою зміни окремих вимог до ПР, що дозволить застосувати існуючі моделі.

Виходячи з того, що ПР, як правило, працюють у комплексі з основним технологічним устаткуванням у складі ГВК (гнучкого виробничого комплексу), вони мають задовольняти такі вимоги: стиковуваність (сумісність) з автоматизованим устаткуванням, у складі якого вони працюють; проведення робіт в автоматичному режимі; автоматичне перенастроювання під час зміни об'єктів виробництва за керуючими командами; надійність ПР має бути не нижчою за надійність автоматизованого устаткування, у складі якого він працює.

За ступенем спеціалізації ПР поділяють на спеціальні, спеціалізовані, цільові й універсальні; за конструктивним виконанням ПР можуть бути убудовані в устаткування й автономні (напільні, підвісні); за ступенем мобільності розрізняють ПР стаціонарні, рухомі; за системою координат – з прямокутною, циліндричною чи сферичною системою координат.

Промислові роботи мають широку сферу застосування. Так, вони можуть застосовуватися як виробничі роботи для виконання операцій: складання (згвинчування, зварювання, склеювання, запресовування); монтажу (паяння, накрутки);

захисно- декоративного покриття (фарбування, лакування, гальванічного); контролю (вхідного, вихідного).

Як допоміжні засоби автоматизації ПР використовують для: транспортування (заготовок, деталей, інструмента, тари та ін.); упакування (укладання) виробів у тару; складання готової продукції, засобів оснащення й інструмента; вилучення відходів та ін.

Різноманіття конструкцій ПР з їхнім компонованням і технічними характеристиками настільки велике, що навести їх тут є не можливим. Цьому присвячено велику кількість спеціальної технічної літератури (каталогів і довідників).

Однак незалежно від типу і призначення ПР до його складу, як правило, входять такі основні вузли: маніпулятор (рука) – М; пристрій пересування – ПП (для рухомих роботів); пристрій керування – ПрК, що містить пульт керування, – ПК, запам'ятовувальний пристрій – ЗП, обчислювальний пристрій – ОП, блоки керування приводами маніпулятора і пристрою пересування – БКП (рис. 1.4).

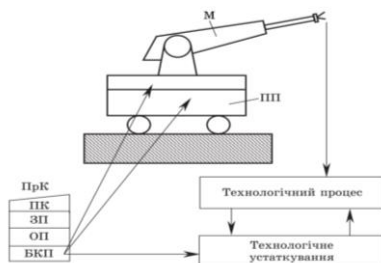


Рисунок 1.4 – Структура промислового робота

У процесі розвитку робототехніки, удосконалення промислових роботів і розширення сфери їхнього використання визначилися два самостійних, але взаємозалежних напрямки:

1) створення і виробництво роботів як машин принципово нового типу;

2) створення роботизованих виробництв, об'єктів і процесів (при цьому вирішуються задачі створення нових технологій, устаткування і виробництв у цілому, основаних на

використанні роботів та модернізації існуючих технологічних процесів шляхом їхньої автоматизації на базі застосування ПР).

Міжопераційні транспортні засоби

Транспортні засоби, що обслуговують автоматичні й автоматизовані лінії, є багаторівневими. Серед них можна виділити локальні (операційні), які були розглянуті вище, та засоби, що охоплюють міжопераційні, цехові та міжцехові вантажопотоки вихідних матеріалів і комплектуючих, заготовок, готових деталей і виробів, інструментів і технологічного оснащення, тари, відходів та ін. У масштабі підприємства транспортні зв'язки є складною розгалуженою мережею вантажопотоків.

Транспортні засоби мають обслуговувати горизонтальні, вертикальні і змішані вантажопотоки, виконуючи в більшості випадків одночасно і роль нагромаджувальних систем. Вибір виду транспортних засобів визначається характером вантажу й інтенсивністю вантажопотоків. Найважливішою транспортно-технологічною характеристикою вантажів є спосіб їхнього переміщення: у тарі, без тари, навалом, в орієнтованому положенні (у тому числі в технологічних касетах, супутниках).

Основними транспортними засобами міжопераційних і міжцехових (міжділянкових) переміщень виробів є конвеєрні системи й автоматичні візки (робокари). Конвеєри мають більшу пропускну здатність, ніж робокари, але меншу гнучкість унаслідок стаціонарного характеру устаткування. Для транспортування виробів від однієї ділянки до іншої використовуються механічні конвеєри таких типів: роликові, ланцюгові, стрічкові, пластинчасті, візкові, штовхальні та ін.

Найбільш перспективними транспортними засобами є конвеєри з автоматичним адресуванням вантажів, автоматичні транспортні візки, спеціальні пневматичні конвеєри.

Транспортування деталей, інструмента і комплектуючих здійснюється за допомогою систем, які залежно від способу адресування штучних фізичних одиниць поділяють на централізовані та децентралізовані. У децентралізованих системах адресувач переміщується разом з вантажем. На певній ділянці системи виконується розшифровка (зчитування) адреси

й у випадку збігу кодів (шифрів) приводиться в дію виконавчий механізм. За необхідності змінення заданого маршруту адресування здійснюється за допомогою ЕОМ, тому що адресувач не містить кінцевої адреси.

Система адресування може мати різне виконання – на герконах (герметизованих магнітокерованих контактах); індукційного типу з використанням генераторів Холла; фотоелектрична та ін.

Автоматичні транспортні візки мають певну універсальність і гнучкість, вони поділяються на рейкові і безрейкові, приводні (з кабельним підводом чи автономним живленням) і безприводні (з ланцюговим чи канатним тяговим органом). Найбільше застосування знайшли безрейкові транспортні візки завдяки простоті прокладення нових транспортних шляхів.

Рух безрейкового візка по заданій трасі здійснюється за допомогою системи фотодавачів чи блоку електромагнітних котушок. У першому випадку переміщення візка 3 (рис. 1.5, а) визначається покладеною уздовж шляхопроводу стрічкою 2 (наприклад, металізованою), відбивна здатність якої вище, ніж у поверхні шляхопроводу. У нижній частині візка перпендикулярно до напрямку руху розташовані джерело світла 1 і ряд фотоелементів 4.

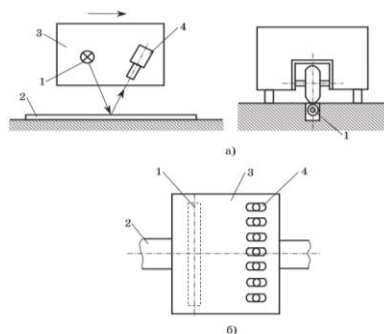


Рисунок 1.5 – Системи стеження за трасою автономного транспортного візка: а) фотоелектрична; б) електромагнітна

Відбите від носійної поверхні світло розділяється за яскравістю на два рівні, що відповідають сигналам «1» (від стрічки) і «0» (від шляхопроводу). При повороті стрічки (наприклад, вліво) включається ліва група фотоелементів і візок повертає вліво. Якщо стрічка має більш широкий відрізок, то освітлюється більша група фотоелементів, які формують команду на зупинення візка. Якщо в систему керування не надходять сигнали від фотоелементів, це означає, що візок зійшов зі стрічки, і видається команда на повне його зупинення.

У систему керування візком можна вносити кілька програм, які набираються натисканням відповідної кнопки на її пульті керування. Ведуться розробки щодо використання в оптичних давачах лазерного променя.

У другому випадку візок переміщується уздовж індукційного проводу 1, прокладеного в каналі підлоги на невеликій глибині (рис. 1.5, б). Електромагнітні коливання відносно низької частоти (8 кГц), генеровувані струмом, що протікає в проводі, приймаються системою стеження у вигляді антенних блоків із двома парами котушок. Сигнал розузгодження, формований однією парою котушок, пропорційний відхиленню антени від рівносигнальної лінії, а сигнал від другої пари є опорним при визначенні знака відхилення антени (вліво чи вправо). Після підсилення керуючий сигнал подається на кермовий привід візка.

Автоматичні технологічні засоби як основні (технологічне устаткування), так і допоміжні можуть функціонувати за умови оснащення їх відповідними периферійними давачами, відео-контрольними та іншими пристроями.

Давачі первинної інформації призначені для прямого і непрямого вимірювання параметрів об'єкта (геометричних, розмірних, фізико-механічних, електромагнітних, оптичних та ін.) до і після виготовлення; визначення положення в просторі робочих органів, тракторій їхнього переміщення, наявності і стану інструмента, а також режимів і параметрів протікання технологічного процесу та окремих операцій.

В автоматичних технологічних комплексах і промислових роботах знаходять усе більш широке застосування

системи технічного зору (СТЗ), що забезпечують зорове сприйняття зовнішнього середовища.

Давачі положення в ПР призначені для вирішення трьох задач: визначення рухомим елементом робота власного місця розташування, геометричних розмірів об'єкта маніпулювання і відстані до нього.

Для встановлення місця розташування рухомих частин ПР (наприклад, схопу) найчастіше використовуються електро-механічні і фотоелектричні (кодові) давачі. Як електромеханічні давачі використовують індуктивні й індукційні перетворювачі, багатообертові потенціометри, синусно-косинусні оберtnі трансформатори, селсицини.

Ведуться активні роботи з використання фотоелектронних давачів на приладах із зарядовим зв'язком (ПЗЗ), що дозволяють створити пристрої для визначення положення об'єкта з похибкою до 1 *мкм*. Крім позиціонування, такі пристрої здатні здійснювати безконтактний розмірний контроль деталі, контроль теплових деформацій верстата, діагностування інструментів тощо.

Для контролю розмірів і форми заготовки чи деталі застосовують давачі дотику – вимірювальні щупи у вигляді одиничного щупа, що забезпечує контроль по одній координаті, і трьохкоординатних вимірювальних головок зі змінними щупами для контролю складнопрофільованих виробів.

Для вимірювання тиску (зусиль деформації) застосовують давачі, в яких використовується тензорезистивний ефект.

Для виявлення рухомих і нерухомих об'єктів, визначення їхніх місць розташування в зоні обслуговування, а також здійснення наведення і захоплення деталей, що рухаються, застосовують оснащення промислових роботів локаційними давачами. Локаційні давачі поділяють на електромагнітні, акустичні, оптичні, пневматичні, радіотехнічні, фотонні з відповідним конструктивним виконанням.

Із систем очутливлення, що сприймають інформацію від зовнішнього середовища, найбільш важливою є зорова, тому що вона забезпечує сприйняття основної частки інформації, яка лежить за межами можливостей тактильних і локальних давачів.

Приймачами і первинними перетворювачами відеоінформації (відеодавачами) у системах технічного зору є телевізійні камери промислового телебачення на основі вакуумних трубок типу відикон і різні твердотільні перетворювачі, наприклад, ПЗЗ-камери, ПЗЗ-лінійки, фотоматричні перетворювачі, диссектори та ін.

Відеодавач у СТЗ може бути закріплений на схопі ПР, а може знаходитися у фіксованому положенні.

За допомогою систем технічного зору здійснюється виявлення, розпізнавання та ідентифікація об'єктів, визначення їхнього положення і координат. Звідси випливають основні вимоги до СТЗ: виконання основних функцій у режимі реального часу, тобто зі швидкістю ходу технологічного процесу без затримок і простоїв, і зменшення кількості оброблюваної інформації. Швидкодія цих систем залежно від їхнього призначення і способу апаратно-програмної реалізації обробки відеоінформації може знаходитися в межах від 10^{-3} до 10 с.

За виконуваними функціями СТЗ поділяють на розпізнавальні, оглядово-інформаційні і вимірювальні. Однак, як правило, одна СТЗ може виконувати декілька функцій.

Розрізняють також СТЗ із програмним виведенням інформації та з прямим доступом у пам'ять ЕОМ.

Останнім часом здійснюються спроби оснащення складальних автоматів системами технічного зору. На робочих укладальних головках, що працюють у системі координат X, Y, Z, встановлюються СТЗ, що забезпечують пошук компонентів для розміщення на друкованій платі і знакомісць, на які встановлюються компоненти поверхневого монтажу.

1.7 Автоматизоване технологічне устаткування та промислові роботи

Автоматизоване технологічне устаткування (АТУ)

У промисловості знаходить застосування устаткування різних видів, яке відрізняється технологічним призначенням, кількістю робочих позицій, системою керування та ін.

Найбільш широкий клас АТУ об'єднує устаткування з ЧПК, яке за кількістю робочих позицій поділяється на однопозиційне і багатопозиційне.

Однопозиційне АТУ з ЧПК характеризується певною гнучкістю й універсальністю, що забезпечує йому широке застосування в серійному та дрібносерійному багатомономенклатурному виробництві. До нього відносять АТУ для встановлення на друкованій платі джгутів і елементів проводового монтажу, АТУ механічної обробки та ін.

Багатопозиційне АТУ має високу продуктивність, але меншу універсальність і гнучкість, що зумовило їхнє широке застосування в крупносерійному і масовому виробництві. До такого виду устаткування відносять агрегатні верстати з ЧПК, автоматичні лінії, багатопозиційні спеціалізовані верстати з ЧПК.

За технологічним призначенням все різноманіття АТУ можна поділити на ряд груп:

1) АТУ, призначене для виготовлення деталей електронних пристроїв (механічна обробка, штампування, пресування, лазерна обробка та ін.);

2) АТУ складання і монтажу (автомати для підготування виводів ЕРЕ та інтегральних мікросхем, касетування, наклеювання ЕРЕ на стрічку, встановлення ЕРЕ на ДП; автоматичне устаткування для паяння, відмивання, вологозахисту та ін.);

3) АТУ призначене для контролю і діагностування об'єктів виробництва та устаткування.

Загальною конструктивною ознакою автоматичного технологічного устаткування є наявність комплексу механізмів реалізації робочих і холостих ходів, які здійснюють усі рухи робочого циклу, і механізмів керування, що координують їхню роботу.

Основні компоненти, що входять у комплекс АТУ, – пристрої, які виконують власне технологічні операції – робочі головки (головки для гнуття виводів ЕРЕ, їхнього випрямлення, формування, обрізки і лудіння, а також монтажу, свердління, точіння, фрезерування, паяння, зварювання та ін.); пристрої точного позиціонування (позиціонери, координатні столи);

пристрої керування, контролю і блокування; завантажувальні пристрої (магазинні, бункерно-магазинні); приводи; давачі.

Конструктивні особливості виробів, велике різноманіття дій і прийомів із з'єднання і закріплення деталей обумовлюють значну кількість варіантів конструктивних рішень складального автоматичного устаткування.

Для будь-якого АТУ, що реалізує одну чи кілька операцій з виготовлення деталей чи складання вузлів електронних засобів, основною задачею є послідовне виконання в часі переходів, пов'язаних з просторовим маніпулюванням об'єктами обробки і складання. А саме: вибір заготовки (деталі) з навалу, орієнтація заготовки в просторі, подання орієнтованої заготовки в зону обробки чи складання із заданим тактом, суміщення і базування об'єктів відносно один одного, зняття готового виробу з устаткування.

Кожен з перерахованих переходів просторового маніпулювання реалізується за допомогою відповідного механізму АТУ. Так, механізми захоплення і видачі деталей з навалу, орієнтації, сортування і касетування, нагромадження і видачі деталей з нагромаджувача, переміщення, позиціонування і суміщення відносяться до механізмів холостих ходів АТУ підготування ЕРЕ до складання і монтажу.

Механізми рихтування, обрізки, формування, лудіння, гнуття виводів ЕРЕ і паяння відносяться до механізмів робочих ходів АТУ складання і монтажу.

Змінення параметрів об'єкта виробництва в робочій зоні забезпечують робочі органи АТУ.

Виконавчі пристрої реалізують функції керування роботою елементів АТУ в системі автоматичного керування і регулювання.

Розглянуті раніше такі допоміжні механізми і пристрої, як завантажувально-розвантажувальні, транспортувальні, орієнтуючі, нагромаджувачі, живильники, давачі, у сукупності складають АТУ і додають йому певну індивідуальність з точки зору функціонування і конструктивного виконання.

Автоматизоване складальне устаткування

Основними операціями складання електронних вузлів на базі друкованих плат і електронних компонентів є: підготування плат і компонентів до складання; установлення ІС і ЕРЕ на ДП; паяння виводів ІС і ЕРЕ до контактних площадок і в монтажних отворах; установлення інших деталей (рознімачів, замків і т.ін.); контроль, настроювання, регулювання, вологозахист і приймально-здавальні випробування.

Однією з основних, найбільш трудомістких і відповідальних операцій, є установка та монтаж ІС і ЕРЕ на плату. Для виконання цієї операції застосовують два види устаткування – позиційного типу і потокового у вигляді автоматичної чи автоматизованої лінії.

В умовах крупносерійного малономенклатурного виробництва застосовують автоматичні лінії, що складаються з позиційних автоматів з одно-предметними нагромаджувачами. Кількість таких автоматів дорівнює кількості компонентів. Вони об'єднуються між собою за допомогою тактового транспортного пристрою з жорстким міжагрегатним зв'язком. Кожен монтажний автомат (модуль) оздоблений індивідуальним завантажувальним пристроєм, де зберігаються компоненти одного виду. Положення модуля щодо місця складання визначається положенням компонента на платі, воно незмінне і визначене заздалегідь. Таким чином, кожний монтажний автомат установлює тільки один компонент на платі, а плата переміщується транспортним пристроєм тільки на постійну величину, що дорівнює відстані між двома сусідніми модулями. Завантаження і вивантаження плат здійснюють маніпулятори. Роботою лінії керує ЕОМ.

Для дрібносерійного і серійного багатноменклатурного виробництва застосовують монтажні автомати позиційного типу, що входять у ГВМ. У їхніх завантажувальних пристроях знаходяться компоненти різних видів.

В умовах дрібносерійного і серійного виробництва широко застосовуються автомати, що мають певну універсальність і гнучкість, завдяки чому можуть установлювати на ДП компоненти різних типів.

Так, автомат моделі «ВУС ЭПУ-5000-1» призначений для установлення на платі конструктивно-технологічної групи ЕРВ № 10 у корпусах типу 4, підтипу 41, 43, 44, 45; конструктивно-технологічної групи № 12, безкорпусних мікросхем на гнучкому носії зі стрічковими виводами; конструктивно-технологічної групи № 12 у корпусах типу 5, підтипу 51, варіант 1 і 2; компонентів у чип-виконанні, конструктивно-технологічних груп № 11 і 14, виконання 1-3.

Автомат побудований за модульним принципом, містить від 3 до 6 складальних універсальних і спеціалізованих модулів.

До складу кожного складального модуля входять: двокоординатний маніпулятор; монтажна головка із захватами; транспортний тракт; блок вібраційних і стрічкових нагромаджувачів ВЕТ; механізм зміни вакуумних присосків; блок системи керування.

АТУ паяння

Для монтажу ВЕТ на ДП застосовується обладнання різного конструктивного виконання, автомати і напівавтомати, функціонально об'єднані в групу технологічного устаткування, що забезпечує формування електричних з'єднань за допомогою паяння, зварювання, скручування.

АТУ паяння є найбільш розповсюдженим у промисловості при виробництві друкованих плат.

Широке застосування знаходить устаткування типу: автомат моделі «АПМ-1» (ГГ-2129), призначений для групового паяння (згідно із заданою програмою) планарних виводів ІС до попередньо вилуджених контактних площадок ДП. Мікросхеми попередньо закріплюються на платі за допомогою дози клею.

Зазначене устаткування здійснює паяння хвилиною припою виробів електронної техніки зі штиревыми виводами, лудіння виводів ВЕТ і мікросхем, встановлених у спеціальних касетах, а також лудіння друкованих плат з дозуванням припою на контактних площадках.

В умовах крупносерійного і масового виробництва знаходить застосування лінія паяння, до складу якої входять: модуль знежирювання; модуль флюсування; модуль підігріву;

модуль паяння; транспортер з кареткою; модуль обдуву плати; модуль очищення повітря.

Лінія забезпечує виконання таких операцій: знежирювання вузлів; вилучення залишків розчинника струменем повітря; флюсування; підігрів плати і підсушення флюсу; паяння і тепловідвід струменем повітря.

Лінія виконує паяння хвилею припоєю ВЕТ і ІС зі штиревидними виводами, а також гаряче лудіння ДП із дозуванням припоєю на контактних площадках. Застосовується в умовах серійного виробництва.

АТУ проводового монтажу на ДП

Широкі технічні можливості проводового монтажу, його економічність в умовах дрібносерійного і серійного виробництва призвели до розробки програмованого автоматичного устаткування і появи численних технологічних варіантів реалізації цього виду монтажу: стежковий, багатопроводовий з фіксуванням проводів, незакріпленими проводами та ін. Порівняно з друкованим монтажем вони мають ряд переваг, зокрема: підвищена щільність монтажу завдяки можливості багаторазового перехрещування проводів на одній поверхні; спрощення процесу трасування для складних плат; мінімізація довжини з'єднань за рахунок прокладки проводів найкоротшим шляхом; зменшення взаємних завад; простота програмування процесу і внесення змін у схему трасування.

Стежковий монтаж є процесом трасування ізольованих монтажних проводів на платі за найкоротшими відстанями з утворенням у монтажних отворах петель, що підпаюються до контактних площадок ДП (див. рис. 1.6). Монтажний провід марки ПЕВТЛК діаметром 0,1–0,2 мм розмішують у неупорядкованому вигляді на боці, протилежному боку установлення навісних елементів. Петлі проводу виводять через неметалізовані монтажні отвори на бік установлення навісних елементів. Емалева ізоляція проводу вилучається в процесі лудіння і наступного паяння.

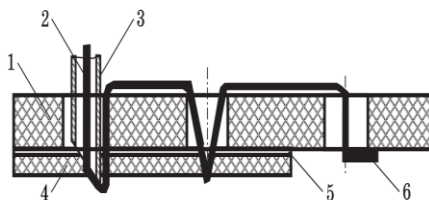
Контактні площадки для підпайки петель мають квадратну чи прямокутну форму з розмірами не менше 1,5 Ч 1,5 мм.

Шар кабельного паперу захищає друкований монтаж у процесі наступного лудіння петель. Гумова прокладка, затримуючи провід при зворотному русі голки, утворює петлю з проводу. Петля фіксується в шарі гуми і не витягується з монтажного отвору.

Після трасування проводів гумові прокладки видаляють. Паперова маска вилучається після лудіння петель. Лудіння здійснюється припоєм ПОС-61 при температурі 280 °С з використанням флюсу ФТК.

Трасування монтажного проводу виконують на автоматі моделі «АМУ. ПП-01». Автомат складається з електромеханічного верстата для автоматичного прошивання плат і пристрою керування з фотозчитувальним пристроєм.

Перед прошиванням, типову ДП установлюють на координатний стіл монтажного автомата на маску з кабельного паперу і 2-3 прокладки з кремнійорганічної гуми товщиною 0,5 мм.



1 – друкована плата; 2 – ізолюваний провід; 3 – порожниста голка;
4 – прокладка з гуми; 5 – паперова маска; 6 – паяне з'єднання.

Рисунок 1.6 – Схема процесу трасування зв'язків за методом стежкового монтажу

Потім координатний стіл виводять у нульову точку і прошивають ДП проводом. Для прошивання використовують порожнисті голки діаметром 0,5-0,6 мм (зовнішній діаметр). Голка виготовляється з неіржавіючої сталі з кутом заточення робочої частини, рівним 50–75°. Довжина голки 25-35 мм.

Продуктивність автомата 1200 з'єд./год. Величина ходу координатного столу по осях X і Y дорівнює 300 Ч 300 мм.

Швидкість переміщення координатного столу по осях X і Y – 6 м/хв. Похибка позиціонування столу – 50 мкм.

Багатопроводовий монтаж з фіксуванням проводів оснований на прокладанні ізольованих проводів по поверхні ДП, на яку нанесено адгезійний шар. Провід фіксується в клейовому шарі. Для цього застосовується клей марки ВК-32-200. Для монтажу застосовують провід у високоміцній поліімідній ізоляції діаметром 0,1-0,2 мм.

Укладання проводу на плату здійснюються за допомогою спеціальної головки у відповідності з заданою програмою. Оптимальні режими притискання проводу до адгезійного шару: часто та УЗ-коливань 45 кГц, амплітуда 0,01 мм, тиск 0,016-0,018 МПа. Після укладання проводів їх закріплюють у шарі адгезива остаточним пресуванням за температури 160-180 °С і тиску 1,0-1,5 МПа. З'єднання проводів з елементами ДП здійснюється металізацією монтажних отворів.

Монтаж незакріпленими проводами здійснюється на устаткуванні, аналогічному розглянутому вище. Прокладені проводи відразу з'єднуються з контактними площадками ДП паянням чи зварюванням. При цьому використовуються одножильні нікелеві проводи діаметром 0,2-0,3 мм у фторопластовій ізоляції.

Проводовий монтаж за методом прямих відрізків

Процес монтажу полягає в розведенні ізольованого проводу прямими відрізками на ДП. Плата є типовою двосторонньою ДП (ДДП) з постійною топологією рисунка і наскрізними металізованими отворами. Контактні площадки ДП попередньо покриваються сплавом ОС гальванічним способом. Провід автоматично без попереднього зняття ізоляції і лудіння відрізка проводу, що паяється, суміщується з контактною площадкою. Провід може укладатися на контактну площадку під будь-яким кутом стосовно її осі. Після суміщення елементів, що з'єднуються, розщеплений електрод опускається на провід і із заданим зусиллям притискає його до гальванічного ОС-покриття контактної площадки, потім на електрод подається розігрівачий імпульс струму (до температури 700-800 °С). У

результаті ізоляція на проводі оплавляється і тим самим здійснюється електричний контакт електрода з жилою проводу. Потім на електрод подається другий імпульс струму, що здійснює безпосереднє розплавлення ОС-сплаву і провід занурюється в розплав. Після підняття електрода розплав ОС кристалізується, формуючи з'єднання.

Провідний монтаж за методом прямих відрізків реалізується на спеціальному устаткуванні.

Відповідно до технологічного процесу підготовлену плату встановлюють на координатний стіл автомата, на якому потім здійснюють трасування і приєднання проводів.

Виконавчий пристрій складається з двох частин: рухомого координатного столу, на якому встановлюється типова плата, і поворотної зварювальної головки, де розташовані вузли і механізми, що реалізують програму приєднання проводів до плати.

Переміщення координатного столу відносно поворотної зварювальної головки забезпечує прокладення проводу на ДП у певному напрямку.

Технологічний процес приєднання проводу до контактної площадки на автоматі включає такі операції: переміщення стола в задану точку; поворот зварювальної головки в напрямку траси прокладення проводу; приєднання проводу до контактної площадки плати; переміщення стола до другої заданої точки; протягнення проводу і контроль якості з'єднання з певним зусиллям натягу проводу; обрізка проводу.

Найбільш відповідальною є операція приєднання проводу до контактної площадки плати. Вона починається з вмикання електромагніта головки і захоплення проводу губками. Далі здійснюється подання проводу під торці електродів, притискання проводу до контактної площадки електродами і подання на них трьох імпульсів струму. Перший імпульс розігріває електроди, що руйнують ізоляцію на проводі, другий – нагріває з'єднувальні елементи, що призводить до утворення паяно-зварювального з'єднання. Третій імпульс діє, коли електроди піднято, і дозволяє зачистити їхню поверхню від часток прилиплої ізоляції.

Агрегатні верстати з ЧПК

Агрегатними вважаються багатошпindelьні верстати, зібрані з нормалізованих і частково спеціальних вузлів (модулів). На верстатах такого типу можна виконувати різні операції, пов'язані як з механічною обробкою (свердління, зенкерування, нарізування, розточування, фрезерування та ін.), так і зі складанням.

Агрегатні верстати (АВ) мають високу продуктивність і досить високу надійність. Рівень уніфікації конструктивних механізмів і вузлів АВ складає приблизно 90 %, що істотно спрощує їхнє проектування, виготовлення, налагодження й експлуатацію. Модульний принцип конструювання і компонування верстатів забезпечує певну їхню універсальність і гнучкість.

За допомогою агрегатних верстатів повною мірою реалізується групова технологія обробки і складання виробів.

До уніфікованих модулів агрегатних верстатів із ЧПК відносять стояки зі шпindelьними бабками, столи, механізми автоматичної зміни заготовок, гідроустаткування, силові головки, складальні головки, монтажні головки, механізми подання деталей та ін.

Стійки зі шпindelьними бабками і складальними головками можуть випускатися з горизонтальною і вертикальною віссю шпindelя і складальної головки.

Столи виготовляють різної конструкції – хрестоподібні, одно-координатні, хрестово-поворотні і похилисто-поворотні, з горизонтальною і вертикальною віссю обертання планшайби.

Агрегатні верстати оснащуються позиційними чи комбінованими пристроями ЧПК, що забезпечують роботу верстата в автоматичному режимі.

Агрегатні верстати залежно від особливостей виконуваної роботи компонують за різними схемами: одно- і багатопозиційні; одно- і багатобічні; одно- і багатошпindelьні; у вертикальному, горизонтальному, похилистому чи комбінованому виконанні.

Агрегатування верстатів має охоплювати в першу чергу розділення обробляючого чи складального АТУ на функціональні вузли (силові головки, транспортні вузли, вузли

живлення, знімання, заміни інструмента тощо), що диктується умовами переналагоджуваності при зміні технологічних операцій і процесів. В окремих випадках при змінюванні номенклатури виробів виникає необхідність заміни окремих елементів самих функціональних вузлів, що обумовлює агрегатний принцип їхньої побудови.

У зв'язку з різноманіттям складальних процесів виробництва електронних пристроїв при створенні обмеженого ряду типових вузлів складальних АТУ виникають певні труднощі.

Основним типовим вузлом складального АТУ є робоча складальна головка, яка, виходячи з принципу уніфікації й агрегативання, у свою чергу складається з типових вузлів: постачання елементів, захоплення, орієнтації деталей, їхнього поштучного відділення і переміщення в зону складання.

Агрегативання технологічного устаткування передбачає широку уніфікацію за багатьма параметрами: за формою, габаритними розмірами, посадковими місцями та ін. Створення технічно обґрунтованого типорозмірного ряду агрегатних вузлів АТУ, зокрема, робочих складальних головок, має велике значення для вирішення задач компонування АТУ й автоматичних ліній на основі агрегативання, а також формування умов найбільш раціонального і швидкого переналагодження складального АТУ.

Важливим питанням компонування агрегатних складальних АТУ й АТУ механообробки є визначення доцільної концентрації технологічних операцій, що впливає на компонувальну схему устаткування і на кількість необхідних позицій. В агрегатних верстатах однопозиційного типу обробка заготовки здійснюється при незмінному її положенні, у багатопозиційних верстатах виконується паралельно-послідовна обробка (тобто деталь змінює своє положення). Застосування однопозиційних схем компонування складального устаткування доцільне під час створення автоматів простої дії, напівавтоматичних складальних робочих машин з автоматичним поданням однієї-двох деталей, що складаються. Ефективним є застосування однопозиційних автоматів (напівавтоматів) у тих випадках, коли рухи подання, з'єднання і

закріплення деталей виконуються одним інструментом за один робочий хід.

Багатопозиційні складальні автомати (напівавтомати) відрізняються від однопозиційних наявністю транспортного механізму, що здійснює міжпозиційне переміщення складених деталей. При цьому взаємне переміщення деталей у результаті завершується їхнім з'єднанням.

Агрегатні переналагоджувані верстати з ЧПК є ефективним засобом автоматизації серійного і крупносерійного виробництва зі змінюваною номенклатурою виробів. Переналагодження агрегатного устаткування на обробку (складання) різних виробів полягає в заміні керуючої програми, а іноді ще в заміні пристосування.

Точнісні 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 складається 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 складених деталей перед їхнім з'єднанням, 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 з'єднанням не перевищувала припустимих значень. Цю умову можна виразити у вигляді:

$$\Delta \Sigma_{max} \leq |\Delta_R|, \quad (1.18)$$

де ΔU_{max} – максимальне значення сумарної похибки відносної орієнтації збираних деталей;

Δ_R – величина, обумовлена видом з'єднання та групою посадки.

Припустима похибка відносної орієнтації складених деталей визначається видом з'єднання та точністю виготовлення з'єднуваних 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 подати функцією

$$\Delta_{\Sigma} = f(\Delta'_{\Sigma}, \Delta_{\delta}, \Delta_{CG}), \quad (1.19)$$

де Δ' – 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 пристосування.

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' виходять з конструкції складального верстата.

Похибка базування деталей на позиції складання Δ_{δ} обумовлюється обраною схемою базування. Під час вибору 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_{CT} є похибкою 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.

Кількісне визначення сумарних похибок відносної орієнтації та базування деталей при складанні викладено в роботах П. Ф. Дунаєва, Н. А. Бородачова, А. Ф. Фоміна.

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 $Q_{Ц}$ технологічного автомата визначається кількістю продукції, яку виготовлено на ньому за одиницю часу:

$$Q_{Ц} = 1/T_{ц} = 1/(t_p + t_x), \quad (1.20)$$

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, визначатимуться по-різному залежно від структури автомата, типу приводу та ін.

Наприклад, у складальних автоматах під час складання ДП можна виділити такі елементи циклу: переміщення ДП у задану позицію $t_{дп}$, пошук потрібного компонента t_k , доставка його в зону дії робочої головки $t_{дк}$, 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

$$Q_{Ц} = (t_{дп} + t_k + t_{дк} + t_y + t_{np})^{-1}.$$

Якщо деякі дії суміщуються (наприклад, пошук компонента та його доставка в зону дії робочої головки можуть бути суміщені з переміщенням плати в задану позицію), тоді

$$Q_{Ц} = (t_{дп} + t_y + t_{np})^{-1}.$$

Технологічну продуктивність автомата можна визначити за співвідношенням:

$$Q_T = 1/t_p \quad . \quad (1.21)$$

В автоматах безперервної дії (при $t_x = 0$), коли час холостих ходів відсутній, циклова продуктивність дорівнює технологічній, тобто

$$Q_{Ц} = Q_T, \text{ якщо } t_x = 0.$$

Однак циклова продуктивність не є вичерпною характеристикою продуктивності технологічних автоматів. Так, продуктивність протягом тривалого часу, наприклад, зміни, залежить ще від позациклових втрат, тобто має місце так звана фактична продуктивність.

Фактична продуктивність визначається згідно з формулою

$$Q_{\Phi} = (t_p + t_x + \sum_i^n t_{\text{ПЦ}})^{-1}, \quad (1.22)$$

де $\sum_i^n t_{\text{ПЦ}}$ – позациклові втрати.

За функціональними ознаками всі позациклові втрати (простой) технологічних автоматів можна поділити на п'ять видів.

1. *Простої за інструментом.* У ці простої входить час, що простоє устаткування через непрацездатність інструментів: отримання інструмента, установка його в робочу головку, зміна, регулювання та підналагодження.

2. *Простої за устаткуванням.* Устаткування простоє через поломки окремих механізмів, відмови в роботі, розрегулювання, забруднення тощо. Час простоїв за устаткуванням включає час на ремонт і регулювання механізмів, замінення зношених деталей і вузлів, очікування наладника.

3. *Простої з організаційних причин* виникають у тих випадках, коли устаткування працездатне, але відсутні зовнішні умови для його нормальної експлуатації: відсутні заготовки, деталі, компоненти, електроенергія, мають місце порушення обслуговувальним персоналом трудової дисципліни (несвоєчасний початок роботи, передчасне її закінчення та несанкціоноване залишення робочого місця), прибирання верстатів.

4. *Простої через брак.* Коли інструмент і механізми працездатні, є заготовки, деталі тощо, але результат роботи не відповідає вимогам якості. Тому, хоча устаткування і працює, але придатної продукції немає, і час, витрачений на випуск бракованої продукції, має бути віднесений до простоїв.

5. *Простої, пов'язані з переналагодженням* устаткування на випуск нових виробів – час, пов'язаний із заміною програмоносіїв, технологічного оснащення, затискних пристроїв.

Усі простої можна поділити 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 за інструментом й устаткуванням, простої, пов'язані з прибиранням верстата, налагоджувальний брак.

Організаційно-технічні простої обумовлені зовнішніми причинами (відсутність заготовок, деталей, переналагодження, брак у попередніх операціях, порушення обслуговувальним персоналом 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 є властивістю 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 розумітимемо технологічне устаткування (автомат, напів-автомат, автоматична лінія, гнучкий виробничий модуль тощо).

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 внаслідок 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 напрацювання.

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

$$f(t) = \frac{1}{m_{cp}} e^{-\frac{t}{m_{cp}}}, \quad (1.23)$$

де m_{cp} – середній час безвідмовної роботи АТУ, год;
 t – тривалість безвідмовної роботи АТУ, год.

Важливим показником безвідмовності є імовірність P , що АТУ працюватиме без відмов протягом 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

$$P(t) = e^{-\int_0^t \omega(t) dt}, \quad (1.24)$$

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 під час 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, є середнім часом безвідмовної роботи, чи середнім напрацюванням на відмову:

$$m_{cp} = 1 / \omega. \quad (1.25)$$

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

$$P(t)e^{-\omega t} = e^{-t/m_{cp}} \quad (1.26)$$

Показники надійності $P(t)$, ω , m_{cp} однаковою мірою дозволяють оцінити як надійність спрацьовування, так і технологічну (точнісну) надійність. Так, для надійності спрацьовування величина $P_1(t)$ означає імовірність того, що в АТУ протягом 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 замінення 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 V_{t_e} і коефіцієнт технічного використання z_{tex} , які одночасно є і важливими параметрами теорії продуктивності.

Власні позациклові втрати характеризують і безвідмовність, і ремонтпридатність

$$\sum t_e = \omega \theta_{cp} / T = \theta_{cp} / (m_{cp} \cdot T), \quad (1.27)$$

де ω – параметр потоку відмов;
 m_{cp} – середній час виявлення й усунення відмов, год;
 T – тривалість робочого циклу, год.

Коефіцієнт технічного використання визначають за співвідношенням

$$\eta_{tex} = \frac{1}{1 + (\sum t_e / T)} = \frac{1}{1 + (\theta_{cp} / m_{cp})} = \frac{1}{1 + \omega_{\theta} \theta_{cp}}, \quad (1.28)$$

де $\sum t_e$ – 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.

Промислові роботи в складі АТУ

Промислові роботи є універсальним засобом автоматизації виробничих процесів в умовах великої номенклатури і частоті змінюваності виробів. Вони можуть виконувати як основні, так і допоміжні операції з обслуговування технологічного устаткування. В умовах автоматизованих виробництв застосовують як складні ПР з розвиненими пристроями керування, так і найпростіші спеціальні.

Виходячи з особливостей роботи в умовах гнучких автоматизованих виробництв, до ПР висуваються відповідні вимоги, зокрема:

- виконання роботи в автоматичному режимі (це стосується і основних, і допоміжних операцій);
- відповідність технічного рівня ПР складності виконуваних робіт;
- автоматична перебудова за керуючими командами при змінненні номенклатури виробів, що випускаються;
- раціональне поєднання складності ПР зі складністю спеціального устаткування й оснащення, що забезпечує його роботу в автоматичному режимі;
- сумісність ПР за всіма параметрами з устаткуванням, у складі якого він працює;
- можливість здійснювати керуючий вплив на основне технологічне устаткування;
- висока надійність функціонування.

Вибір моделі ПР здійснюється, виходячи з його техніко-експлуатаційних характеристик і специфіки робіт, що передбачаються технологічним процесом виготовлення виробів.

Однією з важливих ознак промислових роботів є **рухливість** корпусу. З цього погляду існують різні варіанти конструктивного виконання ПР. Роботи з нерухомими корпусами широко застосовуються при обслуговуванні різного технологічного устаткування. Вони можуть встановлюватися на спеціальних підставках поруч з АТУ чи безпосередньо на ньому. Такі ПР добре поєднуються з обслуговуваним устаткуванням, зручні в експлуатації, але їхні технологічні можливості обмежені межами робочої зони.

Рухомі ПР (встановлені на підлозі чи підвісні) переміщуються уздовж устаткування на рейкових напрямних або по монорейках, що підвішені над обслуговуваним устаткуванням. Їхня перевага полягає в можливості обслуговування декількох одиниць устаткування. Це розширює їхні технологічні можливості, але трохи ускладнює процес експлуатації.

Рухливість ПР є однією з основних характеристик, що впливає на остаточне рішення в процесі вибору робота для виробничої системи. Перш за все визначається його необхідність – чи потрібний робот взагалі і який тип ПР краще застосувати (стаціонарний чи рухливий), потім уточнюються інші його характеристики.

Іншою важливою ознакою ПР є його вантажність, тобто здатність робота взяти, утримати і транспортувати виріб з певною масою. Надлегкі ПР із вантажністю до 1 кг широко застосовуються при складально-монтажних роботах у виробництві електронних пристроїв. Це в основному спеціалізовані швидкодіючі пневматичні чи електромеханічні роботи з двома-трьома ступенями рухливості і цикловим керуванням. ПР із вантажністю до 10 кг відносяться до групи легких. Застосовуються на багатьох видах робіт, що не вимагають високої швидкодії. Кількість ступенів рухливості порядку п'яти-шести. Привод може бути пневматичний, гідравлічний і електромеханічний. Система керування – циклова, позиційна.

ПР із більш високою вантажністю знаходять застосування в складі АТУ механічної обробки, штампування, транспортування виробів та ін.

Кількість маніпуляторів є не менш важливою характеристикою ПР, ніж його швидкодія, тому що вона впливає на продуктивність робота. Широке застосування знаходять одноманіпуляторні ПР для виконання транспортно-установлювальних операцій з виробами масою до 0,5 кг унаслідок простоти і надійності конструкції. Такі роботи забезпечують високу швидкохідність, жорсткість в умовах роботи з великими інерційними навантаженнями, мають, як правило, два-три ступеня рухомості.

Двоманіпуляторні ПР забезпечують суміщення операцій завантаження і розвантаження з машинним часом, за рахунок чого скорочується тривалість ТП. Завдяки цьому їх доцільно застосовувати при обслуговуванні гнучких технологічних модулів для транспортування виробів від одного верстата до іншого, взяття й установлення деталей у зону обробки і складання виробів та ін. Привод і керування маніпуляторами може бути як загальним, так і роздільним. Двоманіпуляторні ПР забезпечують велику гнучкість обслуговування АТУ різних видів, але значно більш складними є кінематика робота, пристрій керування і процес програмування робота.

Від **системи координат** істотно залежать технологічні можливості ПР. Найбільш простою є *прямокутна* система координат, яка забезпечує переміщення в зоні, що має форму паралелепіпеда. Конструкції роботів з такою системою координат найбільш прості і зручні для програмування, але технологічні можливості їх обмежені.

Циліндрична система координат забезпечує просторове переміщення маніпулятора, обмежене зоною у формі циліндра. Конструкція таких роботів відносно проста: вони мають трохи розширені технологічні можливості.

Найбільш універсальною є сферична система координат. Вона дозволяє значно розширити технологічні можливості роботів і спростити оснащення для їхнього обслуговування. Однак програмування роботів викликає значні труднощі, які можна усунути за допомогою використання ЕОМ.

Тип привода ПР є важливою характеристикою робота, яка дозволяє визначити його придатність для виконання запланованих робіт.

Приводи забезпечують переміщення маніпуляторів у потрібному напрямку, формують його параметри (зусилля, швидкість переміщення та ін.). Системи приводів істотно впливають на технологічні можливості ПР.

Пневмоприводи на базі пневматичних циліндрів і турбінок застосовують у роботах з вантажністю до 10 кг.

Перевага пневмоприводів полягає в простоті конструктивного виконання, надійності і зручності експлуатації. Однак технологічні можливості роботів із пневмоприводами є обмеженими в зв'язку з тим, що переміщення маніпуляторів здійснюється від упору до упору, тобто такі роботи працюють у режимі циклового керування. Крім того, виключено можливість керування швидкістю переміщень виробів.

Гідроприводи на базі гідроциліндрів і гідродвигунів застосовують в основному в ПР вантажністю понад 5 кг. Гідроприводи компактні, здатні розвивати великі зусилля, добре забезпечують регулювання зусиль у виконавчих механізмах і швидкостей їхнього переміщення.

Ці роботи мають позиційне і контурне керування.

Технологічні можливості роботів з гідроприводом вище, ніж роботів із пневмоприводом. Недоліками роботів цього типу є відносно невелика швидкохідність, залежність в'язкості мастила від температури, необхідність окремого джерела живлення – гідростанції. Незважаючи на це, застосування гідроприводу є перспективним в роботах з великою вантажністю.

Роботи з електроприводом мають велику технологічну гнучкість, прості в обслуговуванні і надійні в роботі, вони добре стикаються з АТУ. Такі ПР можуть мати позиційне і контурне керування, рідше – циклове.

В електроприводах використовують електродвигуни постійного і змінного струму, а також крокові двигуни.

Точність позиціонування ПР є дуже важливим параметром, тому що вона визначає точність виходу робочого

органу маніпулятора в задані точки і точність відтворення заданої траєкторії.

Промислові роботи з малою точністю позиціонування та похибкою більшою, ніж 1,0 мм, здатні виконувати транспортні операції та у деяких випадках основні операції, наприклад, фарбування, зварювання та ін. Низька точність позиціонування характерна для контурних і позиційних систем керування роботів із пневматичним чи гідравлічним приводом.

Роботи із середньою точністю позиціонування та похибкою від 0,1 до 1,0 мм використовують досить широко при обслуговуванні АТУ різних видів.

ПР із високою точністю позиціонування та похибкою меншою, ніж 0,1 мм, разом із системами позиційного керування в основному застосовують для складальних АТУ.

На точність позиціонування маніпуляторів впливають такі фактори:

- технологічні похибки виготовлення маніпуляторів і їхніх ланок;
- ефект накладання одночасних рухів декількох чи всіх ланок маніпуляторів, кожна з яких має свій привод;
- пружні властивості маніпулятора;
- зазори в кінематичних парах.

Зниження впливу зазначених факторів на точність позиціонування ПР досягається комплексним вирішенням конструкторсько-технологічних задач.

Хід маніпулятора ПР. Цей параметр регламентує можливість доставки виробів у зону обробки чи складання і є визначальним при виборі ПР для обслуговування устаткування чи організації робочого місця. Саме хід маніпулятора (довжина руки) визначає відстань між окремими одиницями технологічного устаткування при створенні автоматичних ліній.

Маніпулятори з малим ходом (до 300 мм) призначені в основному для надлегких і легких спеціальних і спеціалізованих ПР; із середнім ходом (до 1000 мм) – для ПР різної вантажності й універсальності з прямокутною, циліндричною, а іноді і зі сферичною системою координат; маніпулятори з великим ходом (понад 1000 мм) – для спеціалізованих і універсальних

роботів середньої і великої вантажності зі сферичною системою координат.

Зі збільшенням ходу маніпулятора значно розширюються технологічні можливості ПР, збільшується перелік обслуговуваного ними АТУ.

Керування АТУ

Автоматизоване виробництво базується на використанні устаткування з програмним керуванням, побудованого за модульним принципом. Основними модулями такого виробництва є верстати і технологічне устаткування з ЧПК, роботи-маніпулятори, транспортні засоби, пристрої автоматичного контролю тощо. Програмне керування АТУ ґрунтується на використанні програми – сукупності символів (цифр, букв і спеціальних знаків), яка визначає порядок дії устаткування в процесі обробки чи складання виробів.

Програмне керування реалізується за схемою (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Схема програмного керування

АТУ з програмним керуванням у функціональному відношенні поділяється на дві складові частини: керуючий пристрій (КП) і об'єкт керування. У КП завантажуються керуюча програма P , яку він інтерпретує у вигляді послідовності керуючих впливів, передаваних по каналах y_1, \dots, y_m . Об'єкт керування (АТУ), реагуючи на керуючі впливи y_1, \dots, y_m , виконує відповідні робочі дії. Поточний стан об'єкта відображується величинами x_1, \dots, x_n , що формуються давачами і надходять в КП у вигляді сигналів зворотного зв'язку. За

рахунок зворотного зв'язку КП формує послідовність дій відповідно до поточного стану АТУ. Для забезпечення взаємодії з іншими об'єктами (роботами, транспортними пристроями та ін.) у КП формується інформація S , що характеризує стан АТУ: момент закінчення окремих фаз процесу і виконання програм, початок переміщення деталі в робочу зону, момент подачі нового компонента для установалення на плату і т.ін.

Програмне керування АТУ забезпечує:

1) автоматичне функціонування АТУ відповідно до заданої програми;

2) гнучкість функціонування – можливість змінення процесу функціонування шляхом завантаження в АТУ іншої програми.

Як правило, програмне керування АТУ реалізується шляхом використання як КП обчислювального засобу (ЕОМ, мікропроцесорного пристрою).

Керуючий обчислювальний засіб (КОЗ) працює згідно з програмою, що зберігається в його пам'яті. Виділяють дві фази функціонування КОЗ:

1) завантаження програми (даних);

2) реалізація програми керування.

Завантаження програми зводиться до передавання інформації P через пристрій передачі даних, підключений до каналу введення-виведення, у пам'ять КП. Реалізація програми керування полягає в її інтерпретації – виконанні визначених у програмі дій над даними, що зберігаються в пам'яті, формуванні керуючих впливів y_1, \dots, y_m і введенні в КОЗ даних x_1, \dots, x_n про поточний стан АТУ.

Керуючі впливи y_1, \dots, y_m мають цифрову форму, тобто подаються у вигляді чисел і числових кодів (наборів цифр). Ці впливи мають бути перетворені у спеціальні сигнали (як правило, електричні), які керують роботою електромеханічних і інших пристроїв АТУ. Для перетворення числових значень і кодів y_1, \dots, y_m використовуються спеціальні блоки – пристрої спряження з об'єктом, на виході яких формуються сигнали y_1^*, \dots, y_m^* виду, що відповідає специфіці керованого об'єкта – верстата, ПР, устаткування, транспортного засобу. Стан керованого об'єкта характеризується специфічними фізичними

величинами y_1^*, \dots, y_n^* : кутовими і лінійними переміщеннями, напругами і струмами на виходах давачів та ін. Для введення в КОЗ ці величини мають бути перетворені в цифрову форму – числові значення і коди y_1^*, \dots, y_n^* . Величини x_1, \dots, x_n перетворюються пристроями спряження з об'єктом, тип яких залежить від природи x_1^*, \dots, x_n^* . Дані S про стан АТУ формуються згідно з програмою, яка обробляється КОЗ, і виводяться через канал введення-виведення і пристрій передачі даних.

КОЗ, пристрої спряження з об'єктом і передачі даних є технічними (апаратними) засобами системи керування, які функціонують за допомогою програмних засобів. Програмні засоби є сукупністю програм, що визначають порядок реалізації функцій системи керування. Залежно від призначення програмні засоби поділяють на обслуговуючі і функціональні (технологічні).

Таким чином, керування АТУ полягає в передаванні до нього даних, що настроюють устаткування на виконання певних функцій, які потім реалізуються автоматично протягом заданого інтервалу часу.

Керуюча технологічна програма (КТП) має містити усі види керуючої інформації: геометричну (адреса і величина переміщення, напрямки рухів за відповідними координатами); технологічну (швидкість руху, напрямок руху, вид інструмента, режим роботи, циклова інформація, корекції та ін.); допоміжну (вид інтерполяції, початок чи кінець кадру, кінець програми, можливість зміни інструмента та ін.); службову (скасування зчитування інформації, вмикання чи вимикання керування та ін.).

Під час створення КТП можна виділити кілька етапів:

- 1) аналіз креслення виробу і перевірка його відповідності вимогам технологічності;
- 2) розробка ТП, заповнення операційної карти чи, за наявності готового ТП, підбір необхідної технологічної інформації для КТП;
- 3) розрахунок і креслення траєкторії руху інструмента, укладальної головки, координатного столу та ін. (визначення початку розрахункової системи координат і опорних точок,

розрахунок величин переміщень, визначення напрямку руху і т. ін.);

4) кодування отриманої на попередніх етапах інформації і формування кадрів КТП;

5) перенесення керуючої програми на носій – запис програми;

6) контроль і налагодження КТП, передача її у виробництво.

Розробка КТП для складального АТУ здійснюється на основі складального креслення ДП і даних про устаткування, елементну базу, спосіб розташування ІС і ЕРЕ на платі, систему ЧПК АТУ чи КОЗ.

Основним документом, на основі якого розробляється КТП, є креслення ДП, яке містить інформацію про координати встановлених ВЕТ, їхню орієнтацію і прив'язку до базових отворів.

У загальному випадку для розробки КТП необхідні такі документи:

- технічне завдання (ТЗ) на розробку КТП. ТЗ має містити позначення плати, специфікацію ВЕТ, їхню кількість, орієнтацію, спосіб монтажу – індивідуальний, у касетах, у стрічці;

- креслення плати із зазначенням координат установа ВЕТ;

- технічний паспорт устаткування, що містить інформацію про його техніко-експлуатаційні характеристики.

Автоматизована розробка КТП може здійснюватися з використанням ЕОМ будь-якого типу. Технологічні обмеження на розташування і послідовність монтажу компонентів у процесі автоматичного складання друкованого вузла формують на основі аналізу «вільних зон» для кожного компонента і мінімального сумарного часу їхнього розміщення на платі.

Кодування КТП здійснюється на основі прийнятого коду. Найпоширенішим є код «ІСО» (ISO). КТП для систем ЧПК складального АТУ вводиться кадрами в кодах.

Кадр програми, як правило, містить такі основні і допоміжні команди: номер кадру – 4 рядки; допоміжна функція – 3 рядки; ознака орієнтації ВЕТ – 3 рядки; переміщення по осі

X – 5 рядків; переміщення по осі Y – 5 рядків; кінець кадру – 1 рядок.

Будь-яка із зазначених команд у конкретному кадрі може бути відсутньою. Кожна записана інформація має ознаку і зміст, причому нулі перед значущими цифрами в числових даних опускають.

Остаточне налагодження КТП здійснюють під час монтажу ВЕТ на контрольній платі (тест-платі).

Приклад. Розробити КТП для установлення ЕРЕ на плату (див. рис. 1.8) на автоматі з керуванням від ЕОМ. Інформацію про складений вузол, необхідну для розробки програми, наведено в табл. 1.2.

КТП для складання модуля має вигляд:

П1-П8

01X10000Y10000S1

X02000Y01000Z01500JCO

X02000Y01500Z01500ACO

X04000Y01000Z00000ACO

X0Y000Y01500Z00500ACO

X03000Y02000Z01000FCO

X03000Y02500Z01000FCO

X03000Y03000Z01000ACO

X03500Y03500Z01000JCO.

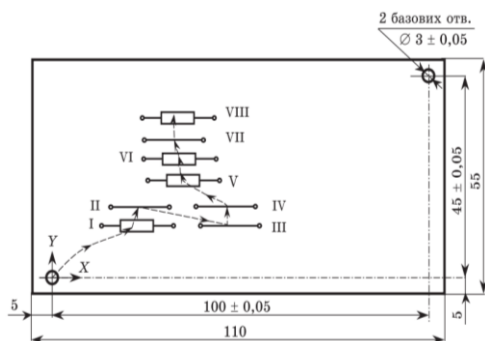


Рисунок 1.8 – До розробки КТП для АТУ складання

Таблиця 1.2 – Вихідні дані до розробки КТП

Тип ЕРЕ і позначення за кресленням	Координати центра ЕРЕ, мм		$L_y, \text{мм}$	$d_в, \text{мм}$	$d_к, \text{мм}$	$L_к, \text{мм}$
	X	Y				
МЛТ-0,5 I	20	10	17,5	0,80	4,2	10,8
Перемичка II	20	15	17,5	0,64	–	–
Перемичка III	40	10	10,0	0,64	–	–
Перемичка IV	40	15	12,5	0,64	–	–
МЛТ-0,25 V	30	20	15,0	0,60	3,0	7,0
МТ-0,25 VI	30	25	15,0	0,60	2,7	8
Перемичка VII	30	30	15,0	0,64	–	–
МЛТ-0,5 VIII	35	35	17,5	0,80	4,2	10,8

Позначення: L_y – міжцентрова відстань монтажних отворів, у які встановлюється ЕРЕ; $d_в$ – діаметр виводів ЕРЕ; $d_к$ – діаметр корпусу ЕРЕ; $L_к$ – довжина корпусу ЕРЕ.

У першому кадрі записано ім'я програми. Воно починається з літери I, може містити до 78 символів. У другому кадрі дана прив'язка модуля, тобто наведено його координати X і Y, виражені цілим числом у кроках (1 крок = 0,01 мм). Одиниця означає, що збираний модуль знаходиться в першій чверті окружності поворотного столу (позначення чвертей аналогічно квадрантам у нарисній геометрії). Третій кадр і наступні – це кадри установаження ЕРЕ на плату. Координати центрів елементів прив'язано в них до нуля локальної системи координат, за який звичайно приймають один з базових отворів плати, наприклад, нижній лівий з боку монтажу ЕРЕ. Число Z00000 характеризує величину розведення правої і лівої половин укладальної головки, яку подають цілим числом у кроках і розраховують за формулою

$$Z = 2(L_y - Z_r + d_в),$$

де Z_r – параметр, що характеризує настроювання укладальної головки, ($Z_r = 10,6$ мм).

Символи A, J, F характеризують висоту установлення ЕРЕ над платою, яка залежить від $h_y = 0,5(d_e + d_k - 1)$. Символ, що відповідає величині h_y , вибирають з табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Чисельні значення величини h_y і відповідні їм символи

h_y	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	...	
Символи	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	...	
...	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2
...	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z

Символ C означає «УСТАНОВИТИ ЕРЕ З КОНТРОЛЕМ НАЯВНОСТІ». Замість нього може бути записаний символ N чи P (N – установлення ЕРЕ без контролю наявності; P – вимога переносу нульової точки локальної системи координат у наступну точку для складання іншого модуля).

Останній символ – команда для поворотного столу. Заміна символу 0 на 1 (чи навпаки) означає поворот столу на 90° . Цю команду дають при переході від складання одного модуля до іншого чи від монтажу ЕРЕ паралельно осі X до монтажу елементів паралельно осі Y (чи навпаки).

Аналогічно створюються керуючі програми для установлення інтегральних схем і інших компонентів на плату за допомогою складальних автоматів з керуванням від ЕОМ.

1.8 Автоматичні лінії та роботизовані технологічні комплекси

В умовах малономенклатурного виробництва найбільш ефективним є застосування високопродуктивного спеціального технологічного устаткування, об'єднаного автоматичними транспортно-завантажувальними пристроями в спеціалізовані автоматичні лінії (АЛ).

Відмінною рисою автоматичних ліній як комплексних автоматичних систем є замкненість їхніх внутрішніх зв'язків,

створюваних у межах ліній відповідними транспортно-накопичувальними системами.

Як відомо, під структурою будь-якої складної технічної системи розуміють інформацію про кількість і види її підсистем та характер функціональних зв'язків між ними. До основних структурних характеристик АЛ відносять:

- кількість одиниць АТУ (чи робочих позицій) g , через які має пройти будь-яка оброблювана деталь для виконання заданого обсягу обробки, контролю чи складання;

- кількість паралельно працюючих одиниць устаткування (чи робочих позицій) P , на яких можуть виконуватися однакові операції;

- кількість ділянок-секцій n_d , на які розділено систему з g послідовно працюючих верстатів (робочих позицій).

Поняття «технологічна ділянка» і «ділянка-секція» різні. Кожна технологічна ділянка охоплює групу устаткування аналогічного технологічного призначення (заготівельна, токарська, фрезерна, термічна, складальна). Взаємозв'язок устаткування в межах технологічних ділянок може бути різним.

Ділянка-секція – це сукупність верстатів-автоматів, конструктивно об'єднаних у єдину систему, яка працює у певному ритмі таким чином, що вихід з ладу будь-якого конструктивного елемента призводить до відмови усієї ділянки-секції.

Саме співвідношення кількості послідовно з'єднаних у лінії одиниць АТУ g і кількості ділянок-секцій n_d визначає важливу структурну ознаку АЛ – вид міжагрегатного зв'язку. Основні варіанти однопотоківих ($P = 1$) АЛ наведено на рис. 4.9.

Автоматичні лінії, що складаються тільки з однієї ділянки-секції ($n_d = 1$), де усі верстати працюють в одному циклі, називаються *лініями з жорстким (синхронним) міжагрегатним зв'язком* (рис. 1.9, а). Якщо кількість ділянок-секцій дорівнює кількості верстатів ($n_d = g$), тобто кожна ділянка-секція складається з одного верстата, то міжагрегатний зв'язок такої лінії називається *гнучким (несинхронним)*. У АЛ із гнучким (несинхронним) міжагрегатним зв'язком (рис. 1.9, в)

між кожною парою верстатів є накопичувач міжопераційних заділів.

Проміжними є варіанти з поділом АЛ на ділянки-секції, у кожній з яких об'єднано кілька верстатів ($l < n_d < g$, рис. 1.9, б).

У жорстких (синхронних) АЛ виробни завантажуються, обробляються і передаються від верстата до верстата одночасно чи через кратні проміжки часу. У таких АЛ завантаження здійснюється на початку лінії. Будь-яка заготовка, що надійшла на вхід лінії, може бути видана як готовий виріб тільки на виході даної лінії. При виході з ладу хоча б одного з верстатів всі інші вимикаються і лінія простоює. На рис. 1.9, а наведено компоувальну схему однопотокової АЛ із жорстким міжагрегатним зв'язком. При створенні таких ліній прагнуть забезпечити мінімальний цикл роботи.

Жорсткі (синхронні) АЛ характеризуються високою продуктивністю та високою взаємозалежністю всіх компонентів ліній, що висуває високі вимоги до надійності кожного верстата і допоміжних пристроїв.

Головними вимогами до основного і допоміжного устаткування таких АЛ є забезпечення продуктивності і надійності в процесі тривалої експлуатації і високий рівень автоматизації виконуваних операцій. Надійність і ресурс основного технологічного устаткування, допоміжних пристроїв і засобів автоматизації обмежені терміном випуску масової продукції. До засобів автоматизації даних АЛ не висуваються вимоги переналагоджуваності та функціональної взаємозамінності, що визначає відносну простоту їхніх конструкцій.

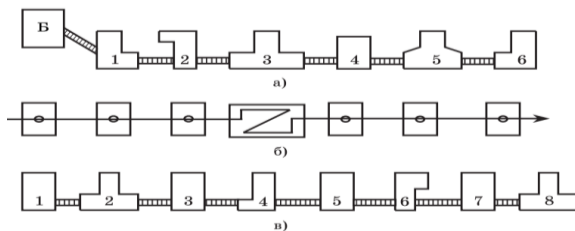


Рисунок 1.9 – Однопотоківі АЛ з різними видами міжагрегатного зв'язку: а) із жорстким зв'язком ($n_0 = 1$); б) з поділом на ділянки-секції

($1 < n_0 < g$); в) із гнучким міжагрегатним зв'язком ($n_0 = g$)

У більшості АЛ подібного типу використовуються традиційні засоби автоматизації допоміжних операцій: бункерні завантажувальні пристрої, автоматичні постачальники, автооператори різних типів, конвеєри, підйомно-поворотні столи та ін. Однак існуюча тенденція частого зміни конструкцій і властивостей виробів, що випускаються, викликає необхідність періодичного переналагодження діючих АЛ, повного або часткового змінення їхньої структури, заміни устаткування та засобів автоматизації. Іншими словами, термін експлуатації жорсткої АЛ, орієнтованої на випуск конкретної продукції, скорочується внаслідок морального старіння об'єкта виробництва.

Підвищити експлуатаційну надійність АЛ можна шляхом переходу від жорстких до гнучких (несинхронних) автоматичних ліній. Несинхронні АЛ складаються із самостійно діючих верстатів, розділених міжопераційними накопичувачами деталей (рис. 1.9, в).

Сьогодні існують різні тенденції автоматизації серійного виробництва, що приймає переважний характер у виробництві електронної апаратури, зокрема:

а) застосування переналагоджуваних верстатів, об'єднаних у переналагоджувані автоматичні лінії з гнучким (несинхронним) зв'язком;

б) створення автоматичних ліній з програмним керуванням із верстатів з ЧПК.

Новим у створенні несинхронних переналагоджуваних автоматичних ліній є їхня гнучкість стосовно складу операцій і технологічного процесу. Такі переналагоджувані і перенастроювані АЛ у загальній структурі виробництва займають проміжне положення між ГВС і традиційними АЛ, зберігаючи в обмеженому обсязі властивості переналагоджуваності та гнучкості і забезпечуючи високу продуктивність за рахунок концентрації операцій і автоматизації основних і допоміжних (у тому числі транспортно-завантажувальних) робіт.

Застосування переналагоджуваних несинхронних АЛ забезпечує:

- уповільнення процесу морального старіння дорогого верстатного устаткування, використовуваного в середньо- і крупно-серійному виробництві;

- можливість одночасного (з автоматичним вибором потрібного ТП) чи послідовного залежно від замовлень виготовлення декількох різних деталей одного функціонального призначення, близьких за габаритними розмірами, матеріалом і вимогами точності обробки; те ж саме відноситься і до складальних АЛ;

- можливість внесення без зупинки виробництва змін у конструкцію виробів, що виготовляються на АЛ.

Використання в АЛ промислових роботів і числового програмного керування дозволяє різко розширити їхні технологічні можливості.

Більш широкі технологічні можливості мають багатопотокові автоматичні лінії порівняно з однопотоковими. Варіанти компонування, характерні для однопотокових АЛ, використовуються і для багатопотокових ліній. Багатопотокові АЛ створюються тоді, коли необхідна продуктивність не забезпечується одним технологічним потоком. На рис. 1.10

наведено компоновальну схему багатопотокової АЛ, поділеної на три ділянки.

Якщо тривалість робочого циклу різних ділянок-секцій неоднакова, то кількість паралельних потоків визначається таким чином, щоб у першому наближенні дотримувалася рівність циклової продуктивності

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \dots = \frac{P_i}{T_i} = const, \quad (1.29)$$

де P_i – кількість паралельних потоків i -ї ділянки;
 T_i – робочий цикл i -ї ділянки.

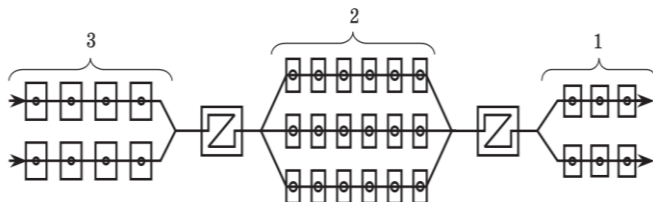


Рисунок 1.10 – Багатопотокова автоматична лінія, поділена на ділянки

Як правило, у процесі тривалого функціонування АЛ, навіть при повному забезпеченні всім необхідним кожна ділянка- секція має прості і позациклові втрати не тільки власні (викликані внутрішніми факторами), але і додаткові (обумовлені неповною компенсацією накопичувачами простоїв з'єдну-вальних ділянок).

При визначенні продуктивності АЛ розрахунок ведуть за останньою випусковою ділянкою, тому що саме вона випускає готову продукцію. Якщо позначити випускову ділянку індексом 1 (рис. 1.10), а попередні ділянки відповідно індексами 2, 3, ..., n_g , то додаткові простої першої ділянки матимуть місце через перебої в подаванні деталей від попередніх ділянок у такі моменти часу, коли проміжні порожні накопичувачі.

Розподіл АЛ на ділянки-секції не призводить до перерозподілу ТП чи зміни режимів виготовлення і тривалості робочого циклу T . Такий розподіл дозволяє підвищити надійність роботи і продуктивність АЛ в цілому при незмінних значеннях аналогічних показників убудованого устаткування. Тому для багатоділянкових АЛ основною задачею розрахунку продуктивності є чисельне оцінювання коефіцієнта використання.

У загальному вигляді продуктивність кожної АЛ визначається співвідношенням

$$Q_{ал} = \frac{P}{T} \eta_{ал} \gamma, \quad (1.30)$$

де P – кількість потоків виготовлення виробів на випусковій ділянці (кількість виробів, що видаються за період робочого циклу при безперебійній роботі);

T – тривалість робочого циклу випускової ділянки, хв;

$Q_{ал}$ – коефіцієнт використання АЛ як частка часу роботи випускової ділянки в загальному фонді часу з урахуванням власних, додаткових і організаційних простоїв;

γ – коефіцієнт виходу придатних виробів.

Продуктивність АЛ з жорстким зв'язком визначається за формулою:

$$Q_{ал,ж} = \frac{1}{t_p + t_x + t_{Пi} g}, \quad (1.31)$$

де $t_{Пi}$ – середні втрати одного вбудованого в лінію верстата;

t_p – час робочих ходів циклу, обумовлений тривалістю виготовлення на лімітуючій робочій позиції;

t_x – час холостих ходів циклу;

g – кількість верстатів.

Коефіцієнт технічного використання АЛ із жорстким зв'язком визначається за формулою:

$$\eta_{ал.жс} = \frac{1}{1 + (\sum t_{\Pi} / T)} = \frac{1}{1 + (t_{\Pi} g / T)} = \frac{1}{1 + B \cdot g}, \quad (1.32)$$

де $B = t_{\Pi} / T$ – позациклові втрати одного верстата (простої, віднесені не до одиниці продукції, а до одиниці часу безвідмовної роботи).

Продуктивність АЛ з жорстким зв'язком, виражена через коефіцієнт використання:

$$Q_{ал.жс} = \frac{1}{T} \eta_{ал.жс} = \frac{1}{T(1 + Bg)}. \quad (1.33)$$

Якщо усі верстати АЛ мають однаковий період робочого циклу T і однаковий рівень позациклових утрат t_{Π} , тоді при різних структурних варіантах лінія має однакову циклову продуктивність $Q_{Ц} = 1/T$ та різну величину коефіцієнта використання АЛ із жорстким міжагрегатним зв'язком

$$\eta_{ал.жс} = \frac{1}{1 + (t_{\Pi} \cdot g/T)} = \frac{1}{1 + Bg} = \frac{1}{1 + B_0}, \quad (1.34)$$

де B_0 – сумарні втрати заблокованої лінії.

Якщо лінія поділяється на ділянки-секції за методом рівних втрат, то при повній компенсації накопичувачами втрат сусідніх ділянок коефіцієнт використання буде

$$\eta_{ал.жс} = \frac{1}{1 + (B \cdot g / n_D)}, \quad (1.35)$$

де n_D – кількість ділянок лінії.

Неважко помітити, що величина $(B \cdot g / n_D)$ є втратою однієї ділянки, у якій жорстко заблоковано g/n_D верстатів. Таким чином, коефіцієнт використання АЛ, розділеної на n_D ділянок,

при повній компенсації втрат дорівнює коефіцієнту використання однієї ділянки.

Однак повна компенсація можлива тільки теоретично при нескінченній ємності накопичувачів. У реальних умовах коефіцієнт використання АЛ буде

$$\eta_{ал} = \frac{1}{1 + (B \cdot g / n_D)W}, \quad (1.36)$$

де W – коефіцієнт зростання позациклових втрат i -ї ділянки через неповну компенсацію втрат накопичувачами на межах ділянок ($W > 1$).

Виходячи з того, що працездатність АЛ оцінюють за останньою випусковою ділянкою, $(B \cdot g / n_D)$ визначає втрати випускової ділянки, а W характеризує величину додаткових втрат даної ділянки.

Аналітично додаткові втрати можуть бути виражені через коефіцієнти міжділянкового накладення втрат Δ_i , що показують чисельно, яка частка втрат i -ї ділянки передається на останню випускову ділянку через накопичувачі. Наприклад, величина $\Delta_{21} = 0,2$ означає, що завдяки накопичувачу на межі першої і другої ділянок 80 % втрат другої ділянки компенсуються, а 20 % втрат передається на першу ділянку при граничних станах накопичувача (переповнення чи спустошення).

Накладення втрат відсутнє ($\Delta = 0$) тільки при накопичувачах необмеженої місткості ($E = \infty$). За відсутності накопичувачів ($E = 0$) простої всіх ділянок викликають еквівалентні простої і ви пускової ділянки ($\Delta = 1,0$). Реально, при найбільш поширеній місткості накопичувачів $E = 30-40$ хв, $\Delta = 0,05-0,10$.

Якщо випускова ділянка має індекс 1, а інші – 2, 3, 4, ... i т. д. у технологічному порядку (рис. 1.11), то в загальному випадку можна вважати

$$\eta_{ал} = \frac{1}{1 + B_1 + B_2 + \Delta_{21} + B_3 \cdot \Delta_{31} + \dots + B_n \cdot \Delta_{n1}}, \quad (1.37)$$

де B_1, B_2, \dots, B_n – втрати окремих ділянок;

Δ_{21} – коефіцієнт накладення втрат другої ділянки на першу випускову;

Δ_{31} – коефіцієнт накладення втрат третьої ділянки на випускову і т. д.

Якщо лінія поділяється на ділянки за методом рівних втрат ($B_i = const$), формула (1.37) спрощується:

$$\eta_{ал} = \frac{1}{1 + B(1 + \Delta_{21} + \Delta_{31} + \dots + \Delta_{n1})}. \quad (1.38)$$

Загальне співвідношення для коефіцієнта зростання втрат W , у якому останній виражено через показники втрат окремих ділянок, наведено нижче

$$W = 1 + \Delta_{21} + \Delta_{31} + \Delta_{41} + \dots + \Delta_{n1}. \quad (1.39)$$

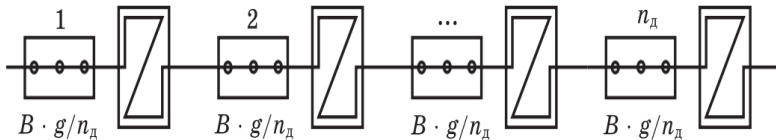


Рисунок 1.11 – Розрахункова схема багато ділянкової АЛ

З численних досліджень комплексних АЛ випливає, що збільшення загальних простоїв складає не більше 15-20 %, тобто $W = 1,15-1,25$. Ці значення можна використовувати при узагальнених розрахунках нових ліній на етапі їхнього проектування. Так, у двох-трьохділянкових лініях з агрегатних верстатів і досить високою ємністю накопичувачів ($E = 40-60$

хв) коефіцієнти зростання простоїв знаходяться в межах $W = 1,10-1,20$.

Для теоретичного аналізу і виявлення характеру впливу визначальних параметрів на продуктивність багатоділянкових АЛ доцільно застосовувати спрощені аналітичні залежності. Введемо поняття середнього коефіцієнта накладення втрат Δ , що чисельно показує, яку частку втрат у середньому кожна з інших $(n_D - 1)$ ділянок представляє на випускову ділянку. Тоді

$$\Delta_{21} + \Delta_{31} + \dots + \Delta_{n1} = \Delta(n_D - 1). \quad (1.40)$$

Звідси коефіцієнт зростання втрат відповідно до формули (1.39) буде

$$W = 1 + \Delta(n_D - 1). \quad (1.41)$$

Підставляючи значення W у формулу (1.36), отримаємо залежність коефіцієнта технічного використання АЛ і її продуктивності від кількості ділянок n_D і надійності збудованого устаткування (B чи t_{II})

$$\eta_{ал} = \frac{1}{1 + B(g/n_D)[1 + \Delta(n_D - 1)]}. \quad (1.42)$$

$$Q_{ал} = \frac{1}{T + t_{II}(g/n_D)[1 + \Delta(n_D - 1)]}. \quad (1.43)$$

Формули (1.42) і (1.43) є узагальненими, і вони справедливі для всіх можливих структурних варіантів від потокової лінії до автоматичної лінії з жорстким зв'язком.

У потоковій лінії, де кожен верстат працює незалежно і міжопераційні заділи при дрібних деталях досить великі, $n_D = g$; $\Delta \approx 0$; $W = 1,0$. Підставляючи ці значення у формулу продуктивності (1.43), отримуємо:

$$Q_{нл} = \frac{1}{t_p + t_x + t_{\Pi}} = \frac{1}{T + \sum t_{\Pi}}. \quad (1.44)$$

В автоматичних лініях із гнучким зв'язком, де кількість ділянок дорівнює кількості верстатів (між сусідніми верстатами скрізь встановлено накопичувачі кінцевої ємності), $n_D = g$; $\Delta > 0$; $W > 1$.

Звідси продуктивність АЛ з гнучким зв'язком:

$$Q_{алг} = \frac{1}{t_p + t_x + t_{\Pi} [1 + \Delta(n_D - 1)]}. \quad (1.45)$$

При розрахунку продуктивності багатопотокових АЛ зважають на те, що $P_i/T_i = const$, де P_i – кількість паралельних потоків i -ї ділянки; T_i – робочий цикл i -ї ділянки.

Якщо лінію розділено на ділянки за методом рівних утрат, то власна продуктивність окремих ділянок стає однаковою.

Через те, що паралельні потоки виготовлення виробів конструктивно незалежні, то продуктивність при P паралельних потоках вище порівняно з однопотоковою лінією в P разів і визначається випусковою ділянкою.

Продуктивність багатопотокової АЛ визначається співвідношенням:

$$Q_{ал} = \frac{P}{T} = \frac{1}{1 + B(g/n_D)W}, \quad (1.46)$$

де P – кількість потоків випускової ділянки;

T – тривалість робочого циклу випускової ділянки;

W – коефіцієнт зростання простоїв випускової ділянки через неповну компенсацію відмов попередніх ділянок; n_D – кількість ділянок у лінії;

B – позациклові втрати одного верстата (робочої позиції);

g – кількість робочих позицій.

У структурному плані АЛ класифікують за рядом ознак: залежно від штучного випуску виробів – одно- і багатопотокові; за видом устаткування – АЛ з універсальних верстатів, АЛ з агрегатних верстатів, АЛ зі спеціальних верстатів; за характером виконуваних робіт – АЛ механічної обробки, АЛ складання і монтажу, АЛ гальванічних покриттів, АЛ холодного штампування, АЛ виробництва друкованих плат та ін.; за способом компоновання – лінійні, кільцеві, зигзагоподібні; за ступенем переналагодження – переналагоджувані та непереналагоджувані. Більш докладний розгляд АЛ за рядом класифікаційних ознак наведено в спеціальній технічній літературі.

Роботизовані технологічні комплекси

Одним зі шляхів ефективного вирішення проблеми комплексної автоматизації серійного і дрібносерійного виробництва є створення типових роботизованих технологічних комплексів (РТК) різного призначення, що забезпечують виконання всієї сукупності технологічних операцій з виготовлення виробів. Ці комплекси мають відповідати таким вимогам: забезпечувати надійне функціонування при високому рівні автоматизації; охоплювати основні технологічні процеси виробництва електронних засобів; мати можливість спряження між собою і з типовими транспортними системами при різних компонованнях автоматизованих ділянок і АЛ; забезпечувати широку пристосовність до зміни умов виробництва. Створювані РТК мають забезпечувати можливість вибору такого рівня автоматизації процесів виробництва і керування, який є економічно виправданим в конкретних умовах.

Застосування РТК дозволяє комплектувати різні типи автоматизованих ділянок, ліній і ГВС, створювати складні виробничі системи, диференційовані за складом виконуваних операцій, призначенням і рівнем автоматизації виготовлення та керування.

У структурно-компоновальному плані РТК є сукупністю автоматизованого технологічного устаткування і промислового робота (роботів), що знаходяться у певному взаємозв'язку.

Застосування промислових роботів при створенні технологічних автоматизованих комплексів значно розширює їхні технологічні можливості, підвищує рівень автоматизації, надає їм автономність і гнучкість.

Типові схеми застосування ПР у технологічних комплексах наведено в табл. 1.4.

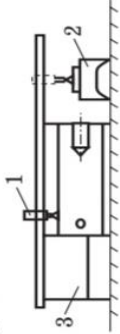
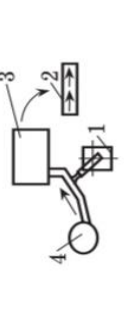

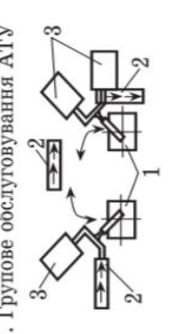
Одиничне обслуговування устаткування забезпечується автономним чи убудованим в устаткування промисловим роботом. Основні задачі, розв'язувані таким РТК, полягають в автоматизації операцій виготовлення деталі, її установленні-зніманні, базуванні і фіксації в робочій зоні, а також у забезпеченні зв'язку з транс-портними й інформаційними потоками основного виробництва.

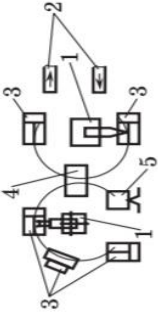
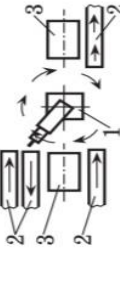
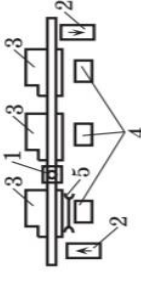
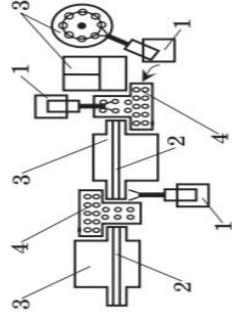
Групове обслуговування устаткування за умов його лінійного, лінійно-рівнобіжного чи кругового розташування може здійснюватися одним ПР, який забезпечує, крім вищеназваних операцій, ще і міжверстатне транспортування виробів. При цьому за допомогою ПР вирішуються задачі диспетчеризування роботи АТУ, що входить у РТК, елементів транспортних систем і додаткових механізмів.

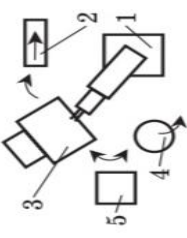

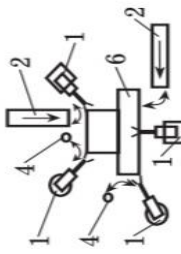
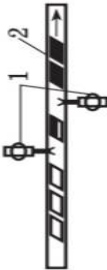
Індивідуальне виконання основних операцій здійснюється технологічним чи універсальними ПР, на базі яких створюється РТК.

Такими технологічними операціями можуть бути зварювання деталей, фарбування виробів, складання і монтаж функціональних вузлів на ДП тощо.

Типові схеми застосування промислових робіт у робототехнічних комплексах

Призначення, схема застосування	Схема розміщення	Рекомендації з використання
1	2	3
<p>1.1. Убудовування ПР в устаткування</p>	<p>1. Одиночне обслуговування устаткування</p> 	<p>Однопрограмний робот. Система програмного керування (СПК) — спільна для устаткування і робота. Необхідне подання заготовки на фіксувану завантажувальну позицію</p>
<p>1.2. Розташування ПР біля основного технологічного устаткування</p>		<p>Одно- чи багатопрограмний ПР має спільну чи автономну (окрему) СПК. Застосування в умовах крупносерійного і серійного виробництва. Необхідне подання заготовки на фіксовану позицію (конвеєром чи тракторним магазином)</p>
<p>1.3. Обслуговування декількома ПР групи АТУ, кількість яких менша, ніж кількість ПР</p>		<p>Два чи більше ПР виконують різні функції у процесі обслуговування одиниці АТУ. Мають спільну з АТУ чи окрему СПК. Обслуговування верстатних центрів, пресів холодного штампування, АТУ складання і монтажу</p>
<p>2.1. Обслуговування декількома ПР групи АТУ, кількість яких перевищує кількість ПР. Виготовлення виробів з постійною послідовністю операцій</p>	<p>2. Групове обслуговування АТУ</p> 	<p>Однопрограмні роботи в складі АЛІ з жорстким зв'язком. Необхідне подання заготовок (дегалей) на фіксовану завантажувальну позицію. Можливе розкладання готових виробів у тару. Передавання виробів від однієї технологічної позиції до іншої здійснюється безперервним конвеєром чи роботами</p>

1	2	3
<p>2.2. Можливість змінення послідовності виготовлення і пропуску операцій</p>		<p>Застосування багатопрограмних ПР для усталення-змінення виробів і міжпозиційного їх транспортування під час обслуговування АТУ різного призначення. Можливе змінення послідовності виготовлення і пропуск окремих операцій. Вибрання-розкладання виробів в орієнтованій тарі</p>
<p>2.3. Обслуговування одним ПР групи АТУ. Кругове розташування АТУ</p>		<p>Обслуговування АТУ, що працює незалежно чи з жорстким зв'язком, багатопрограмним чи однопрограмним роботом відповідно</p>
<p>2.4. Лінійне розташування АТУ</p>		<p>Багатопрограмний ПР у складі АТУ, АЛ чи ділянки. Необхідна бібліотека програм і автоматична зміна захватів. Застосування в крупносерійному, серійному і дрібносерійному повтворюваному виробництві</p>
<p>2.5. Об'єднання РТК «обладнання-робот» в автоматизовану технологічну ланку із загальною СПК</p>		<p>Багатопрограмні ПР у складі автоматизованих ділянок і переналагоджуваних АЛ із гнучким зв'язком. Застосування в масовому, крупносерійному і серійному виробництві. Подання виробів у орієнтуючій тарі (магазинях) у послідванні з міжопераційним конвєрсом забезпечує створення міжопераційних задлів. Можливе змінення послідовності виготовлення і пропускання окремих операцій, вибрання-розкладання виробів у орієнтуючу тару</p>

<p>3.1. Виконання одним ПР закінченої технологічної операції. Перенесення і виготовлення виробу здійснює робот за рахунок зміни захватів і інструмента на позиції 3</p>	<p>3. Індивідуальне виконання основних технологічних операцій</p> 	<p>Багатопрограмний ПР, що виконує закінчену технологічну операцію (зварювання, фарбування, складання і т. ін.)</p>
<p>3.2. Транспортування виробу здійснюється конвеюром, керованим СПК ПР</p>		<p>СПК робота спільна для всього устаткування, що входить до складу комплексу</p>
<p>4.1. Група ПР різного технологічного призначення виконує операцію на позиції 6</p>	<p>4. Групу виконання основних технологічних операцій</p> 	<p>Група ПР (одно- чи багатопрограмних) виконують закінчену технологічну операцію (перехід)</p>
<p>4.2. Група ПР одного призначення виконує закінчену операцію</p>		<p>СПК спільна для всього комплексу</p>

Примітка. На схемах наведених у табл.1.4, використано такі позначення 1 – ПР; 2 – конвеєр; 3 – АТУ (автоматизоване технологічне устаткування); 4 – магазин із заготовками, деталями чи інструментом; 5 – допоміжні пристрої, що розширюють функції ПР (пристрої контролю, вимірювання та ін.); 6–допоміжні пристрої орієнтації чи фіксації виробів (деталей, ЕРЕ тощо).

Групове виконання роботами основних технологічних операцій при виготовленні будь-якого виробу є нічим іншим, як концентрацією окремих переходів і операцій на одному робочому місці. Наприклад, при складанні модуля на друкованій платі можливий варіант процесу, коли один ПР наносить на плату дозу клею, другий ПР установлює мікросхему, третій – виконує паяння виводів і т.д.

У структурному плані РТК складається з типових елементів (модулів), зокрема:

– **модуль спеціального автоматизованого технологічного устаткування**, що складає основу РТК, тому що всі інші пристрої і модулі призначені для оснащення (обслуговування) устаткування;

– **модулі-пристрої** різних видів для спеціального технологічного оснащення РТК (спеціальні пристрої; форсунки для розпилення мийної рідини, фарби, стисненого повітря та ін.; пуанسونи для розвальцьовування пістонів на ДП, гнуття виводів ЕРЕ; дозатори для нанесення дози клею на ДП при фіксації ЕРЕ та ІС; трафарети для нанесення припойної пасти на контактні площадки ДП);

– **модулі-захвати** для ПР призначені для оснащення «руки» маніпулятора з метою розширення їхніх технологічних можливостей. Захвати можуть бути різного конструктивного виконання – вакуумні, механічні, електромагнітні, комбіновані;

– **модулі завантажувальних пристроїв** (ЗП) виконують функції накопичення, передавання й орієнтації заготовок, деталей і ЕРВ. Як ЗП використовуються касети, магазини, бункери і координатні столи;

– **модулі (вузли) кріплення** маніпуляторів ПР до АТУ можуть бути різного конструктивного виконання і мають

забезпечувати переміщення ПР і маніпулятора за трьома координатами;

– **модулі пристроїв контролю і блокування** роботи технічних систем РТК. Наявність подібних пристроїв підвищує надійність РТК за рахунок виключення можливих аварійних ситуацій, пов'язаних з полумками і раптовими відмовами. Як пристрої контролю і блокування використовуються різні давачі;

– **модулі систем керування** АТУ, ПР і РТК у цілому;

– **модулі**, що є **ПР** різного технологічного призначення і кон структурного виконання.

Будь-який РТК – це сукупність описаних вище модулів. Принцип модульності дозволяє шляхом доцільного комбінування уніфікованих модулів створювати структуру необхідного РТК.

РТК складання

Процес автоматичного складання вузлів типу РЕМ-1 (радіо-електронний модуль першого рівня розукрупнення) потребує високого рівня технологічності деталей, ЕРЕ, ІС та інших складальних елементів, які беруть участь у складанні виробу. З позицій складання і монтажу розрізняють радіоелектронні модулі на ІС зі штиревыми виводами і модулі на дискретних ВЕТЕ (вироби електронної техніки й електротехніки).

Визначальною ознакою технологічної класифікації є тип елементної бази РЕМ-1, тому що саме від неї залежить тип і характер ТП, вид устаткування, на якому реалізується ТП складання і монтажу. Однак на практиці найчастіше зустрічаються різні комбінації складу елементної бази, що призводить до необхідності використання різних ТП.

Радіоелектронні модулі (РЕМ), які виготовляються з використанням РТК, мають відповідати таким вимогам:

– модуль має бути функціонально закінченим для того, щоб його можна було виготовити на спеціалізованому РТК, ділянці чи лінії;

– для забезпечення можливості застосування групового паяння хвилею припою всі ВЕТЕ зі штиревыми виводами мають

бути розміщені на ДП тільки з одного боку. Для ВЕТЕ з планарними выводами припускається розміщення з обох боків;

– навколо ВЕТЕ, встановлюваних автоматично на ДП, мають бути передбачені вільні зони – зони роботи інструмента установлювальних головок;

– кількість варіантів формування выводів ВЕТЕ і установлення елементів на ДП має бути обмеженим: для ВЕТЕ з циліндричними корпусами й вісьовими выводами має застосовуватися П-подібне формування й установлення на ДП без зазору, для ВЕТЕ з циліндричними корпусами і трьома односторонньо спрямованими выводами – установлення на дно корпуса, для ІС у корпусах типу 4 – установлення без зазору чи із зазором $0,5^{+0,2}_{-0,5}$ мм;

– конструкція РЕМ-1 має виключати застосування прокладок між корпусом ВЕТЕ і ДП, екранів і ізоляційних трубок на корпусах і выводах елементів;

– у конструкції РЕМ-1 має застосовуватися не хаотичне, а упорядковане, зокрема, рядне, розміщення ВЕТЕ на комутаційному полі, при цьому такі елементи, як резистори, діоди, конденсатори мають установлюватися поза зоною розміщення ІС;

– у конструкціях РЕМ-1 електрорадіоелементи потрібно розміщувати з одного боку ДП, за винятком РЕМ-1 на ІС у корпусах типу 4, які можуть бути установлені на платі з обох боків;

– при застосуванні в конструкції РЕМ-1 мікросхем в однотипних корпусах різних розмірів, ряди мають компонуватися з ІС у корпусах одного типорозміру з єдиним установлювальним розміром для всіх ІС даного ряду;

– відстані від бази відліку координат установки ВЕТЕ до мікросхем на ДП одного типорозміру мають бути постійні.

1.9 Гнучка автоматизація виробництва

Сучасні засоби автоматизації виробництва в більшості випадків можна використовувати тільки при серійному і стійкому характері виробництва. Але в наш час у галузі радіоелектроніки переважають виробництва з малою і часто змінюваною номенклатурою виробів.

Часте відновлення і постійне удосконалювання продукції, що випускається, обумовлені прискоренням її морального старіння на сучасному етапі.

В умовах частоті змінюваності продукції, розширення номенклатури її випуску, скорочення термінів освоєння, засоби автоматизації мають бути уніфікованими, побудованими за модульним принципом, широко універсальними і здатними до швидкого переналагодження, тобто гнучкими.

Для вирішення протиріч, обумовлених, з одного боку, розширенням номенклатури і малосерійністю виробів, що випускаються, а з іншого – збільшенням обсягу випуску продукції, необхідно розробити техніко-економічне обґрунтування створення нового виду виробництва – гнучкого автоматизованого виробництва (ГАВ).

Гнучке автоматизоване виробництво чи гнучка виробнича система (ГВС) є ефективним засобом вирішення основних завдань, що стоять сьогодні перед радіоелектронною промисловістю.

Упровадження ГВС є новим етапом комплексної автоматизації дрібносерійного і серійного виробництва. Гнучка автоматизація найбільш доцільна й ефективна для багатоменклатурного серійного і дрібносерійного виробництва, ґрунтується на груповій і типовій технології, використанні уніфікованих технічних засобів: технологічного устаткування з ЧПК, гнучких виробничих модулів (ГВМ), автоматизованих транспортно-складських систем (АТСС) і комплексів з них, пристроїв керування, побудованих на базі обчислювальної техніки (мікропроцесорних пристроїв – на нижньому рівні керування й ЕОМ – на верхньому рівні).

Гнучкість автоматизації виробництва полягає у швидкій перебудові виробництва на випуск нового виробу як у сфері технічних засобів, так і у сфері керування.

Гнучка виробнича система – це сукупність у різних з'єднаннях устаткування з ЧПК, роботизованих технологічних комплексів, гнучких виробничих модулів, окремих одиниць технологічного устаткування і систем забезпечення їхнього функціонування в автоматичному режимі протягом заданого інтервалу часу, яка має властивість автоматизованого переналагодження при виробництві виробів довільної номенклатури у встановлених межах значень їхніх характеристик.

ГВС реалізується як комплексна інтегрована система, що об'єднує технологічні процеси обробки, складання і керування виробництвом. Така система, як правило, є наскрізною, тому що охоплює всі стадії виробництва від уведення вихідних матеріалів і заготовок до відвантаження готової продукції. Можна виділити як мінімум три рівні автоматизації планування і керування виробництвом у наскрізній інтегрованій системі (рис. 1.12).

Укрупнена структура ГВС включає такі основні складові елементи (рис. 1.13): апаратне забезпечення (АПЗ) чи технічні засоби й інформаційно-програмне забезпечення (ІПЗ). До АПЗ відносять верстати з ЧПК й обробляючі центри, складальні переналагоджувані системи, операційні і транспортні роботи, автоматичні склади та ін., а до ІПЗ – засоби планування виробництва, контролю виробничої діяльності і виконання виробничого плану за допомогою виробничої і керуючої інформації.

Методи системотехніки використовуються для аналізу і синтезу функцій підприємства в цілому, для повсякденного керування виробництвом. До експлуатаційної техніки можна віднести техніку керування устаткуванням, планування й адміністративного керування (засоби відображення, збирання й оброблення інформації).



Рисунок 1.12 – Ієрархія рівнів планування і керування виробництвом у наскрізній інтегрованій схемі

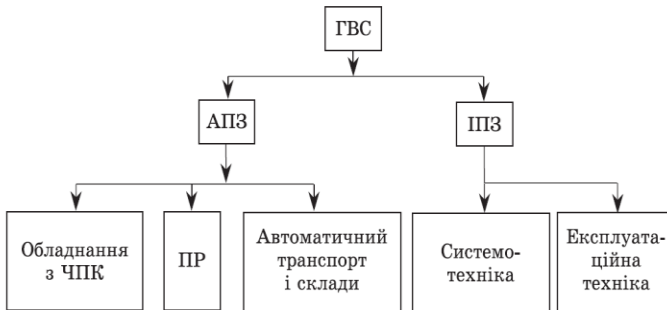
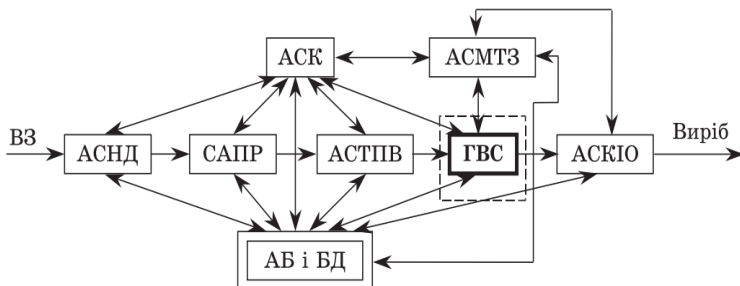


Рисунок 1.13 – Укрупнена структура й основні складові елементи ГВС

ГВС як комплексна виробнича система функціонує в тісній взаємодії з іншими системи, тобто має відповідне системне оточення (рис. 1.14).



ВЗ – виробнче завдання; АСНД – автоматизована система наукових досліджень; САПР – система автоматизованого проектування; АСТПВ – автоматизована система технологічної підготовки виробництва; АСК – автоматизована система керування; АСМТЗ – автоматизована система матеріально-технічного забезпечення; АСКІО – автоматизована система контролю й випробувань об’єктів виробництва; АБ і БД – автоматизований банк і база даних

Рисунок 1.14 – Системне оточення ГВС

Таким чином, гнучкі виробничі системи для одиничних і дрібносерійних виробів, як правило, працюють у складі комплексної інтегрованої виробничої системи (КІВС) за схемою зв’язку:

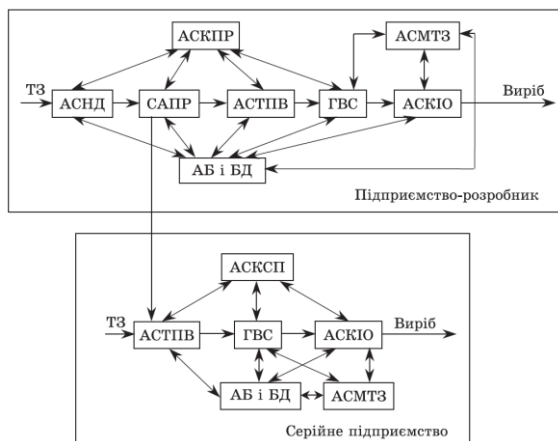
[АСКВ/АСНД/САПР/АСТПВ/ГВС/АСМТЗ] АБ і БД.

Для реалізації складної інформаційної взаємодії між компонентами КІВС необхідно уніфікувати вміст відповідних баз даних компонентів і установити взаємозв’язки між записами в цих базах. Це одна з найбільш складних задач організації КІВС.

Так, необхідно уніфікувати опис технологічних і конструкторських елементів деталей, установити зв’язки між ними і відповідними конструкторськими елементами креслень. Тільки в цьому випадку за допомогою САПР можна створювати конструкції виробів з одночасним проектуванням технології їхнього виготовлення. При цьому технологічний процес виготовлення виробів, на відміну від традиційного (фіксованого на паперових носіях – маршрутних і операційних картах), видається у вигляді керуючої технологічної програми (КТП) на магнітних носіях інформації. Таким чином, відбувається тісне зближення двох систем САПР і

АСТПВ з переходом у комплексну автоматизовану систему проектування і технологічної підготовки виробництва (КАСПрТПВ).

Банк уніфікованих конструкторсько-технологічних даних доцільно створювати як єдиний у галузі. Це дозволить розділити загальну КІВС на дві частини – проектувальну і виробничу (рис. 1.15). Перша частина реалізується в НДІ і КБ, а друга – на серійних підприємствах з передачею даних проектування між ними на машинних носіях.



АСКІО – АСК підприємства-розробника;

АСКСП – АСК серійного підприємства;

ТЗ – технічне завдання

Рисунок 1.15 – Взаємодія проектувальної і виробничої частин КІВС

Основою для створення ГВС будь-якого рівня і призначення є технологічний процес виготовлення виробу. Склад задач, розв'язуваних ГВС, визначається характером побудови функціональної структури ГВС, під якою розуміють сукупність дій і технологічних процесів, виконуваних системою в процесі випуску виробів.

До основних дій, виконуваних ГВС у процесі роботи, відносять: планування, облік, диспетчеризування і контроль ходу виробництва; забезпечення і завантаження технологічного устаткування заготовками, деталями, інструментом і

оснащенням; приймання, збереження і використання керуючих програм; автоматичне керування всіма технічними засобами; контроль якості виготовлення виробів, діагностика стану інструмента й устаткування; вилучення відходів виробництва; технічне обслуговування, ремонт і прибирання технологічного устаткування.

У функціональній структурі ГВС можна виділити такі самостійні підсистеми: організації і керування виробництвом; технологічної підготовки виробництва; автоматизованого транспортування і складування; забезпечення оснащенням і інструментом; контролю і діагностування; технічного обслуговування і ремонту; забезпечення СЗЖ; вилучення відходів виробництва; господарського обслуговування.

Функціональна структура є базою для формування елементної структури ГВС, тобто для визначення складу технічних засобів, програмного й інформаційного забезпечення і людських ресурсів. У процесі проектування функціональних підсистем ГВС визначають їхні задачі, розробляють методи і способи їхнього вирішення, вибирають технічні засоби для реалізації зазначених функцій, розробляють технічні вимоги до функціональних елементів, вузлів і пристроїв.

У результаті створюється елементна структура ГВС, яка складається з окремих модулів.

Основною структурною одиницею ГВС є гнучкий виробничий модуль (ГВМ). ГВМ є, як правило, сукупністю основного, допоміжного устаткування з ЧПК і засобів спеціального технологічного оснащення, що забезпечує автоматичне подання, орієнтацію, виготовлення, змінення параметрів, переміщення в просторі предметів виробництва, інструментів і відходів, а також автоматичний контроль і технічну діагностику устаткування.

Остаточно елементна структура ГВС визначається на стадії технічного проекту після конструкторського опрацювання.

Стрижнем структурної організації ГВС є автоматизована транспортно-складська система, від типу конфігурації якої залежить як топологія розміщення ГВМ, що утворюють ГВС,

так і загальне планування і взаємозв'язок забезпечувальних підсистем.

Функції ГВС визначаються головною метою – необхідністю збільшення обсягів випуску продукції при різкому скороченні питомих витрат основних ресурсів і забезпеченні швидкої окупності капітальних вкладень за умов багатомономенклатурності і змінюваності продукції. Функції ГВС поділяють на виробничі й інформаційні.

Виробнича функція – це реалізація технологічною підсистемою в автоматизованому (автоматичному) режимі технологічного процесу випуску певної продукції.

Виробнича функція специфічна для кожного виробництва (механообробляючого, складального, гальванічного, холодно-штампувального, зварювального та ін.) і реалізується за допомогою специфічних для конкретного виробництва технічних засобів, побудованих на модульній основі.

Інформаційна функція – це реалізація підсистемою керування ГВС і АСПВ процесів збирання, оброблення і видачі інформації про стан елементів ГВС.

Гнучкість – одне з найбільш складних понять у загальній концепції ГАВ. Однак можна виділити низку інформативних ознак гнучкості:

- загальносистемна гнучкість характеризується показниками системної складності, комплексності й інтегрованості, рівнем механізації, автоматизації і кібернетизації процесів;

- технологічна гнучкість визначається здатністю системи враховувати зміни в складі виконуваних технологічних операцій і оцінюється підмножиною операцій, які можуть бути виконані системою у випадку змінення виробничої ситуації. Іншою оцінкою гнучкості технології може бути час адаптації, тобто час, необхідний для переналадження системи на виконання нової групи операцій;

- гнучкість конструктивна (щодо устаткування) характеризується набором одиниць гнучкої автоматизації, структурами ГВС, режимами експлуатації, можливостями програмного керування функціональними компонентами ГВС;

– морфологічна гнучкість визначається типами, параметрами й особливостями матеріальних і інформаційних потоків, типами керувань потоками, ступенем використання корисного простору;

– гнучкість керування обумовлюється стратегіями керування (ієрархічністю, розподіленістю, формалізованістю, завадостійкістю), типом локальної обчислювальної мережі;

– експлуатаційна гнучкість характеризується здатністю до швидкого настроювання, переобладнання і переналагодження технічних засобів системи.

Збереження всіх принципів гнучкості ГВС надає можливість реалізувати ідею комплексної автоматизації дрібносерійного виробництва.

Для порівняльного аналізу й оптимізації ГВС необхідно мати можливість оцінювати ступінь гнучкості системи за допомогою інтегрального показника, який має відображати функціонально-технічні можливості системи і не містити економічних показників. За показник гнучкості прийнято монотонно змінювану від 0 до 1 величину q . Ступінь гнучкості визначається кількістю різних функціональних станів n , які ГВС може дискретно приймати в межах своїх технічних можливостей, і часом переходу ϕ_{ij} з одного функціонального стану (i) в інший (j). Тоді як перша складова показника ступеня гнучкості приймають

$$q_1 = (1 - 1/n). \quad (1.47)$$

Цей вираз наближається до одиниці при $n \rightarrow \infty$ і перетворюється в нуль при $n = 1$.

Час T переходу від одного стану ГВС в інший визначається як сума часів для кожного переходу

$$T = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \tau_{ij}. \quad (1.48)$$

Другу складову показника гнучкості можна визначити як відношення суми часів усіх переходів ГВС до планового

періоду часу $T_{ПЛ}$, прийнятого за базовий при атестуванні і порівняльному оцінюванні ГВС. Як $T_{ПЛ}$ може бути прийнятий, наприклад, дійсний фонд часу ГВС за певний період

$$q_2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \tau_{ij}}{T_{ПЛ}} \quad (1.49)$$

$$\text{при } \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \tau_{ij} \leq T_{ПЛ}.$$

Цей вираз наближається до одиниці при зменшенні сумарного часу переходів ГВС і перетворюється в нуль при наближенні сумарного часу переходів з одного стану в інший до $T_{ПЛ}$.

Оцінка гнучкості гнучких виробничих систем необхідна для визначення їхньої ефективності і доцільності з урахуванням функціонального призначення й організаційної структури в різних виробничих умовах.

Інтегральний показник ступеня гнучкості ГВС визначають як

$$G = \left(1 - \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \tau_{ij}}{T_{ПЛ}} \right) \left(1 - \frac{1}{n} \right). \quad (1.50)$$

З погляду організаційної структури ГВС може бути подана у вигляді гнучкого виробничого модуля (ГВМ), гнучкої автоматичної (автоматизованої) лінії (ГАЛ), гнучкої автоматичної (автоматизованої) ділянки, гнучкого автоматичного (автоматизованого) цеху (ГАЦ), гнучкого автоматичного (автоматизованого) заводу (ГАЗ).

ГАЗ – система найвищого рівня, орієнтована на випуск конкретної продукції, яка визначає предметне призначення

заводу (ГАЗ з випуску телевізорів, відеомагнітофонів, телевізійних трубок, стільникових телефонів, цифрових телефонних станцій та ін.).

ГАЦ – система більш низького рівня, яка є сукупністю у різних з'єднаннях ГАЛ, роботизованих технологічних ліній, гнучких автоматичних (автоматизованих) ділянок, роботизованих технологічних ділянок для виготовлення виробів заданої номенклатури.

Гнучка автоматична (автоматизована) ділянка – це система, що побудована і функціонує за технологічним принципом. У ній передбачено можливість змінення змістовної частини технологічного процесу, але в цілому вона орієнтована на певний вид робіт (гнучка автоматична ділянка механічної обробки, термообробки, гальванопокрить, складання, монтажу та ін.).

ГАЛ – система, в якій технологічне устаткування розташоване в прийнятій послідовності виконання технологічних операцій.

ГВМ – основна структурна одиниця гнучких виробничих систем. Вона є одиницею технологічного устаткування з програмним керуванням, призначеного для виробництва виробів довільної номенклатури у встановлених межах значень їхніх характеристик. ГВМ автономно функціонує, автоматично здійснює усі функції, пов'язані з виготовленням, і має можливість убудовування в ГВС.

РТЛ (роботизована технологічна лінія) збирається з декількох одиниць технологічного устаткування і ПР, які розташовуються у технологічній послідовності.

РТК (роботизований технологічний комплекс) – це сукупність одиниці технологічного устаткування, ПР і засобів оснащення, автономно функціонуюча і здійснююча багаторазові цикли.

Основні фактори (ознаки), що характеризують ГВС як деяку структурну сукупність:

- комплексна автоматизація всіх основних і допоміжних технологічних операцій;

- програмне переналагодження технологічного устаткування;

– оперативна (машинна) конструкторсько-технологічна й організаційно-економічна підготовка;

– автоматизація керування виробничо-технологічними процесами, здійснюваного в режимі реального часу;

– реалізація й оптимізація оперативно-виробничого планування, що дозволяє забезпечити максимальне завантаження устаткування, мінімізувати виробничий цикл і забезпечити комплектність деталей і складальних одиниць для складання;

– групова технологія виготовлення виробів.

Забезпечення реалізації зазначених факторів здійснюється за рахунок функціональних елементів ГВС, об'єднаних у дві основні підсистеми технологічну і забезпечувальну.

Загальну схему складу і взаємозв'язку технологічної і забезпечувальної підсистем ГВС наведено на рис. 1.16.

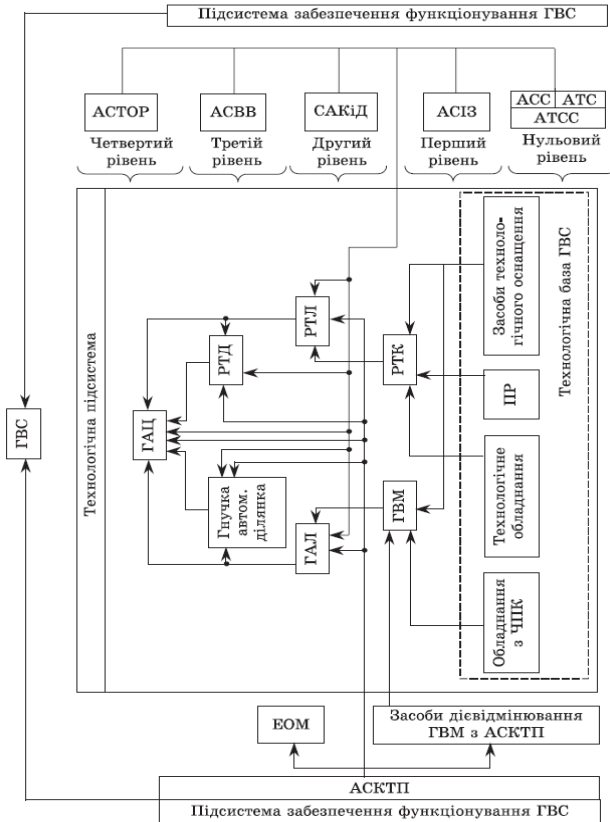


Рисунок 1.16 – Склад ГВС і взаємозв'язки його підприємств

До складу технологічної підсистеми входить певна кількість одиниць технологічного устаткування з ЧПК, ІР, допоміжні засоби технологічного оснащення, організовані у ГВМ, РТК, ГАЛ, РТЛ, гнучку автоматичну (автоматизовану) ділянку, роботизовану технологічну ділянку, ГАЦ і призначені для виконання основних технологічних операцій виробництва електронних засобів.

Забезпечувальна підсистема (ЗП) є невід'ємною частиною ГВС, тому що тільки завдяки цій підсистемі можливе нормальне функціонування виробничої системи в цілому. ЗП ГВС містить у собі такі основні структурні елементи:

автоматизовану систему керування ТП (АСК ТП); систему автоматизованого контролю і діагностування (САКіД); автоматизовану систему інструментального забезпечення (АСІЗ); автоматизовану транспортно-складську систему (АТСС), функціонально розділену на дві частини – автоматизовану транспортну систему (АТС) і автоматизовану складську систему (АСС); автоматизовану систему вилучення відходів (АСВВ) виробництва; автоматизовану систему технічного обслуговування і ремонту (АСТОР), які виконують цілком визначені задачі, закладені в назві системи.

Система керування ГВС

Система керування ГВС є найважливішим органом гнучкого виробництва, що забезпечує весь цикл виготовлення виробу – від автоматизованого проектування його конструкції до керування технологічним устаткуванням.

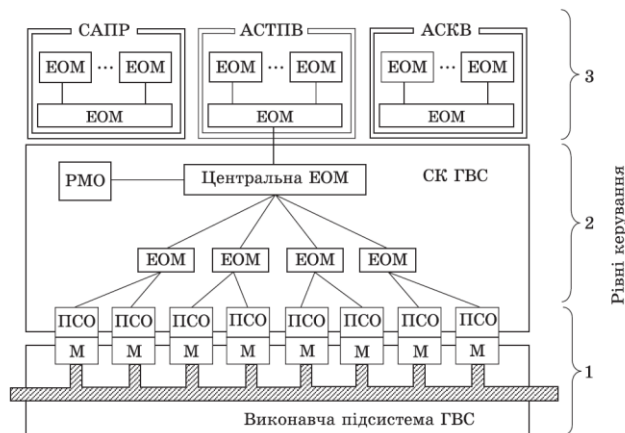
В основу побудови системи керування ГВС покладено принципи інтеграції, гнучкості, ієрархічності структури, автономності, модульності, інваріантності, роботи в реальному масштабі часу, автоматизму і надійності.

Система керування будується у вигляді інтегрованого взаємозв'язаного комплексу, що включає АСКВ, АСТПВ, САПР, СК ГВС, кожна з яких має свої локальні СК (ЛСК) (див. рис. 1.17).

Керування модулем М здійснює локальна система керування (ЛСК), що є автоматизованим пристроєм програмного керування, оснащений засобами дієвідмінювання для підключення до системи більш високого рівня.

На центральну ЕОМ системи керування ГВС покладаються функції забезпечення диспетчеризування роботи ГВС. В особливо складних ситуаціях диспетчеризування здійснюється людиною-оператором. У цьому випадку центральна ЕОМ відображає для оператора інформацію про хід виробничого процесу (стан устаткування, випуск виробів та ін.), а також відомості про вихід з ладу устаткування, порушення виробничого циклу, відхилення параметрів якості виробів та ін.

Крім цього, на центральну ЕОМ системи керування ГВС покладаються функції забезпечення взаємодії з АСПВ, АСКВ і САПР.



*АРМ – автоматизоване робоче місце; РМО – робоче місце оператора;
 ПСО – пристрій дієвідмінювання з об'єктом;
 М – модуль виконавчої підсистеми ГВС*

Рисунок 1.17 – Система та рівні керування ГВС

У загальному вигляді СК ГВС є багаторівневою ієрархічною системою програмного керування, реалізовану комплексом ЕОМ, забезпечених відповідними програмними засобами – наборами програм. Об'єднання ЕОМ у єдиний керуючий комплекс досягається за рахунок з'єднання окремих ЕОМ між собою за допомогою лінії передачі даних і забезпечення керуючого комплексу загальною координуючою керуючою програмою.

АСТПВ і АСКВ забезпечують СК ГВС програмами і даними, що визначають технологію і плани виробництва виробів.

Одним з найважливіших компонентів СК ГВС є локальні мережі ЕОМ (ЛМ). Локальна мережа ЕОМ є фізичним середовищем, у якому реалізується багато функцій ГВС, тому її структура визначається в результаті аналізу структури гнучкого виробництва.

У загальному вигляді функції керування реалізуються відповідними апаратно-програмними засобами, які є мультіпроцесорним керуючим обчислювальним комплексом розподіленого типу, організаційна структура якого відповідає визначеній ієрархії керування. Фізично кожний рівень ієрархії поданий відповідною групою ЕОМ локальної мережі: центральна, координуючі (зв'язуючі), термінальні. Технічна структура локальної мережі включає всі ЕОМ, зв'язані між собою за ієрархічним принципом, і термінали користувачів на різних рівнях.

Структура програмного забезпечення ЛМ ГВС визначається набором функцій керування технологічним устаткуванням. У той же час вона багато в чому залежить від фізичної структури ЛМ, у тому числі і від характеристик конкретних ЕОМ, на яких реалізуються ті чи інші функції.

Правила взаємодії програм, реалізованих на різних рівнях ЛМ і в різних ЕОМ мережі, оформляються відповідними протоколами взаємодії, підтримуваними набором необхідних інтерфейсів.

1.10 Економічна ефективність ГВС

Оцінення економічного ефекту від використання ГВС. При проведенні робіт на конкретному підприємстві з метою переходу на ГВС об'єктивно виникає питання про оцінення суспільних витрат на впровадження ГВС і визначення ефективності системи.

На практиці при обґрунтуванні ефективності гнучкої автоматизації широко застосовується метод системної оцінки.

Метод системної оцінки заснований на застосуванні багатофакторного аналізу, призначений для обґрунтування і визначення ефективності ГВС. Аналіз проводиться за чотирма критеріями, що характеризуються 24 факторами, які визначаються, у свою чергу, 91 індикатором (показником). Далі по тексту одним знаком позначається критерій, двома – фактори, через двокрапку – індикатори (показники). Наприклад.

1. *Критерій придатності* системи для здійснення стратегічних рішень підприємства.

1.1. *Капітальні вкладення*: джерела, обсяг.

1.2. *Продукт*: нові ринки і(чи) вироби.

1.3. *Технічний рівень*: рівень модернізації, інтеграції, нововведень.

1.4. *Ринкова кон'юнктура*: конкуренція, сприйнятливність до коливань цін, споживчий попит.

1.5. *Трудові взаємини*: моральний клімат, невиходи на роботу, відношення персоналу до технічної політики, ефективність існуючого порядку.

1.6. *Структура робочих кадрів*: кваліфікація, відповідність її рівня вимогам виробництва, плинність.

1.7. *Організаційна структура*: ефективність, організаційні нововведення, керування інформаційними потоками, розподіл відповідальності.

1.8. *Керування виробництвом*: стабільність, передбачуваність, керованість.

2. *Критерій можливості* ГВС реалізувати стратегічні рішення підприємства.

2.1. *Проект, конструкція устаткування*: автоматизація, інформація, адаптивне керування, ступінь новизни.

2.2. *Функціонування*: швидкість, точність, повторюваність, корисне навантаження, робоча зона, координація переміщень, термін служби, умови експлуатації.

2.3. *Надійність*: час напрацювання на відмову, середня тривалість простоїв.

2.4. *Наявність*: устаткування, підтверджених заявок на технологічні операції, програмного забезпечення, забезпечення постачань матеріалів і комплектуючих.

2.5. *Пристосованість* до інтегрованого виробництва: інтеграція програмного забезпечення і програмних пристроїв.

2.6. *Гнучкість*: розміри виготовлюваних виробів, їхня конфігурація, кількість, вид, розмір серії, тип виробу.

2.7. *Людські фактори*: безпека, умови праці, ергономіка.

2.8. *Технічна можливість*: здатність виробляти вироби відповідно до заданих параметрів.

3. *Критерій експлуатаційних характеристик* ГВС.

3.1. *Пропускна здатність*: підготовчий час, тривалість виробничого циклу, час постачання.

3.2. *Якість виробів*: естетика, експлуатаційні характеристики, відповідність специфікації.

3.3. *Запаси*: матеріали, незавершене виробництво, готові вироби.

3.4. *Інформація*: потоки, релевантність, доступність використання.

3.5. *Використання потужностей*: теоретичної, паспортної, фактичної.

4. *Критерій продуктивності* (співвідношення загальних витрат виробництва і фінансового прибутку).

4.1. *Економічна інфраструктура*: устаткування, підготовка виробництва, технічні служби, матеріали, технологічний супровід, потужності, енергія, служби постачання і збуту.

4.2. *Споживча реакція*: ціни, обсяг продажу.

4.3. *Вплив зовнішніх факторів*: відсоток на капітал, облікова ставка, податки, кредити, інфляція.

Наведений набір факторів і їхніх індикаторів описує типову систему. У кожному окремому випадку може зменшуватися кількість факторів і їхніх індикаторів.

Загальна оцінка системи:

$$SV = [A_1 A_2 \dots, A_n], \quad (1.51)$$

де \overline{SV} – загальна оцінка системи; A_i – значення i -го критерію, $i = \overline{1, n}$.

Фактори, використовувані при розрахунку критеріїв, можуть бути як цілком реальні, що піддаються прямому розрахунку, так і «ірреальні», вимірювані залежно від займаного ними місця і ваги в системі.

Для визначення значущості факторів і показників чи їхньої ідентичності проводиться аналіз за методом Парето, чи аналіз типу АВС. Для цього фактори чи показники ранжирують відповідно до їхньої ваги, потім підсумовують з наростаючим підсумком, і ті фактори чи показники, сума яких залишається

нижче значення 85 чи 90-95 %, у розрахунок не приймаються. Переважно 2/3 чи навіть 1/2 ряду складає 90 % підсумку. У той же час при ретельному аналізі показників, не прийнятих у розрахунок, може виявитися їхній значний вплив на результат оцінки системи.

При розрахунках критерію продуктивності в основному застосовується метод, що характеризує ступінь використання ресурсів, застосовуваних у виробництві. Продуктивність вимірюється такими показниками: випуск продукції за одну відроблену людино-годину, вартість одиниці продукції та ін. Цей метод є досить ефективним, але при його використанні не враховується дві істотних обставини. Перша – використання показників, наведених вище, фокусує всю увагу на компонентах, що сприяють зниженню витрат виробництва; при цьому не досліджуються компоненти, які сприяють зростанню загального прибутку. У той же час збалансована оцінка всіх аспектів діяльності підприємства має бути функцією як витрат, так і прибутку. Друга обставина, що не враховується при використанні традиційних показників, – це вплив таких зовнішніх факторів, як кон’юнктура ринку.

Критерій продуктивності, використовуваний у даній моделі, передбачає врахування вищеназваних обставин.

$$NPV_n = \sum_{t=0}^n \{ [SVt(SP_t - PC_t) - OC_t - Ibt] + CRt(TX) + \Delta WC_t + \Delta IC_t \} (1 + MARR)^{-1} + \left[\sum_{t=0}^n BC_t + TC_t + VS_t - LP_t - Cit \right] (1 + MARR)^{-1} + [VS_n (f_{VC}(TX)(1 + MARR)^{-n})] \quad (1.52)$$

де NPV_t – оцінка інвестицій у проєкті за весь період його функціонування;

SV_t – обсяг реалізації продукції за той же період; SP_t – ціна реалізованого виробу; PC_t – прямі витрати на виготовлення виробу; OC_t – непрямі витрати на виробництво; Ibt – відсотки за отримані кредити; TX – податкова ставка; CR_t – амортизаційні відрахування; ΔWC_t – приріст оборотного капіталу; ΔIC_t –

приріст основного капіталу; $MARR$ – мінімум прекладальної норми прибутку; BCt – кредити; TCt – відсотки за наданий кредит; VCt – ліквідаційна вартість перепроданого устаткування; LPt – платежі за позичками (повернення позичок); CI – капітальні витрати; $f_{vc}(TX)$ – коефіцієнт списання устаткування (залежно від амортизаційних відрахувань) аж до повної амортизації, тобто $f_{vc}(TX) = 1 - TX$.

Якщо $NPVt \geq 0$, це означає, що очікуваний рівень продуктивності досягнуто чи перевершено. Порівняно з іншими інженерно-економічними методами розрахунку продуктивності розглянутий вище метод є найбільш комплексним і може бути застосований для прийняття рішень про використання капіталу і коштів у певні проміжки часу. При розрахунку критерію придатності системи використовуються фактори, що не мають конкретного вираження, так звані «ірреальні». Для їхнього подання використовується лінійна адитивна модель, описувана формулою

$$SU_j = \sum_{i=1}^n W_i \cdot r_{ij}, \quad (1.53)$$

де SU_j – міра сприйнятливості до даної альтернативи; W_i – вага встановлювана для i -го визначального фактора; r_{ij} – оцінка здатності j -ї альтернативи максимізувати вплив i -го фактора.

Порядок розрахунку такий:

1) визначення набору факторів, характерних для стратегічних цілей даного підприємства;

2) ранжирування факторів за шкалою оцінок від 0 до 1 (найвища оцінка виражається одиницею, інші – частками одиниці залежно від обмежень накладуваних цими факторами, якщо оцінювати найбільш значну вагу – також одиниця);

3) здійснення арифметичних дій згідно з формулою (1.53).

Переваги наведеної моделі полягають у легкості та простоті виконання розрахунків, недоліки – у відсутності точного методу розрахунку пропорцій для призначення ваг, що

знижує якість обґрунтування. Застосування розглянутої моделі можна проілюструвати таким прикладом.

Підприємство має прийняти рішення щодо модернізації (оновлення) виробничого устаткування в умовах, коли погіршення його позиції на ринку викликає залучення позикового капіталу (кредитів). Фактори і цілі, що визначають стратегію керівництва, розташовуються за убубанням значень таким чином:

- а) технічний рівень виробництва (підвищення);
- б) ринкові позиції (збереження);
- в) інвестиційна політика (мінімізація позикового капіталу).

Далі необхідно зробити вибір між новими моделями традиційного устаткування (НМ), робототехнічними комплексами (РТК) і ГВС.

Результати розгляду наявних даних, їхню класифікацію й оцінки наведено в табл. 1.5.

У цьому прикладі перевагу одержала друга альтернатива, тобто РТК.

Пропонується також інший, більш гнучкий розрахунок критерію придатності системи при виборі стратегії оновлення, оснований на використанні парної матриці. В першу чергу здійснюється процедура призначення пріоритетів для визначальних факторів. При цьому використовується шкала від одного до дев'яти, де одиниця означає найбільш слабкі впливи – тільки на один фактор, а дев'ять – вплив на усі фактори. На відміну від попереднього розрахунку вводиться фактор впливу структури та кваліфікації робочої сили (табл. 1.6).

Після перетворень дані, наведені в табл. 1.6, приймають вигляд, який наведено у табл. 1.7.

Наступним кроком є розробка матриці парних порівнянь для призначення пріоритетів альтернативам кожного фактора (табл. 1.8).

Альтернативи є такими, що й у табл. 1.5: НМ, РТК і ГВС.

Таблиця 1.5 – Матриця адаптивної моделі

Визначальний фактор	Розряд	Вага, <i>W</i>	Оцінка альтернативності, r_{ij}		
			НМ(1)	РТК(2)	ГВС(3)
Підвищення технічного рівня (ТР)	1	1,0	0,3	0,7	1,0
Збереження ринкових позицій (РП)	2	0,6	0,6	1,0	1,0
Мінімізація позикового капіталу (МК)	3	0,4	1,0	0,5	0,2
Альтернатива					
	(1)		(2)		(3)
Розрахункова оцінка SU_j ;	1,12		1,8		1,68
Нормована оцінка SU_j ;	0,62		1,0		0,63

Таблиця 1.6 – Матриця призначення пріоритетів для визначальних факторів критерію придатності

Фактор	ТР	РП	РС	МК
ТР – технічний рівень	1	1	3	5
РП – ринкова позиція	1	1	4	3
РС – робоча сила	1/3	1/4	1	3
МК – мінімізація позикового капіталу	1/5	1/3	1/3	1

Таблиця 1.7 – Перетворена матриця призначення пріоритетів

Фактор	ТР	РП	РС	МК	Підсумок ряду	Вектор пріоритету
ТР	0,40	0,39	0,36	0,42	1,57	0,39
РП	0,40	0,39	0,48	0,25	1,52	0,38
РС	0,13	0,10	0,12	0,25	0,60	0,15
МК	0,08	0,13	0,04	0,08	0,33	0,08

Таблиця 1.8 – Матриця призначення пріоритетів для альтернатив

Фактор і альтернатива	Альтернатива			Вектор пріоритету
	НМ	РТК	ГВС	
Послаблення залежності від кваліфікації робочої сили (РС)				
НМ	1	1/5	1/7	0,07
РТК	5	1	1/3	0,38
ГВС	7	3	1	0,64
Підвищення технічного рівня (ТР)				
НМ	1	1/6	1/8	0,06
РТК	6	1	1/4	0,26
ГВС	8	4	1	0,64
Мінімізація позикового капіталу				
НМ	1	5	9	0,73
РТК	1/5	1	4	0,20
ГВС	1/9	1/4	1	0,06
Збереження ринкових позицій (РП)				
НМ	1	1/4	1/4	0,11
РТК	4	1	1	0,44
ГВС	4	1	1	0,44

Далі кожен компонент вектора пріоритету альтернативи помножується на пріоритет фактора, підсумовується, і в результаті отримують оцінку критерію придатності кожної альтернативи для здійснення стратегічних цілей підприємства (табл. 1.9 і 1.10).

Таблиця 1.9 – Критерії придатності системи

Альтернатива	Частковий критерій (фактор)				Загальний критерій придатності
	ТР	РП	РС	МК	
НМ	0,06 (0,39)	0,11 (0,38)	0,07 (0,15)	0,73 (0,08)	0,13
РТК	0,26 (0,39)	0,44 (0,38)	0,28 (0,15)	0,20 (0,08)	0,33
ГПС	0,68 (0,39)	0,44 (0,38)	0,64 (0,15)	0,06 (0,08)	0,53

Таблиця 1.10 – Матриця призначення пріоритетів для факторів критерію можливості

Фактор (показник)	Пріоритет
Функціонування:	
швидкість	0,12
точність	0,35
корисне навантаження	0,06
повторюваність	0,28
якість інформації	0,19
Наявність:	
підтверджених заявок на технологічні операції програмного забезпечення	0,17
забезпечення матеріалами і комплектуючими	0,45
якісної інформації	0,13
Гнучкість:	
розміри виробів	0,25
конфігурація виробів	0,39
розмір серії	0,27
якість інформації	0,04
	0,30

У цьому випадку фактор (кваліфікація робочої сили) вплинув на підвищення значення критерію для ГВС. Аналогічний аналіз використовується для визначення наступного критерію – можливості системи реалізувати стратегічні рішення підприємства.

Як приклад розглянемо складальну ділянку з серійним виробництвом. Альтернативи – нові моделі традиційного устаткування (НМ), робот А і робот В. Далі вибираються визначальні фактори й їхні показники. Для призначення пріоритетів факторів і альтернатив використовується та ж послідовність дій, що й у попередньому прикладі.

При визначенні критерію експлуатаційних характеристик системи пропонуються два методи, що істотно відрізняються один від одного, – оцінка фактичних показників і теоретична оцінка.

Далі, як у попередньому прикладі, здійснюється аналіз альтернатив за допомогою матриці парних порівнянь і оцінюється критерій для кожної альтернативи (табл. 1.11).

Таблиця 1.11 – Критерій можливості ГВС

Альтернатива	Частковий критерій (фактор)			Загальний критерій можливості
	Функціонування	Наявність	Гнучкість	
Нові моделі	0,18	0,28	0,07	0,18
Робот А	0,47	0,32	0,59	0,46
Робот В	0,35	0,40	0,34	0,36

У даному прикладі перевагу одержав робот А.

При використанні першого методу фактичні показники порівнюються з розрахунковими чи з показниками ефективно функціонуючої системи.

Виробнича інформація має для кожного заданого періоду часу містити такі показники:

- тривалість виробничого циклу в цілому і його окремих етапів;
- оптимізовані експлуатаційні й естетичні характеристики, бездефектність;
- мінімізація використання матеріалів і нереалізованих готових виробів;
- відомості про наявність виробничих потужностей і їхнє завантаження.

Для забезпечення передавання необхідних даних між окремими структурними елементами ГВС інформаційна обчислювальна система (ІОС) має бути побудована за ієрархічним принципом.

Найбільш придатним методом теоретичної оцінки критерію експлуатаційних характеристик ГВС є побудова імітаційної моделі, яка описує систему в термінах, що відображують дійсні події в ході виробничого процесу.

Для побудови імітаційної моделі необхідні такі відомості: кількість підкладань, особливості орієнтування деталей, ймовірний розподіл операцій, тривалість циклу виготовлення і завантаження, час транспортування, розмір серії виробів, складські потужності, кількість робочих позицій, надійність устаткування.

На основі вказаних даних складається програма для ЕОМ, яка дозволить отримати такі дані: час загального циклу виготовлення виробів, кількість бракованих виробів, час очікування (пролежування), наповненість накопичувачів (складів), час простоїв.

Для оптимізації окремих показників (кількості робочих по зицїй, виробів у партії (серії) і т.ін.) у модель можна закласти деяку невизначеність, основу на аналізі песимістичних і оптимістичних оцінок. У табл. 1.12 наведено результати аналізу ГВС, призначеної для виготовлення деталей малої серії, виконаного за допомогою імітаційної моделі.

Загальна формула оцінки ГВС з використанням векторного аналізу має вигляд

$$MSV = [SUT, CAP, PER, PRO], \quad (1.54)$$

де MSV – оцінка системи; SUT – критерій придатності; CAP – критерій можливості; PEG – критерій експлуатаційних характеристик; PRO – критерій продуктивності. Перші три критерії були нормовані в інтервалі $0 \leq x \leq 1$ і завжди позитивні, а останній може мати негативне значення, тому він нормований в інтервалі $-1 \leq x \leq 1$.

Таблиця 1.12 – Структура виробничого циклу виготовлення виробу

Параметр	Оцінка виробничої системи			
	Звичайної	ГВС		
		песимістична	найбільш імовірна	оптимістична
Частка часу, протягом якого обладнання не завантажене	50	35,0	20	5
Обладнання, завантажене	50	65,0	80	95
Час, протягом якого завантажена деталь не обробляється	70	35,0	21	7
Час обробки деталі	30	65,0	79	93

Частка часу транспортування і пролежування деталей у загальному циклі виробництва	95	92,5	90	85
Частка часу на обробку у загальному циклі виробництва	5	7,5	10	15

При створенні і фінансуванні ГВС завжди є певний ступінь ризику та невизначеності в отриманні ефективності. Для того щоб визначити ступінь їхнього впливу і розробити методи зведення цього впливу до мінімуму, необхідно мати кваліфікований персонал і достовірну інформацію в достатньому обсязі.

На рис. 1.18 наведено схему процесу аналізу на різних стадіях розробки і впровадження ГВС.

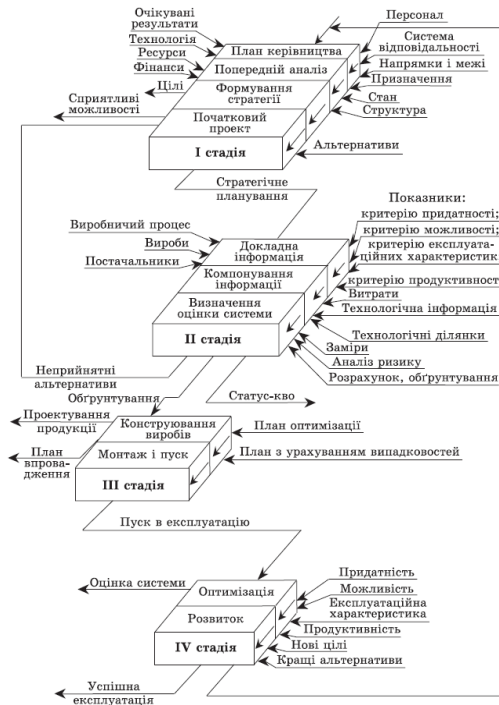


Рисунок 1.18 – Схема процесу аналізу на різних стадіях розробки та впровадження ГВС

1.11 Принципи раціонального поєднання гнучкості та продуктивності РТК

Взаємозв'язок гнучкості і продуктивності в РТК завжди повинен мати місце. У традиційних автоматизованих системах підвищення продуктивності здійснюється за рахунок зменшення їхньої гнучкості. Наприклад, автоматичні лінії, забезпечуючи високу продуктивність при заданій номенклатурі виготовлення деталей, при переході на обробку іншої номенклатури деталей вимагають демонтажу або досить тривалого переналагодження.

Використання в складі виробничих систем робототехніки підвищує їхню гнучкість, тобто дозволяє системам автоматично і з мінімальними витратами часу перебудовуватися на виготовлення виробів іншої номенклатури в межах технічних можливостей устаткування.

Продуктивність РТК залежить від його гнучкості

$$\frac{\sum_{i=1}^m \alpha_i N_i r}{F_g} \leq 1 - \frac{\sum_{i=1}^m \alpha_i T_{nep_i}}{F_g}, \quad (1.55)$$

де i – номер деталі в упорядкованій множині деталей, які можуть бути включені до плану РТК ($i = 1, \dots, m$); N_i – план випуску i -ї деталі за період відтворюваності виробничої програми, шт.; T_{nep_i} – час переналагодження багатопредметного РТК для виготовлення i -ї деталі, хв; F_g – ефективний фонд часу роботи РТК за розглянутий період часу, хв; R – середній такт роботи РТК, хв; $\bar{b}_i = 1$, якщо i -те найменування деталі включається в програму виробництва і $\bar{b}_i = 0$ – у протилежному випадку.

Перша частина виразу (1.55) є коефіцієнтом продуктивності багатомономенклатурного РТК, який дорівнює відношенню випуску продукції в умовах багатомономенклатурного режиму роботи РТК до його продуктивності при використанні однопредметного режиму

$$\frac{\sum_{i=1}^m \alpha_i T_{\text{пер}i}}{F_g} = K_r. \quad (1.56)$$

Величина K_r є критерієм рівня гнучкості РТК.

При практичному використанні виразу (1.55) виникає задача підбору раціональної номенклатури деталей і програми їхньої обробки для забезпечення найбільшого завантаження (максимальної продуктивності) аналізованого РТК.

Для вирішення цієї задачі запропоновано три евристичних алгоритми упорядкування деталей (за методом Джонсона, за зростанням часу переналагодження й убуванням плану запуску деталей).

Продуктивність і гнучкість РТК може бути визначена за допомогою виразу (1.55).

Підвищення надійності устаткування, якості ремонту, застосування й удосконалювання систем технічної діагностики набувають усе більше значення в поліпшенні використання РТК і підвищенні ритмічності виробництва.

Припустимо, що роботизоване виробництво складається з декількох РТК. Тоді час безперебійної роботи Трі устаткування i -го РТК протягом часу T для випуску заданого обсягу продукції N визначається як

$$T_{\text{Рi}} = \frac{t_i N}{m_i}, \quad (1.57)$$

де t_i – верстатоемність виготовлення одиниці продукції в i -му РТК, год;

m_i – кількість одиниць устаткування в i -му РТК, шт.;

N – обсяг продукції, що випускається, шт.

Тоді фактичний ресурс часу i -го РТК складе

$$F_i = \frac{\sum_{j=1}^{m_i} F_{ij} m_{ij}}{m_i}, \quad (1.58)$$

де F_{ij} – ресурс часу j -го елемента i -го РТК, год;
 m_i – кількість j -х елементів у i -му РТК, шт.
 Резерв часу i -го РТК визначається співвідношенням

$$R_i = F_i - T_{pi} > 0. \quad (1.59)$$

Відносний резерв часу i -го РТК може бути визначений за формулою

$$\beta_i = \frac{R_i}{T - T_{PPi}}, \quad (1.60)$$

де T_{PPi} – сумарний час простоїв (відновлення) i -го РТК протягом часу T , год.

Таким чином, створення резерву часу при заданому обсязі випуску продукції N можливе за рахунок скорочення верстатоемності виготовлення виробів t у i -му РТК, збільшення кількості устаткування m_i і підвищення надійності елементів РТК. Другий і третій варіанти є найбільш капіталомісткими. За рахунок підвищення надійності цілком ліквідувати простои РТК неможливо, тому слід створити резерв часу, який не перекриває час відновлення відмови. Цей резерв виключить простои РТК, якщо

$$\xi_i \leq R_i, \quad (1.61)$$

де ξ_i – час простою в зв'язку з технічною відмовою i -го РТК роботизованого виробництва, год.

Тоді імовірність розподілу \forall_i матиме вигляд

$$P(\xi_i \leq R_i) = 1. \quad (1.62)$$

На будь-якому підприємстві є резерви для підвищення ефективності виробництва. Відомо, що в жодному плані, навіть найоптимальнішому не можна передбачити всіх відхилень, які

виникають у процесі його реалізації. Тому для забезпечення нормального функціонування виробничої системи, тобто зведення до мінімуму впливу зовнішніх збурюючих факторів, слід передбачити необхідний та достатній рівень резервів, тому що тільки надлишкова система є надійною, і, отже, економічно ефективною.

З іншого боку, створення надлишкових резервів у системі призводить до збільшення кількості елементів і капіталовкладень, недовантаження системи і зниження її економічної ефективності.

З позицій системного підходу всі резерви підвищення ефективності виробництва в умовах роботизації можуть бути розділені на такі класи: A – технічні; B – технологічні; C – організаційні; D – соціальні.

Низька надійність елементів РТК (устаткування, ПР, систем керування та ін.) є основним гальмом роботизації виробництва і підвищення ефективності РТК. Відмова одного з елементів РТК часто викликає простої всього комплексу.

З усіх класів резервів технічні є домінуючими. Математично це положення може бути записане таким чином:

Нехай M – множина, елементами якої є класи A, B, C, D .

Потрібно порівняти елементи множини M за допомогою відношення часткової упорядкованості в M , що визначається бінарним відношенням

$$E = \{(x, y) \div x \supset y, x \in M, y \in M\}, \quad (1.63)$$

тобто $x > y$, якщо $x \supset y$.

Відсутність технічних резервів ($A = 0$) може призвести до зупинення РТК, що записується як

$$B = 0, C = 0, D = 0, \quad (1.64)$$

тобто, якщо $A = 0$, то справедлива формула (1.64). Звідси випливає, що

$$A \supset B, A \supset C, A \supset D. \quad (1.65)$$

Відповідно до цієї моделі перевагу слід віддати технічним резервам і оптимізувати у першу чергу ті фактори, які безпосередньо впливають на технічні резерви роботизованого виробництва.

Підвищення надійності устаткування, якості ремонту, застосування й удосконалення систем технічної діагностики набувають усе більше значення для поліпшення використання устаткування РТК і підвищення ритмічності виробництва. Забезпечення ритмічності роботи РТК можна домогтися шляхом підвищення надійності кожного елемента, або за рахунок створення необхідного резерву часу елементів РТК.

Створення резервів часу, як правило, пов'язане з одноразовими витратами. Якщо припустити, що витрати на РТК збільшуються прямо пропорційно зростанню ресурсу його роботи, то додаткові капіталовкладення в роботизоване виробництво ΔK визначаються співвідношенням

$$\Delta K = (1 + \delta) \sum_{i=1}^n C_{oi} \beta_i, \quad (1.66)$$

де δ – коефіцієнт збільшення капіталовкладень у i -му РТК;

C_{oi} – вартість устаткування i -го РТК до створення резерву часу, грн.

Якщо за критерій економічної ефективності прийняти мінімум наведених витрат, то річний економічний ефект (E_p) РТК, що має резерви часу (індекс «2»), визначиться такою формулою

$$E_p = (C_1 + E_H K_1) N_2 / N_1 - (C_1 + E_H K_2) = (C_1 N_2 / N_1 - C_2) E_H \Delta K. \quad (1.67)$$

Нехай $C_1 = C_2 = C$, тоді

$$E_p = C(N_2 / N_1 - 1) - E_H \Delta K = C \Delta N / N_1 - E_H \Delta K. \quad (1.68)$$

де ΔN – збільшення програм випуску виробів у РТК, що має резерви часу, шт.

$$N_1 = \frac{T - \sum_{i=1}^n T_{np_{i1}}}{t_{шт1}}, \quad (1.69)$$

$$N_2 = \frac{T - \sum_{i=1}^n T_{np_{i2}}}{t_{шт2}}, \quad (1.70)$$

де $t_{ум1}$ і $t_{ум2}$ – штучний час виготовлення однієї деталі за порівнюваними варіантами, хв.

Нехай $t_{ум1} = t_{ум2}$, тоді

$$E_p = C \frac{\sum_{i=1}^n T_{np_{i1}} - \sum_{i=1}^n T_{np_{i2}}}{T - \sum_{i=1}^n T_{np_{i1}}} - E_H (1 + \delta) \sum_{i=1}^n C_{oi} \beta_i. \quad (1.71)$$

Як видно з формули (1.71), оптимізація резервів часу (скорочення $T_{пPi}$ і β_i) надає можливість підвищити економічну ефективність роботизації виробництва.

Запитання для самоперевірки

1. Наведіть основні положення автоматизації виробництва.
2. Які існують стратегії автоматизації виробництва?
3. Які основні передумови автоматизації виробництва?
4. Опишіть основні рівні автоматизації виробництва.
5. У чому полягають особливості автоматизованого устаткування?
6. Які види і моделі автоматизованого устаткування найбільш широко застосовуються у виробництві електронних засобів?
7. У чому полягає особливість складальних ПР? За якими параметрами вибираються складальні ПР?
8. У чому полягає зміст методики розрахунку економічної ефективності ГВС?

2. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ ДЛЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Друковані плати як основні комутаційні засоби для технічних засобів автоматизації

Технологія виробництва ТЗА багато в чому визначається, з одного боку, конструктивно-технологічними характеристиками їх основних компонентів, у тому числі елементної бази та друкованих плат (ДП), а з іншого боку – вибором технологічних процесів виготовлення та їх технологічним оснащенням.

Об'єктивною тенденцією удосконалювання конструкцій технічних засобів автоматизації є постійне зростання їх складності, надійності, довговічності за одночасного зниження масогабаритних параметрів, трудомісткості складально-монтажних робіт і споживчої вартості.

На сучасному етапі розвитку й удосконалювання ТЗА основним напрямком, що дозволяє вирішити ряд конструкторсько-технологічних задач, є мініатюризація апаратури, підвищення ступеня інтеграції мікроелектронних пристроїв і комплексний перехід до розробки, конструюванню і технології виробництва ТЗА. У цьому зв'язку особливу важливість здобувають конструктивно-технологічні принципи та сучасні тенденції в області виробництва електронних пристроїв на основі друкованого та поверхневого монтажу.

Темпи розвитку мікроелектроніки вимагають безперервного підвищення технічного рівня ДП, який визначається збільшенням щільності монтажу електронних компонентів (ЕК), підвищенням вимог до надійності, збільшенням частоти проходження імпульсів. Забезпечення цих вимог залежить від досягнень у галузі конструювання та розвитку технології виробництва друкованих плат.

Основними тенденціями розвитку ТЗА на основі ДП є:

а) підвищення ступеня інтеграції елементної бази, поліпшення характеристик елементів за швидкодією, розсіяною потужністю, кількістю входів і виходів і т. ін.;

б) удосконалювання видів упакування елементної бази – «безвивідних» резисторів і конденсаторів, корпусів із планарними та матричними виводами;

в) розробка ДП із підвищеною тепловідводною здатністю, зниженим термічним розширенням – керамічних, з теплостоками, з металевими осердями, плати з металокордом, поліімідні плати, плати із демпфувальним шаром і т. ін.

г) розширення номенклатури ЕК, особливо в чіп-виконанні, компактних корпусів «Ф», «Н», «М» для мікросхем, МЕЛФ-компонентів, компактних трансформаторів, котушок індуктивності, DIP-перемикачів, мініатюрних потенціометрів, тріммерів і інших компонентів, придатних для поверхневого монтажу;

д) автоматизований монтаж з розміщенням різнорідних ЕК – зі штирьовими та планарними виводами і «безвивідних» – як з одного боку, так і з обох сторін ДП;

е) широке використання матеріалів підкладки, основ ДП і корпусів ЕК з урахуванням узгодження температурного коефіцієнта лінійного розширення цих матеріалів.

У сучасному виробництві ТЗА конструктивні та технологічні особливості тісно взаємозалежні та взаємовпливові.

Так, методи складання та монтажу ТЗА значною мірою впливають на масогабаритні показники пристроїв, топологію ДП; у результаті монтажу найчастіше виникає необхідність у використанні дорогоцінних матеріалів (золото, срібло, палладій), а також таких гостродефіцитних матеріалів, як ковар, кадмій, вісмут, індій, галій тощо. Не можна також забувати, що надійність пристроїв багато в чому визначається кількістю зварних і паяних з'єднань, і це потрібно мати на увазі під час конструювання ТЗА.

Конструктивно-технологічні принципи монтажу ТЗА безупинно удосконалюються з метою забезпечення встановлення та приєднання надвеликих і надшвидкісних мікросхем з урахуванням специфіки їхнього застосування (наприклад, збільшення кількості виводів, необхідність повної перевірки й електротермічного тренування до встановлення в схему), а також для досягнення мінімальних габаритних

розмірів і маси пристроїв, вартості, трудомісткості виготовлення, максимальної надійності та ступеню автоматизації ТП.

Широко практикуються такі конструктивні прийоми, як зменшення кроку виводів індивідуальних корпусів мікросхем, перехід до планарних чи матрично-штирьових виводів, заміна DIP-корпусів металокерамічними чи пластмасовими корпусами (носіями кристалів), перехід від використання гнучких дровових виводів із твердими організованими виводами (об'ємні стовпчикові чи кулькові виводи), що дозволили досягти мінімальної трудомісткості встановлення ЕК на ДП.

Значний розвиток отримали і методи створення багат шарових комутаційних плат – конструктивних прийомів, що дозволяють встановлювати і електрично зв'язувати між собою окремі компоненти та вузли ТЗА. Широке застосування методів тонко- і товстоплівкової технології дозволило створити сучасні аналоги друкованих плат – багат шарові плати на поліімідній плівці та багат шарові керамічні плати зі значним збільшенням щільності рисунка комутації, зменшенням діаметра з'єднуючих отворів і т. п. Замість навісних провідників і плетених ременів широко застосовуються гнучкі плоскі проводи та шлейфи.

Розвиток методів монтажу впливає на конструктивне виконання ТЗА, але методи монтажу, у свою чергу, значно залежать від їх призначення (стаціонарні, портативні, бортові літакові та ракетно-космічні електронні пристрої та ін.), а також від функціональної складності пристрою (від його ієрархічного рівня).

Функціонально складні ТЗА створюються на базі конструкцій з урахуванням пропонованих до них вимог:

а) забезпечення нормальної роботи пристроїв за впливів дестабілізуючих факторів навколишнього середовища (температури, механічних впливів, електричних і магнітних полів, радіації, вологості, перепад тиску та ін.);

б) забезпечення мінімальної матеріалоємності, мінімізація масогабаритних показників;

в) висока надійність функціонування;

г) високий рівень автоматизації процесів складання та монтажу;

д) проектування пристроїв на основі типових оптимальних конструкцій з метою повної автоматизації та взаємозамінності окремих функціональних вузлів і блоків;

е) забезпечення ремонтпридатності ТЗА;

ж) прагнення до мінімального використання дорогіших металів і гостродефіцитних матеріалів;

з) скорочення кількості паяних і зварних з'єднань;

и) високий рівень технологічності.

До числа основних конструктивно-технологічних особливостей сучасних ТЗА варто віднести:

а) тісний зв'язок між собою великої кількості різноманітних, часто суперечливих, вимог до матеріалів, конструкцій вузлів і навісних елементів, технологічних процесів, методів контролю;

б) велика залежність вихідних параметрів пристроїв від режимів процесу виготовлення.

Різноманіття форм і розмірів навісних елементів, установлюваних на ДП, істотно ускладнює процес їхнього встановлення та монтажу.

Однак, слід зазначити, що в частині створення навісних елементів різного функціонального призначення та конструктивного виконання, спостерігається тенденція до мініатюризації й уніфікації їх конструктивних форм і розмірів. Просліджується прагнення до максимальної стандартизації форм і розмірів корпусів, форм і розмірів контактних майданчиків ДП, форм і розмірів виводів ЕК, топології провідників ДП і т. п. Тенденції, що намітилися, значно впливають на весь процес виготовлення ТЗА.

Друковані плати характеризуються наступними параметрами: масою; габаритними розмірами; конфігурацією; твердістю; припустимою деформацією; точністю виготовлення контуру ДП; кількістю і розташуванням монтажних і перехідних отворів; розташуванням і діаметром базових отворів; точністю виготовлення базових поверхонь і т. п.

Як матеріал основи ДП застосовують склотекстоліт, гетинакс, лавсан, поліімід, фторопласт, тефлон, кераміку, метал (сталь, дюралюмін) та ін.

У загальному випадку ДП можуть бути різної конфігурації: прямокутної, квадратної, круглої та ін. (з вирізами, пазами, вікнами).

Граничні відхилення монтажних отворів і контактних площадок від базових поверхонь повинні бути не більш $\pm 0,1$ мм.

Друковані плати повинні мати зони, вільні від ЕК для фіксації у напрямних координатного столу складального автомата. Ці зони розташовуються уздовж довгих країв ДП на відстані 2,5-5 мм.

Перераховані основні конструкторсько-технологічні ознаки й особливості ЕК і ДП накладають істотні обмеження на методи і технічні засоби просторового маніпулювання, висувають особливі вимоги до забезпечення технологічності конструкції друкованих модулів, як об'єкта автоматичного (роботизованого) складання.

При виготовленні в умовах гнучких виробничих систем вузли на друкованих платах повинні задовольняти наступним технічним вимогам:

а) модуль повинний бути функціонально закінченим для того, щоб його виготовлення можна було організувати на спеціалізованому підприємстві (ділянці);

б) для забезпечення можливості застосування групового паяння хвилею припою, усі ЕК зі штирьовими виводами повинні розташовуватися на ДП тільки з одного боку. Для ЕК з планарними виводами припустиме розташування з двох боків ДП;

в) навколо ЕК, встановлюваних автоматично на ДП, повинні бути передбачені вільні зони – зони роботи інструмента установлювальних голівок;

г) кількість варіантів формування виводів ЕК й установлення на ДП повинні бути обмеженими: для ЕК з циліндричними корпусами й осьовими виводами повинне застосовуватися П-образне формування й установлення на ДП без зазору; для ЕК з циліндричними корпусами і трьома

односторонньо спрямованими выводами – установка на дно корпусу, для інтегральних схем (ІС) у корпусах типу 4 – установка без чи зазору з зазором $0,5_{-0,1}^{+0,2}$ мм;

д) конструкція вузла повинна виключати застосування прокладок між ЕК і ДП, екранів і ізоляційних трубок на корпусах і выводах ;

е) конструкція вузла на ДП повинна виключати застосування додаткового кріплення ЕК на ДП;

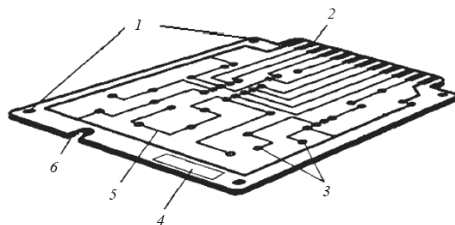
ж) у конструкції УДП повинне передбачатися не хаотичне, а упорядковане, зокрема рядне, розташування ЕК на ДП, причому такі елементи, як резистори, конденсатори, діоди, повинні розміщатися поза зоною встановлення ІС.

Викладені вимоги впливають, як на послідовність, так і на зміст технологічних операцій процесу складання і монтажу вузлів на друкованих платах і це потрібно мати на увазі при конструюванні виробів.

2.2 Основні характеристики друкованих плат

Технологічний процес (ТП) виготовлення ДП є складним і багатоопераційним (близько 50 операцій) із використанням великої кількості устаткування (до 40-50 одиниць), виробничих площ. Він вимагає не тільки вузьких фахівців у галузі хімії, фізики, схемотехніки, програмування, організації виробництва, але й фахівців широкого профілю, що уявляють усі проблеми та шляхи комплексного вирішення питань, що існують наразі у процесі виробництва ДП.

Друкована плата – виріб, що складається з пласкої ізоляційної основи з отворами, пазами, вирізами та системою струмопровідних смужок металу (провідників), який використовують для встановлення та комутації електронних компонентів і функціональних вузлів відповідно до схеми електричної принципової (рис. 2.1).



1 – кріпильні отвори; 2 – кінцеві друковані контакти;
3 – монтажний отвір; 4 – місце маркування;
5 – друкований провідник; 6 – орієнтувальний паз

Рисунок 2.1 – Ескіз ДП

Рисунок ДП – конфігурація провідникового й (або) діелектричного матеріалу на ДП.

Провідний рисунок – конфігурація провідникового матеріалу. Провідниковий рисунок ДП має бути чітким, з рівними краями, без здуттів, підтравлювання, розривів, відшарувань, слідів інструмента та залишків технологічних матеріалів. Для поліпшення паяння та підвищення корозійної стійкості на поверхню провідникового рисунка наносять електролітичне, хімічне або органічне покриття, яке має бути суцільним, без розривів і відшарувань.

Непровідниковий рисунок – конфігурація діелектричного матеріалу (пробільні місця ДП).

Друкований провідник (доріжка) – одна струмопровідна смужка в провідниковому рисунку.

Кріпильні отвори – отвори для кріплення ДП у модулях більш високого конструктивного рівня (панелях, блоках).

Монтажні отвори – отвори для встановлення та паяння ЕК. На внутрішню поверхню металізованих монтажних отворів наносять мідне покриття товщиною не менш 25 мкм і покриття для забезпечення паяння, які мають бути суцільними, без пор і включень, пластичними, і з дрібнокристалічною структурою, бути міцно зчепленими з діелектриком, мати певний опір, витримувати струмове навантаження 250 А/мм² протягом 3 с за умови навантаження на контакти 1–1,5 Н та чотири (для багат шарових ДП – три) перепаювання виводів ЕК без зміни зовнішнього вигляду та відшарувань.

Кінцеві друковані контакти – ряд друкованих контактів, розташованих на краю ДП і призначених для сполучення зі з'єднувачем прямого зчленування.

Орієнтувальний паз – паз на краю ДП, який використовують для її правильного встановлення й орієнтації в електронних засобах.

Маркування ДП – сукупність знаків і символів на ДП, що необхідна для її ідентифікації та контролю.

Основа ДП – елемент конструкції ДП, на поверхні або в об'ємі якого виконується струмопровідний рисунок.

Діелектрична основа має бути однорідною за кольором, монолітною за структурою, не мати сторонніх включень, внутрішніх раковин, сколів, розшарувань і тріщин.

Матеріал основи ДП – матеріал (діелектрик), на якому виконують ДП.

Друкований монтаж – спосіб монтажу, за якого електричне з'єднання ЕК, екранів, функціональних вузлів між собою виконане за допомогою елементів друкованого рисунка: провідників, контактних майданчиків.

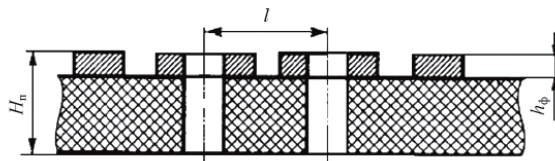
Ширина друкованого провідника – поперечний розмір друкованого провідника в будь-якій його точці.

Контактний майданчик – частина струмопровідного рисунка, використовувана для з'єднання струмопровідного рисунка схеми (друкованих провідників із металізацією монтажних отворів) і для встановлення та паяння (зварювання) ЕК. Контактні майданчики монтажних отворів мають рівномірно змочуватися припоєм протягом 3-5 с і витримувати не менше трьох (для БШДП – двох) перепаювань без розшарування діелектрика, відшаровування та здуттів. Не допускаються розриви контактних майданчиків, оскільки при цьому зменшуються струмопровідна здатність провідників і адгезія до діелектрика.

Кластер – група контактних майданчиків для встановлення та паяння (зварювання) багатовивідних ЕК, наприклад, мікросхем.

2.3 Класифікація друкованих плат

Одностороння друкована плата (ОДП) – це плата, на одній стороні якої виконані елементи струмопровідного рисунка (рис. 2.2). Такі ДП є прості по конструкції та економічними у виготовленні.



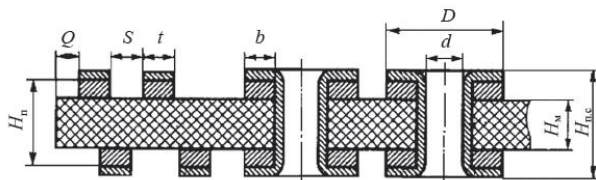
H_n – товщина ДП; $h_ф$ – товщина фольги;
 l – відстань між центрами (осями) елементів конструкції ДП

Рисунок 2.2 – Одностороння ДП

Двостороння друкована плата (ДДП) – це плата, на обох сторонах якої виконані елементи струмопровідного рисунка й усі необхідні з'єднання відповідно до схеми електричної принципової (рис. 2.3).

Електричний зв'язок між сторонами здійснюється за допомогою металізованих отворів. Розміщувати ЕК можна як на одній, так і на двох сторонах ДП. Двосторонні ДП використовуються у вимірювальній техніці, системах керування, автоматичного регулювання та ін.

Багатошарова друкована плата (БШДП) – це плата, що складається з декількох шарів ізоляційного матеріалу із струмопровідними рисунками, що чергуються, між якими виконані необхідні з'єднання (рис. 2.4).



Q – відстань від краю ДП, вирізу, паза до елементів струмопровідного рисунка; S – відстань між провідниками; t – ширина провідника; b – відстань від краю просвердленого отвору до краю контактного майданчика (пасок); D – діаметр контактного майданчика; d – діаметр отвору; H_n – товщина ДП; H_m – товщина матеріалу основи ДП; $H_{гс}$ – сумарна товщина ДП із хімічним і гальванічним покриттям

Рисунок 2.3 – Двостороння ДП

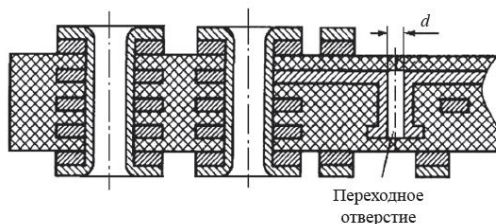


Рисунок 2.4 – Багатoshарова ДП

Електричний зв'язок між струмопровідними шарами може бути виконано спеціальними об'ємними деталями, друкованими елементами або хіміко-гальванічною металізацією отворів. БШДП характеризуються підвищеною надійністю та щільністю монтажу, стійкістю до кліматичних і механічних впливів, зменшеними розмірами та меншим числом контактів.

Внаслідок великої трудомісткості їх виготовлення, складності одержання високої точності рисунка та сполучення шарів, високої вартості та складності технологічного устаткування, контролю на всіх операціях ТП, низької ремонтпридатності БШДП застосовують для вже відпрацьованих конструкцій електронно-обчислювальної, авіаційної та космічної апаратури.

Гнучка друкована плата, гнучкий друкований кабель, гнучко-жорсткі плати – якісно нові комутаційні конструкції та

системи міжз'єднань, які застосовуються замість «громіздких» і «важких» жорстких ПП, плоских стрічкових провідів, джгутів і об'ємних провідників.

Гнучка друкована плата (ГДП) – ДП, що має гнучку основу або ДП, що використовує гнучкий базовий матеріал. Гнучка ДП є аналогом жорсткої ДП за розташуванням друкованих провідників, контактних майданчиків і інших елементів друкованого монтажу, за розміщенням ЕК (переважно безкорпусних і поверхнево-монтажних компонентів – ПМК), при цьому вона має гнучку основу товщиною 0,1-0,5 мм, може працювати на перегини та приймати різну форму.

Гнучкі ДП застосовуються у випадках, коли плата в процесі експлуатації зазнає багаторазових вигинів, вібрацій або коли необхідно створити для її роботи вигнуту компактну форму (розмістити в невеликий об'єм). За допомогою ГДП можна з'єднувати різні елементи ТЗА, використовуючи відгалуження від загальної основи ГДП. Основною відмінністю ГДП від жорсткої ДП є можливість монтажу в тривимірному просторі й огинання кутів інших блоків. Гнучкі ДП можуть виготовлятися в комбінації із жорсткими ДП.

Багатошарові ГДП не є аналогом жорстких БШДП, оскільки кожний із шарів може бути продовжений у будь-яку сторону та використовуватися для з'єднання з іншими модулями ТЗА.

Гнучкий друкований кабель (ГДК) (рис. 2.5) має тонку ізоляційну основу довжиною до декількох метрів із розташованими паралельно один одному друкованими провідниками, ширина та крок яких відповідає стандартним з'єднувачам. Товщина ГДК дорівнює 0,06-0,3 мм.



Рисунок 2.5 – Гнучкий друкований кабель

Гнучко-жорсткі ДП (ГЖДП) є найскладнішими сполучними структурами в ТЗА. Проста ГЖДП має один жорсткий і один гнучкий шар.

Складні ГЖДП можуть мати 20 і більше сполучних наборів з односторонніх і двосторонніх ГДП між жорсткими зовнішніми ДП. Створення ГДП і ГЖДП обумовлене: необхідністю мініатюризації ТЗА; диспропорцією між об'ємом і масою ЕК (безкорпусних і поверхнево-монтованих компонентів), розташовуваних на жорстких ДП, і об'ємом і масою жорстких ДП; необхідністю високої надійності під час реалізації унікальних і складних технічних рішень, де потрібне щільне компонування в трьох площинах і безвідмовна робота в жорстких умовах навколишнього середовища.

Провідна друкована плата – це плата, на діелектричній основі якої розміщені окремі елементи друкованого рисунка (контактні майданчики, шини землі та живлення й ін.), а електричні з'єднання замість друкованих провідників виконані ізолюваними проводами діаметром 0,1-0,2 мм. Контактні з'єднання на ДП можуть бути отримані паянням, зварюванням або хіміко-гальванічною металізацією. Провідні ДП застосовують під час макетування, розробки дослідних зразків і в дрібносерійному виробництві замість трудомістких у виготовленні БШДП, оскільки є еквівалентними за трасувальною здатністю 5-, 8- та 11-шаровим БШДП.

2.4 Конструкторські вимоги та характеристики ДП

Конструкторські вимоги до ДП як до несучої конструкції, на якій встановлюються ЕК, визначають:

- механічну міцність ДП за заданих умов експлуатації;
- збереження характеристик ДП.

Виділяють п'ять класів точності виконання елементів конструкції (провідників, контактних майданчиків, отворів та ін.) і граничних відхилень, найменші номінальні розміри яких для вузького місця наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Найменші номінальні значення основних параметрів для класів точності ДП

Умовні позначення елементів друкованого монтажу	Клас точності ДП				
	1	2	3	4	5
t , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
S , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
b , мм	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025
$\gamma = d/H$	0,40	0,40	0,33	0,25	0,20
Δt , мм (без покриття)	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$	0; -0,03
Δt , мм (з покриттям)	+0,25; -0,20	+0,15; -0,10	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$
T_1 , мм – ОДП, ДДП, БЩДП (зовнішній шар)	0,20	0,10	0,05	0,03	0,02
T_1 , мм – БЩДП (внутрішній шар)	0,30	0,15	0,10	0,08	0,05

Примітка: t – найменша номінальна ширина провідника; S – найменша номінальна відстань між провідниками; b – мінімально припустима ширина контактного майданчика; d – номінальне значення діаметра найменшого металізованого отвору; H – товщина ДП; Δt – граничне відхилення ширини друкованого провідника, контактного майданчика, кінцевого друкованого контакту та ін.; T_1 – позиційний допуск розташування друкованого провідника щодо сусіднього елемента струмопровідного рисунка.

Вузьке місце ДП – ділянка ДП, на якій елементи друкованого струмопровідного рисунка та відстані між ними можуть бути виконані тільки з мінімально припустимими значеннями.

Клас точності ДП вказують у конструкторській документації на ДП. Вибір класу точності завжди пов'язаний з конкретним виробництвом, тому що він обумовлений рівнем технологічного оснащення виробництва.

Ширину провідника t розраховують і вибирають залежно від припустимого струмового навантаження, властивостей струмопровідного матеріалу, температури навколишнього середовища під час експлуатації та ін.

Краї провідників мають бути рівними, провідники – без здуттів, відшарувань, розривів, протравів, пор, крупнозернистості та тріщин, тому що ці дефекти впливають на опір провідників, щільність струму, хвильовий опір і швидкість поширення сигналів.

Відстань (зазор) між елементами струмопровідного рисунка S (наприклад, між провідниками), розташованими на зовнішніх або в сусідніх шарах ДП, залежить від припустимої робочої напруги, властивостей діелектрика, умов експлуатації та пов'язана із завадостійкістю, викривленням сигналів і короткими замиканнями.

Крок координатної сітки – відстань між двома сусідніми паралельними лініями координатної сітки (рис. 2.6).

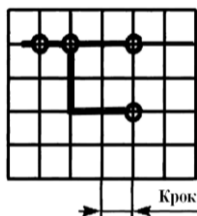


Рисунок 2.6 – Координатна сітка кресленка

Координатна сітка – ортогональна сітка, що визначає місця розташування з'єднань ЕК із ДП.

Вузол координатної сітки – перетинання ліній координатної сітки.

Крок координатної сітки гарантує сумісність ДП, виробів електронної техніки, квантової електроніки, ЕК, електротехнічних виробів, тобто всіх ЕК, які монтують у вузлах координатної сітки на ДП.

Основним кроком координатної сітки до 1 січня 1998 р. був крок 2,5 мм; додатковими – 1,25; 0,625 мм. З 1 січня 1998 р. для розміщення з'єднань на ДП основним кроком координатної

сітки є крок 0,50 мм. Якщо координатна сітка з номінальним кроком 0,50 мм не задовольняє вимогам конкретної конструкції, то має застосовуватися координатна сітка з основним кроком 0,05 мм.

Для конкретних конструкцій, що використовують елементну базу із кроком 0,625 мм, допускається застосування кроку координатної сітки 0,625 мм. Крок координатної сітки обирають відповідно до кроку більшості ЕК, встановлюваних на ДП. Якщо є необхідність застосувати крок координатної сітки, який відрізняється від основних кроків, то він має бути кратним основним крокам.

Кращими є наступні кроки координатної сітки:

– $n \cdot 0,05$ мм, де $n = 5, 10, 15, 20, 25$;

– $n \cdot 0,50$ мм, де $n = 1, 2, 5, 6, 10$.

Припустимі кроки координатної сітки – дюймові кроки, які застосовують у конструкції ДП, що використовують ЕК із кроком, кратним 2,54 мм:

– $n \cdot 2,54$ мм;

– $n \cdot 0,635$ мм.

Закордонна класифікація ДП за точністю регламентує не тільки конструктивні параметри, але також і крок трасування, що пов'язує рівень виробництва з конструктивними параметрами ДП і кроком розташування виводів ЕК (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Закордонна класифікація ДП за рівнем точності

Рівень точності	Ширина провідника та зазор, мм	Крок координатної сітки, мм		Крок виводів ЕК, мм	
		зовнішні шари	внутрішні шари	планарні виводи	матричні виводи
0	0,2	1,25	0,625	0,625	2,5
1	0,15	0,625	0,625	0,5	1,25
2	0,1	0,625	1,0	0,5	1,0
3	0,075	0,5	1,0	0,5	1,0
4	0,05	0,5	0,5	0,25	0,5
0,05	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5

Діаметри монтажних і перехідних отворів, металізованих і неметалізованих, мають відповідати

наступному ряду: 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 2,0; 2,1; 2,2; 2,3; 2,4; 2,5; 2,6; 2,7; 2,8; 3,0 мм.

Монтажні отвори – отвори для встановлення ЕК.

Перехідні отвори – отвори для електричного зв'язку між шарами або сторонами ДП. Розрізняють (рис. 2.7):

– наскрізні металізовані отвори, що забезпечують електричний зв'язок між сторонами ДП і внутрішніми шарами БШДП («Б»);

– наскрізні металізовані (сховані або міжшарові переходи) отвори, що забезпечують контакт між внутрішніми шарами («А»);

– некрізні («сліпі» або «глухі») отвори, що створюють контакт між зовнішнім і одним із внутрішніх шарів («В»);

– некрізні (сховані) мікроперехідні отвори, у тому числі багаторівневі мікропереходи («Г»).

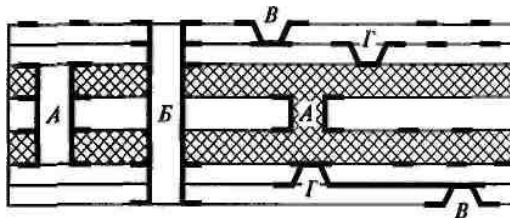


Рисунок 2.7 – БШДП з мікроотворами

Мікроотвори (microvia) або мікропереходи – отвори з діаметром, меншим за 0,15 мм і/або щільністю більш 1000 переходів/дм².

Мікроотвори використовують для збільшення щільності рисунка провідників і для зменшення числа шарів БШДП, що знижує собівартість БШДП.

Розмір і форма контактних майданчиків у зовнішніх, внутрішніх сигнальних шарах і в шарах землі та живлення може бути різною (кругла, прямокутна, квадратна та ін.).

Форма контактних майданчиків у зовнішніх шарах визначається:

- формою виводів ЕК (круглий або прямокутний переріз виводів, кулькові виводи, безвивідні компоненти та ін.);
- елементною базою (традиційні або поверхнево-монтажні компоненти);
- характером розташування виводів (перпендикулярно до площини монтажу, аксіально-паралельно до площини монтажу);
- жорсткістю виводів;
- способом з'єднання виводів ЕК з контактними майданчиками (в отвори паянням, внахлест до контактних майданчиків паянням або зварюванням);
- методом виготовлення ДП.

Розміри, форма, кількість і крок розміщення наскрізних і схованих (внутрішніх) перехідних отворів впливають на топологію провідників, контактних майданчиків і міжшарових переходів у зовнішніх і внутрішніх шарах.

Топологія – кресленник, що визначає форму, розміри та взаємне розташування елементів друкованого монтажу й отворів на зовнішніх або внутрішніх шарах ДП.

Багатошарові БШДП зі «сліпими» та «схованими» отворами дозволяють реалізувати набагато більш щільне розведення схеми, але вони мають значно більш високу вартість.

Розміри ДП, якщо вони не зазначені в ТЗ, визначають із урахуванням кількості встановлюваних ЕК, площ ЕК, кроку розміщення, зон встановлення з'єднувачів та ін. Співвідношення лінійних розмірів сторін ДП має бути 1:1; 2:1, але не більше за 3:1. Габарити (формат) ДП погоджують із розмірами технологічного устаткування, використовуюваного для виготовлення ДП і складання модулів 1-го рівня (гнізд): із розмірами ванн хімічної та гальванічної металізації, шириною робочої зони устаткування для нанесення фоторезисту, експонування, паяння хвилею припою, свердлильно-фрезерного верстата, а також із розмірами використовуваних для виготовлення ДП базових матеріалів для зменшення відходів під час розкрою матеріалу та одержання заготовок. Таким

чином, конструктор має знати технологічні обмеження габаритів ДП кожного конкретного виробника.

Стабільність розмірів ДП за умови впливу температури та вологості в процесі виготовлення залежить від типу діелектрика (структури основи та смоли) та фольги. Нестабільність розмірів пов'язана з різними ТКЛР і усадкою матеріалу в поздовжньому та поперечному напрямках.

Товщина ДП вибирається залежно від елементної бази та зовнішніх факторів (ударів, вібрації та ін.).

Товщина ОДП, ДДП, ГДП і ГДК визначається товщиною матеріалу основи з урахуванням товщини фольги.

Співвідношення діаметра наскрізного отвору до товщини ДП у наведено в табл. 2.1.

Число шарів БШДП залежить від кількості шарів:

- провідників;
- сигнальних провідників;
- екранних шарів;
- землі та живлення.

Кривизна ДП (циліндричне або сферичне викривлення основи ДП) може з'явитися в результаті впливу високої температури та вологості (рис. 2.8). Припустима величина вигину ДП на довжині 100 мм становить для ОДП, ДДП і БШДП на жорсткій основі зі склотканини за товщини понад 1,0...1,5 мм для ОДП – 0,9 мм, ДДП – 0,8 мм, БШДП – 0,5 мм; за товщини понад 1,5...2 мм – 0,8 мм, 0,6 мм, 0,1 мм; за товщини понад 2 мм – 0,6 мм, 0,5 мм, 0,1 мм відповідно.

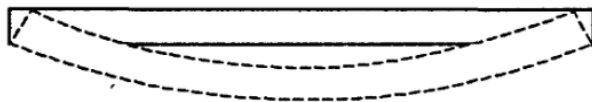


Рисунок 2.8 – Вигин ДП

Скручування ДП (спіральне викривлення протилежних країв основи ДП) може призвести до розриву провідників, ускладнити процес виготовлення ДП і встановлення ЕК під час складання модуля (рис. 2.9).

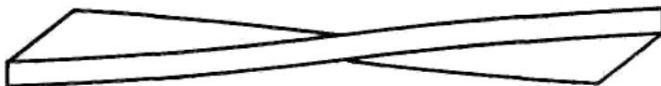


Рисунок 2.9 – Скручування ДП

Величина деформації визначається механічною міцністю фольгованого діелектрика, характером напруженого стану після травління фольги, правильністю режимів нагрівання й охолодження. За умови впливу на ДП температури 260...290 °С протягом 10 с не мають утворюватися розриви струмопровідного рисунка та відшарування його від діелектрика.

Для зменшення деформації ДП необхідно досягти максимальної симетричності рисунка та структури внутрішніх шарів.

2.5 Електричні та технологічні вимоги до ДП

Основними технічними вимогами до ДП як до комутаційного пристрою є: максимальна електропровідність друкованих провідників; мінімальні струми витoku між провідниками.

Електропровідність друкованого провідника залежить:

– від характеристик провідникового матеріалу (електропровідності, теплопровідності, корозійної стійкості, здатності до паяння, до нанесення покриттів); тому найбільш широко для виготовлення друкованих провідників використовують **мідь**;

– від способу одержання покриттів (хімічне, вакуумне або гальванічне осадження):

1) хімічно осаджені покриття мають більш високий питомий опір, який збільшується за умови підвищення вологості та за зниженого тиску;

2) покриття, отримані шляхом вакуумної металізації, мають кращі характеристики у порівнянні з хімічним покриттям, але вони залежать від його товщини;

3) гальванічні покриття мають кристалічну структуру, завдяки якій вони мають найкращі характеристики із усіх наведених вище покриттів;

– від площі поперечного перерізу друкованого провідника (розраховує конструктор, виходячи зі схеми електричної принципової та питомого опору матеріалу друкованого провідника);

– від режиму струмового навантаження;

– від зовнішніх впливів.

Від струмів витоку між друкованими провідниками залежать опір ізоляції між ними та взаємні наведення; вони визначаються матеріалом діелектрика та розташуванням друкованих провідників.

Ізоляційні характеристики діелектрика залежать від частотного діапазону роботи схеми електричної принципової.

Для низькочастотних ТЗА найбільше значення мають: опір ізоляції, стабільність поверхневого опору ізоляції за умови впливу високих температур і електричного поля, напруга пробою, а для високочастотних ТЗА – діелектрична проникність і діелектричні втрати.

Розглянемо електричні параметри ДП.

Припустиме струмове навантаження на елементи струмопровідного рисунка має бути для мідної фольги – $(100...250) \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$ ($100...250 \text{ А/мм}^2$), для гальванічної міді – $(60...100) \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$ ($60...100 \text{ А/мм}^2$). Воно обирається у залежності від допустимого перевищення температури провідника відносно температури навколишнього середовища.

Припустима робоча напруга між елементами струмопровідного рисунка, розташованими у сусідніх шарах ДП і ГДК, залежить від відстані між ними, матеріалу основи ДП і не має перевищувати значень, наведених у табл. 2.3.

Припустимі робочі напруги між елементами струмопровідного рисунка, що розташовані на зовнішньому шарі ДП, залежать від відстані між елементами друкованого монтажу, матеріалу основи ДП, від умов експлуатації та не мають перевищувати значень, наведених у табл. 2.4.

Таблиця 2.3 – Значення робочої напруги залежно від відстані між елементами рисунка, розташованими у сусідніх шарах

Відстань між елементами рисунка, мм	Значення робочої напруги, В	
	Фольгований гетинакс	Фольгований склотекстоліт
Від 0,1 до 0,2 включно	–	25
0,2...0,3	–	50
0,3...0,4	75	100
0,4...0,5	150	200
0,5...0,75	250	350
0,75...1,5	350	500
1,5...2,5	500	650

Опір друкованого провідника залежить від його довжини, поперечного перерізу, питомого опору, а також температури, частоти та ін. Величина питомого опору друкованих провідників залежить від технології їх виготовлення та відрізняється у значній мірі за хімічного, електрохімічного, вакуумного осадженні та для катаної фольги.

Опір ізоляції характеризує величину струму витoku через ділянку діелектрика, до якої прикладена певна постійна напруга.

Поверхневий опір ізоляції, Ом, між паралельними друкованими провідниками, розташованими в одній площині, визначається: питомим поверхневим опором діелектрика; відстанню між провідниками; довжиною спільного проходження провідників.

Об'ємний опір ізоляції між провідниками, розташованими на різних сторонах ДП або шару, залежить:

- від питомого об'ємного опору діелектрика, Ом·м;
- від товщини шару діелектрика;
- від довжини ділянки провідників, розташованих один над одним;

- від середньої ширини провідників.

Опір ізоляції між двома електрично не зв'язаними елементами провідного рисунка у нормальних кліматичних умовах ($T = (25 \pm 1) ^\circ\text{C}$, відносна вологість $(65 \pm 15) \%$, атмосферний тиск 96...104 кПа) має бути не меншим за:

– для гетинаксу – 5000 МОм (за $T = (85 \pm 5) ^\circ\text{C}$ протягом двох годин – 20 МОм);

– для склотекстоліту – 10 000 МОм (за $T = (85 \pm 3) ^\circ\text{C}$ протягом двох годин – 300 МОм);

Таблиця 2.4 – Значення робочої напруги залежно від відстані між елементами струмопровідного рисунка, розташованими на зовнішньому шарі

Відстань між елементами струмопровідного рисунка, мм	Значення робочої напруги, В							
	за нормальних умов		за відносної вологості $(93 \pm 3)\%$ і температури $(40 \pm 2) ^\circ\text{C}$ протягом 48 год		за зниженого атмосферного тиску			
					53 600 Па (400 мм рт. ст.)		666 Па (5 мм рт. ст.)	
	ГФ*	СФ**	ГФ	СФ	ГФ	СФ	ГФ	СФ
0,1...0,2	–	25	–	15	–	20	–	10
0,2...0,3	30	50	20	30	25	40	20	30
0,3...0,4	100	150	50	100	80	110	30	50
0,4...0,7	150	300	100	200	110	160	58	80
0,7...1,2	300	400	230	300	160	200	80	100
1,2...2,0	400	600	300	360	200	300	100	130
2,0...3,5	500	830	360	430	250	400	110	160
3,5...5,0	660	1160	500	600	330	560	150	210
5,0...7,5	1000	1500	660	830	500	660	200	250
7,5...10,0	1300	2000	830	1160	560	1000	230	300
10,0...15,0	1800	2300	1160	1600	660	1160	300	330

* Гетинакс фольгований

** Склотекстоліт фольгований

– для лавсану, поліімиду – 10 000 МОм (за $T = (100 \pm 3) ^\circ\text{C}$ протягом двох годин – 200 МОм).

Значне зниження опору ізоляції спостерігається в умовах підвищеної вологості та температури. Зменшення поверхневого опору має місце за наявності відбитків пальців, забруднень, залишків реактивів, за умови впливу

інфрачервоного випромінювання, а також за умови підвищеного вологовбирання матеріалу.

Електрична міцність ізоляції (напруга пробою) між елементами струмопровідного рисунка, що залежить від відстані між ними, матеріалу основи ДП, вологості, тиску, має забезпечити відсутність пробоїв, як за об'ємом, так і по поверхні діелектрика, за значень випробних напруг, наведених у табл. 2.5.

Для внутрішніх шарів БШДП зазначені значення напруги збільшуються.

Таблиця 2.5 – Випробна напруга для визначення електричної міцності ізоляції, В

Відстань між елементами струмопровідного рисунка, мм	Значення робочої напруги, В							
	за нормальних умов		за відносної вологості (93±3) % і температури (40±2) °С протягом 48 год		за зниженого атмосферного тиску			
					53 600 Па (400 мм рт. ст.)		666 Па (5 мм рт. ст.)	
	ГФ	СФ	ГФ	СФ	ГФ	СФ	ГФ	СФ
Від 0,1 до 0,15 включно	–	100	–	75	–	50	–	30
0,15...0,2	–	200	–	120	–	100	–	75
0,2...0,3	280	400	200	200	100	150	75	100
0,3...0,4	500	700	300	500	250	350	100	150
0,4...0,7	700	900	500	700	350	500	175	250
0,7...1,2	900	1200	700	900	500	600	250	300
1,2...2,0	1200	1800	900	1100	600	900	300	400
2,0...3,5	1500	2500	1100	1300	750	1200	350	500
3,5...5,0	2000	3500	1500	1800	1000	1700	450	6500
5,0...7,5	3000	4500	2000	2500	1500	2000	600	750
7,5...10,0	4000	6000	2500	3500	1700	3000	700	900
10,0...15,0	5500	7000	3500	5000	2000	3500	900	1000

Діелектрична проникність діелектрика характеризує його здатність поляризуватися під дією прикладеної ззовні електричної напруги. Величина заряду визначається ємністю даної ділянки діелектрика. Величина діелектричної проникності діелектрика залежить від структури, температури, частоти

прикладеної напруги, і має велике значення під час передачі високочастотних сигналів, тому що впливає на рівень втрат і ін.

Тангенс кута діелектричних втрат $tg\delta$ – відношення величин активного та реактивного струмів на векторній діаграмі струмів у діелектрику. Він є характеристикою ізоляційного матеріалу.

Ємність провідника залежить від ширини, товщини ДП, відносної діелектричної проникності.

Погонна ємність провідників ДП становить зазвичай 1...10 пФ/см.

Погонна індуктивність провідників залежить від ширини та довжини провідників, товщини ДП, а також магнітної проникності матеріалу та зазвичай становить приблизно 1...10 нГ/см.

Взаємна ємність паралельно розташованих провідників – ємність конденсатора, утвореного двома друкованими провідниками на поверхні ДП, яка визначається величиною ємності між торцями провідників (вона залежить від форми провідників, їх товщини, довжини, відстані між провідниками та діелектричної проникності повітря) і периферійних ємностей (вони залежать від ширини провідників, діелектричної проникності діелектрика та захисного покриття, наприклад, лаку).

Ємність конденсатора, утвореного двома друкованими провідниками розташованими на різних поверхнях ДП, залежить від діелектричної проникності діелектрика, товщини шару ізоляції між провідниками та площі перетину провідників.

Мінімальні ємнісі взаємодії між друкованими провідниками розраховують у процесі конструювання ДП і забезпечують шляхом їхнього раціонального розміщення.

Потужність втрат ДП – потужність, що розсіюється в діелектрику під дією напруги на друкованих провідниках, обумовлена діелектричними втратами ізоляційного матеріалу. Потужність втрат ДП, Вт, визначають за формулою

$$P = U^2 \omega C tg\delta,$$

де U – значення змінної синусоїдальної напруги, В;
 ω – циклічна частота ($\omega = 2\pi f$), с⁻¹;
 f – частота, Гц;
 C – ємність ділянки діелектрика, Ф;
 $tg\delta$ – тангенс кута діелектричних втрат.

Номінальна величина та граничні відхилення **хвильового опору** (характеристичного імпедансу) лінії передачі на високих частотах залежать від ширини провідників, товщини діелектрика ДП і його відносної діелектричної проникності. Лінії передачі на частоті вище за 107 Гц за фронтів імпульсів у декілька наносекунд розглядають як електрично довгі лінії зв'язку.

Технологічні вимоги до ДП

Технологічні вимоги до ДП визначають умови складання електронних модулів. До них належать такі:

– **паяність** – властивість матеріалів, що паяються, вступати у фізико-хімічну взаємодію з розплавленим припоєм з утворенням якісного з'єднання контактної майданчика з виводами ЕК. При цьому враховуються режими паяння (температура та час), наявність флюсувального або відновлювального середовищ і якість підготовки поверхні;

– **міцність зчеплення провідників із діелектриком** на поверхні та в отворах – одна з основних характеристик процесу металізації. Під час хімічної металізації діелектрика вона обумовлена сорбційною взаємодією міді та діелектрика, яка не забезпечує високої та рівномірної міцності зчеплення. Це має місце під час металізації у вакуумі (крім катодної та плазмової металізації, у процесі яких додаються сили електронної взаємодії). Висока міцність зчеплення провідників із діелектриком спостерігається у результаті нанесення та вжигання струмопровідних паст на керамічну основу, обумовлена їхньою дифузійно-хімічною взаємодією, і під час клейового з'єднання фольги з діелектриком. Міцність зчеплення залежить також від типу діелектрика, підготовки поверхні, застосовуваних хімічних розчинів і визначається зусиллям відриву провідника від ДП у перерахуванні на ширину металевієї смужки на поверхні ДП;

– **стійкість до перепаювань** визначається кількістю припустимих перепаювань, яку мають витримати контактні майданчики з металізованими отворами під час ремонту: не менше чотирьох (БШДП – трьох) перепаювань; без металізованих отворів – не менше трьох (БШДП – двох) перепаювань;

– **придатність до паяння** – здатність ДП зберігати паяність протягом тривалого часу (6...12 місяців);

– **ремонтпридатність** та ін.

2.6 Матеріали для виготовлення друкованих плат

Створення сучасних електронних засобів нерозривно пов'язане з розробкою й освоєнням нових матеріалів. Від властивостей використовуваних матеріалів залежать як перспективність і конкурентоспроможність ТЗА в цілому, так і конкретні характеристики ДП. Акцентується увага і на необхідності забезпечення екологічної чистоти та безпеки матеріалів ДП для людини та навколишнього середовища.

До **базових матеріалів ДП** належать:

– **фольгованані або нефольговані діелектрики, керамічні та металеві** (з поверхневим діелектричним шаром) матеріали, з яких виготовляють основу ДП;

– **ізоляційний прокладочний матеріал** (склеювальні прокладки – препреги), використовуваний для склеювання шарів БШДП. Препреги виготовляють зі склотканини, просоченої недополімеризованою термореактивною епоксидною або іншими смолами; з поліімиду з нанесеним із двох сторін адгезійним покриттям та ін.

Для захисту поверхні ДП, БШДП, ГДП, ГДК і ГЖДП від зовнішніх впливів застосовують полімерні захисні лаки та покривні захисні плівки. Вимоги до базових матеріалів для виготовлення ДП визначаються: умовами експлуатації; електричними, механічними, економічними й іншими вимогами до ДП; типом ДП; конструкцією ДП; методом виготовлення ДП; умовами складання та монтажу модулів тощо.

Основними вимогами до базових матеріалів для виготовлення ДП є:

- гарні електроізоляційні властивості;
- висока механічна міцність;
- висока термостійкість;
- стійкість до агресивних технологічних середовищ;
- гарна оброблюваність;
- стабільність електричних і механічних параметрів ДП

за кліматичних впливів;

- низька вартість та ін.

Фольговані та нефольговані діелектрики складаються з наповнювача та сполучної речовини (фенольної, епоксифенольної, епоксидної або іншої смоли). Як наповнювач використовують папір, склотканину, скловолокно та ін.

Фольговані діелектрики на основі склотканини складаються: зі склотканини, виготовленої з ниток, наприклад, алюмоборосилікатного скла; зі смоли, використовуваної для просочування склотканини (визначає характеристики матеріалу), модифікацією якої одержують необхідні механічні й електричні характеристики фольгованих діелектриків; з фольги, викорис-товуваної як металеве покриття фольгованих матеріалів (мідної, алюмінієвої, резистивної, зокрема, ніхромової та ін.).

Мідну фольгу виготовляють одним із двох способів: електролітичним осадженням і прокаткою. Мідну електролітичну фольгу, оксидовану з однієї сторони в лужних або хромових розчинах для кращого зчеплення фольги з діелектриком (товщиною 5, 9, 12, 18, 35, 50, 70, 105 мкм), одержують, наприклад, гальванопластичним методом і приклеюють до діелектрика клеєм БФ-4 і БФР-4, до складу якого доданий пилоподібний кварц для підвищення теплостійкості клейового складу та поліпшення адгезії до мідної фольги та діелектрика.

Нефольговані діелектрики випускають двох типів:

- з адгезійним (клейовим) шаром, наприклад, епоксикаучуковою композицією товщиною 50-100 мкм на поверхні діелектрика, який наносять для підвищення міцності

зчеплення міді, що осаджується хімічним способом у процесі виготовлення ДП;

– із введеним в об'єм діелектрика каталізатором, що сприяє осадженню хімічної міді.

Керамічні матеріали характеризуються: стабільністю електричних і геометричних параметрів; стабільною високою механічною міцністю в широкому діапазоні температур; високою теплопровідністю; низьким вологовбиранням та ін. Недоліками керамічних матеріалів є тривалий цикл виготовлення, велика усадка матеріалу, крихкість, висока вартість та ін.

Металеві основи виготовляють з алюмінію, титану, сталі або міді. Їх застосовують у теплонавантажених ДП для поліпшення відведення теплоти від ЕК, у ТЗА із великим струмовим навантаженням, що працюють за високих температур, а також для підвищення твердості ДП, виконаних на тонкій підставі.

Характеристиками прокладкових склеювальних матеріалів (товщиною 0,025; 0,06 і 0,1 мм) для склеювання шарів БШДП є:

– марка склотканини та смоли;

– загальний вміст смоли, який визначає міцність склеювання, здатність заповнювати простір між друкованими провідниками в шарі БШДП, товщину ізоляційного шару між шарами БШДП. Розраховується як відношення маси смоли до маси прокладкового матеріалу, у %. Вміст смоли у прокладках має бути в межах 42-52 %, у матеріалах фірми ISOLA (Німеччина) – до 67 %;

– вміст летких речовин у смолі, які призводять до утворення порожнеч, зменшення міцності склеювання, ступеню полімеризації смоли через присутність розчинника, погіршення механічних та ізоляційних характеристик. Вміст летких речовин у смолі має бути не більшим за 0,75 %. Визначається як процентне відношення маси леткого розчинника до маси просоченої склотканини;

– текучість смоли, яка визначає режим пресування шарів (температуру та тиск) і придатність прокладкового матеріалу для склеювання шарів БШДП;

– вміст розчинної смоли, від якої залежить ступінь полімеризації смоли. Вміст смоли для прокладкових матеріалів марки СП у стані поставки складає близько 80-100 %.

До технологічних (витратних) матеріалів для виготовлення ДП належать фоторезисти, спеціальні трафаретні фарби, захисні маски, електроліти міднення, травління та ін.

Вимоги до них визначаються конструкцією ДП і технологічним процесом її виготовлення. Фоторезисти мають забезпечувати необхідну роздільну здатність під час одержання рисунка схеми та відповідну хімічну стійкість. Травильні розчини мають бути сумісними із застосуванням у процесі травління резистом, бути нейтральними до ізоляційних матеріалів, мати високу швидкість травління та ін. Усі матеріали мають бути економічні та безпечні для навколишнього середовища.

Як матеріали основи ДП застосовуються шаруваті діелектрики, з однієї або двох сторін фольговані мідною фольгою, або нефольговані діелектрики.

До фольгованих і нефольгованих діелектриків висувають наступні **вимоги**:

– високі поверхневий, Ом, і питомий об'ємний опір, Ом · м, що характеризують величину струму витoku;

– висока електрична міцність ізоляції, обумовлена напругою постійного струму, за якої відбувається пробій;

– низькі значення діелектричної проникності та тангенса кута діелектричних втрат – для передачі високочастотних сигналів і зниження тепловиділення, обумовленого діелектричними втратами;

– стабільність електричних характеристик за підвищених вологості та температури;

– висока механічна міцність: межа міцності під час розтягування, вигину, які залежать від типу використовуваної смоли та знижуються за підвищення температури;

– стабільність лінійних розмірів по осях X , Y і Z за підвищеної температури, що залежить від температури склування T_c , теплостійкості та теплопровідності базового матеріалу. Вимога високої температури склування T_c (до 290 °С у перспективі, розрахована на робочу температуру до 280 °С)

пов'язана з тим, що під час нагрівання, наприклад, у процесі паяння, відбувається значне розширення склопластиків, епоксидної смоли й інших полімерів по осі Z, інтенсивність якого особливо зростає за умови перевищення температури склування даного матеріалу, що може призвести до розшарування діелектрика та розриву металізації в отворах ДП, тому що метал має мале розширення по осі Z. Тому за високої температури склування T_c процес розширення матеріалу ДП зміщується в область більш високих температур, бажано таких, які перевищують температуру паяння;

– висока теплостійкість, яка залежить від типу наповнювача та складу смоли. Дана вимога пов'язана з тим, що:

1) необхідна підвищена стійкість до впливу теплового удару, наприклад, під час паяння ЕК до ДП, за якого температура паяння сягає значень деструкції діелектрика та може відбуватися вихід газів, пороутворення, скручування та ін.;

2) у результаті впливу високих температур під час свердління отворів можливий розігрів діелектрика, витікання та наволакування смоли на стінки отворів, що перешкоджає подальшій металізації отворів;

3) висока робоча температура може призвести до розшарування склотканини та смоли, відшарування фольги, утворення пухирів під фольгою та до того, що характеристики матеріалу не будуть задовольняти вимогам експлуатації ТЗА;

– гарна механічна оброблюваність під час різання, фрезування, зачищення, свердління й інших операцій без утворення відколів, тріщин і розшарування діелектрика;

– стійкість до агресивних середовищ (кислот, лугів, розчинників та ін.) у ході ТП виготовлення ДП;

– гарна міцність зчеплення (адгезія) фольги з діелектриком, яка залежить від матеріалу фольги, способу її одержання (прокатка або електролітичне осадження), стану поверхні, температури та часу витримки за підвищеної температури та ін.;

– негорючість – вимога міжнародних стандартів застосування в ТЗА тільки самозагасаючих фольгованих діелектриків;

– низьке водовбирання для виключення розшарування діелектрика, особливо під час нагрівання;

– низьке значення температурного коефіцієнта лінійного розширення (ТКЛР), сумісне із ТКЛР виводів і корпусів ЕК; у випадку, якщо ТКЛР діелектрика є значно більшим за ТКЛР виводів і корпусів ЕК, виникають значні напруження у місцях паяння внаслідок великого розширення діелектрика основи ДП по осях X , Y і малого розширення по тих же осях підкладки ЕК;

– площинність (особливо необхідна для встановлення SMD-компонентів);

– низька вартість і ін.

Фольговані діелектрики застосовують у субтрактивних методах виготовлення ДП, нефольговані – в адитивному та напівадитивному.

Фольговані діелектрики, застосовувані як основа ДП у субтрактивних методах, є композиційними матеріалами та складаються з армуючого наповнювача, синтетичної зв'язувальної речовини та мідної, алюмінієвої або резистивної фольги. Найбільш широко на цей час застосовуються гетинакс, склотекстоліт, поліімід та ін.

Гетинакс фольгований складається зі спресованих шарів електроізоляційного паперу (армуючого наповнювача), просочених фенольною або епоксифенольною смолою як зв'язувальною речовиною, вкритих з однієї або двох сторін мідною фольгою (наприклад, запис ГФ-1 або ГФ-2 позначає гетинакс фольгований одно- чи двосторонній).

Склотекстоліт фольгований являє собою спресовані шари склотканини, просочені епоксифенольною або епоксидною смолою (наприклад, запис СФ-1 або СФ-2 позначає склотекстоліт фольгований одно- чи двосторонній відповідно).

Велике значення під час виготовлення ДП має процентне співвідношення між скловолокном і смолою в діелектрику, тому що воно впливає на якість виконання цілої низки операцій, наприклад, таких як:

– свердління монтажних і перехідних отворів – чим більше скловолокна (абразиву), тим швидше зношується свердло;

– підтравлювання діелектрика в отворах БШДП – чим більше смоли, тим легше підтравлювати;

– пресування БШДП, тому що вибір режимів пресування (тиск і час його прикладення) залежать від часу желатинізації смоли (визначається експериментально для кожної партії матеріалу);

– металізація монтажних або перехідних отворів – чим більше скловолокна, тим більше торців скловолокна виходить в отвори ДП, поверхню яких досить складно підготувати хімічним способом перед хімічним осадженням міді в отвори, і в результаті можуть з'явитися не покриті міддю ділянки, що призводить до розриву металізації та електричних кіл.

У порівнянні з гетинаксами склотекстоліти мають кращі механічні й електричні характеристики, більш високу нагрівостійкість, менше вологовбирання. Однак їм властиві такі недоліки: невисока нагрівостійкість у порівнянні з поліімідами, що сприяє забрудненню смолою торців контактних майданчиків внутрішніх шарів під час свердління отворів; гірша механічна оброблюваність; більш висока вартість; істотна відмінність (приблизно в 10 разів) ТКЛР міді та склотекстоліту в напрямку товщини матеріалу, що може призвести до розриву металізації в отворах під час паяння або у процесі експлуатації; відмінність у ТКЛР епоксидної смоли та скла приблизно у 20 разів, що може призвести до значних внутрішніх напружень, до скручування ДП і усадки в зоні свердління отворів. Для виготовлення ДП, здатних забезпечити надійну передачу наносекундних імпульсів, необхідно застосовувати матеріали з покращеними діелектричними властивостями (зменшеним значенням діелектричної проникності та тангенса кута діелектричних втрат), що безпосередньо пов'язано зі збільшенням швидкодії, оскільки швидкість поширення сигналів у провідниках обернено пропорційна до діелектричної проникності матеріалів, з яких виготовлені основи ДП.

Під час **вибору матеріалу основи ДП** необхідно звернути увагу на передбачувані механічні впливи (вібрації, удари, лінійне прискорення тощо); клас точності ДП (ширину провідників, відстань між ними); реалізовані електричні функції та вимоги до електричних параметрів; об'єкт, на який

встановлюється ТЗА, та умови експлуатації; швидкодію; вартість та ін.

У найменуванні марки матеріалу букви означають: С – склотекстоліт; Т – теплостійкий; Н – негорючий або нормованої горючості; Ф – фольгований; 1-2 – вкритий фольгою з однієї або двох сторін; цифри 5, 9, 12, 18, 35, 50, 70, 100, 105 – товщину фольги у мкм.

Для друкованих плат із металізованими отворами застосовують матеріали з гальваностійкою фольгою.

Для виготовлення ДП 1-ї та 2-ї групи жорсткості доцільно застосовувати матеріал на основі паперу, для 3-ї та 4-ї – на основі склотканини, полііміду та лавсану. Матеріали, що мають фольгу товщиною 5 мкм, дозволяють виготовити ДП 4-го та 5-го класів точності та вище.

Для виготовлення ДП, що забезпечують надійну передачу наносекундних імпульсів, необхідно застосовувати матеріали із покращеними діелектричними властивостями. Тому до перспективних напрямів належить застосування основ ДП з органічних матеріалів із відносною діелектричною проникністю нижчою за 3,5.

Нефольговані діелектрики застосовують у напівадитивному й адитивному методах виробництва ДП. Для збільшення міцності зчеплення металевого покриття з основою на його поверхню наносять тонкий (50-100 мкм) напівзатверділий клейовий шар (наприклад, епоксидкаучукову композицію).

Введення в лак, що просочує склотканину, 0,1-0,2 мас. % паладію, суміші паладію з оловом або закису міді незначно знижує опір ізоляції, але підвищує якість металізації.

З'єднання окремих шарів БШДП здійснюють спеціальними склеювальними прокладками, які виготовляють зі склотканини, просоченої недополімеризованою епоксидною смолою. Вміст смоли в прокладках має бути в межах 42-52 %, а летких речовин – не більш 0,75 %. Тривале збереження склеювальних властивостей міжшарових прокладок досягається їхньою консервацією в герметично упакованих поліетиленових мішках за зниженої (+10 °С) температури.

Термопластичні матеріали, що мають підвищену текучість, використовуються для виготовлення рельєфних ДП.

Як основу для ДП НВЧ-діапазону використовують неполярні полімери (фторопласт, поліетилен, поліпропілен), полярні (полістирол, поліфеніленоксид) та їх співполімери.

Керамічні матеріали характеризуються високою механічною міцністю, яка незначно змінюється в діапазоні температур 20-700 °С, стабільністю електричних характеристик і геометричних параметрів, низьким (0-0,2 %) водовбиранням і газовиділенням під час нагрівання у вакуумі, крихкістю та високою вартістю. Промисловість випускає їх у вигляді пластинок розміром від 20 × 16 до 60 × 48 мм із висотою мікронерівностей 0,02-0,1 мкм і різнотовщинністю ± 0,01-0,05 мм. Вони призначені для виготовлення одно- та багатошарових комунаційних плат мікробірок для НВЧ-діапазону.

Металеві плати застосовуються у виробках із великим струмовим навантаженням, які працюють за підвищених температур. Як основа використовується алюміній або сплави заліза з нікелем. Ізолюючий шар на поверхні алюмінію одержують анодним оксидуванням. Варіюючи склад електроліту та режим електролізу, можна формувати оксидні плівки товщиною від декількох десятків до сотень мікронів з опором ізоляції 10^9 - 10^{10} Ом.

На сталевих основах ізолювання струмопровідних ділянок здійснюють за допомогою спеціальних емалей, що виготовляються у вигляді тонких плівок. До складу емалей входять оксиди магнію, кальцію, кремнію, бору, берилію, алюмінію або їх суміші, зв'язка (полівінілхлорид, полівінілацетат або метилметакрилат) і пластифікатор. Плівка з'єднується з основою шляхом прокатки з наступним зв'язанням. Таким чином, можна створювати багатошарові структури з різними механічними й електричними характеристиками.

Матеріал для ДП вибирають за технічними умовами. Він впливає на властивості ДП: жорсткість, власну ємність, теплопровідність.

Основні конструкційні матеріали, які застосовують для виготовлення ДП, наведені в табл. 1.6.

Для створення елементів друкованого монтажу (провідників, контактних майданчиків, кінцевих контактів і т. ін.), застосовують металеві покриття (табл. 2.7).

2.7 Матеріали для виготовлення ГДП, ГДК і ГЖДП

У процесі виготовлення й експлуатації ГДП, ГДК і ГЖДП зазнають кліматичних, механічних впливів, а також впливу агресивних середовищ.

Вибір конструкції, матеріалів і технологічних процесів виготовлення ГДП, ГДК і ГЖДП залежить від:

- електричних вимог;
- конструкторських вимог;
- умов і режимів експлуатації;
- експлуатаційних вимог;
- умов виробництва;
- механічних напружень під час складання й експлуатації, тобто чи потрібна гнучкість тільки під час складання (здатність витримувати сильне згинання для одержання щільного заповнення об'єму модуля) або гнучкість у процесі експлуатації;
- призначення пристрою з точки зору максимального числа витримуваних циклів і радіуса вигину у процесі експлуатації;
- характеру вигину та деформації у процесі складання й експлуатації: висоти між жорсткими ділянками ГЖДП за умови зміни форми, відстані між жорсткими ділянками, мінімального радіуса вигину, максимального числа вигинів і складань, форми ГДП, ГДК і ГЖДП у найбільш складних умовах експлуатації.

Таблиця 2.6 – Основні конструкційні матеріали для виробництва ДП

Вид матеріалу, марка	Товщина		Призначення	Властивості
	фольги, мкм	матеріалу, мм		
Гетинакс фольгований	35, 50	1...3	ОДП, ДДП	$\rho_s = 1 \times 10^9$ Ом; $\sigma = 4$ Н; $T = -60...+90$ °С; $\tau = 15$ с
Склотекстоліт: з адгезій ним шаром СТІК з каталізатором СТАМ	35, 50	0,7...2,0	ДДП ДДП	$\rho_s = 10^{10}$ Ом; $\sigma = 4$ Н; $U_{np} = 15$ кВ/мм
Склотекстоліт фольгований СФ-1(2)-35(50)	35, 50	0,8...3	ОДП, ДДП	$\rho_s = 10^{10}...10^{11}$ Ом; $\sigma = 3...4...4$ Н; $T = -60...+105$ °С
Фторопласт фольгований	35, 50	0,5...10	ОДП, ДДП ГДК ДДП, НВЧ	$\sigma = 3...3,2$ Н; ρ_s – до 5×10^{14} Ом; $T = -60...+200$ °С; $U_{np} = 15$ кВ/мм
Лавсан фольгований	35, 50	0,05; 0,1	ГДП, ГДК	$\rho_s = 1 \times 10^{13}$ Ом; $\sigma = 2,4$ Н; $T = -60...+100$ °С; $b = 0,5...1\%$
Поліімід фольгований	35, 50	0,05...0,1	ГДП, ГДК	$\rho_s = 10^{12}$ Ом; $T = -60...+250$ °С; $U_{np} = 50$ кВ/мм; $b = 0,5...2\%$

Примітка: ρ_s – питомий поверхневий опір; b – вологопоглинання; σ – границя міцності, τ – година горіння; U_{np} – напруга пробиття; ε – діелектрична проникність ($\varepsilon_{онт} = 4...11$).

Таблиця 2.7 – Металеві покриття

Покриття	Товщина, мкм	Призначення
Сплав Розе	1,5...3	Захист від корозії, забезпечення паяльності
Сплав олово-свинець	9...15	Те ж саме
Золото і його сплави (золото-нікель, золото-кобальт та ін.)	0,5...3	Поліпшення електропровідності, зовнішнього вигляду, зниження перехідного опору, захист від корозії
Мідне	25...30	Забезпечення електричних параметрів, з'єднання струмопровідних шарів
Срібне	6...12	Поліпшення електропровідності
Срібло-сурма	6...12	Поліпшення електропровідності, підвищення зносостійкості перемикачів і кінцевих контактів
Паладієве	1...5	Зниження перехідного опору, підвищення зносостійкості контактів перемикачів і кінцевих контактів
Хімічний нікель- імерсійне золото Хімічний нікель- хімічний Імерсійний паладій Імерсійне золото Хімічне олово	0,2...0,4	Фінішне покриття контактних площадок
Нікелеве	3...6	Захист від корозії, підвищення зносостійкості контактів перемикачів і кінцевих контактів
Родій	0,1...3	Підвищення зносостійкості та жорсткості контактів перемикачів і кінцевих контактів

Для виготовлення ГДП, ГДК і ГЖДП застосовують наступні матеріали:

- ізоляційні;
- провідникові;
- захисні;
- адгезійні.

Розглянемо вимоги до цих матеріалів.

Оскільки у процесі експлуатації або складання ГДП, ГДК і ГЖДП мають згинатися та змінювати форму, однією з вимог, що висувають до матеріалів, з яких вони виготовлені, є вимога гнучкості (задається числом циклів вигину навколо

пристосування, діаметр якого дорівнює декільком значенням товщини гнучкої ділянки). Наприклад, за військовим американським стандартом матеріал ДП має витримувати 25 циклів вигину навколо циліндру з діаметром, що дорівнює 12-кратній товщині гнучкої ділянки ГДК. Тому до ізоляційних матеріалів ГДК висувають наступні вимоги:

- стійкість до перегинів і скручування, оскільки при цьому може виникнути відшарування та порушення цілісності струмопровідних ділянок ГДК. Під час вибору ізоляційного матеріалу необхідно враховувати припустиме число перегинів за заданого радіусу вигину, а також силу зчеплення (адгезію) металеві фольги з діелектричною основою;

- стійкість до високих температур під час виготовлення (у процесі паяння) та експлуатації. Результируюча температура складається з максимальної температури навколишнього середовища та температури нагрівання ГДК за максимально припустимого електричного навантаження;

- мінімальна діелектрична постійна для забезпечення передачі високочастотних сигналів;

- висока електрична міцність ізоляції за різних кліматичних впливів;

- незначні коливання діелектричної постійної та електричної міцності ізоляції за умови зміни частоти, тиску та вологості;

- незначна усадка матеріалу особливо для ГДП і ГДК із високою щільністю струмопровідного рисунка;

- висока міцність під час розтягування та надриву, що необхідно для забезпечення цілісності провідників;

- мінімальне водовбирання, що пов'язано з електричною міцністю ізоляції ГДК, можливістю розшарування діелектрика й утворенням раковин;

- здатність до рівномірного травління в сильних лужних середовищах для одержання отворів у діелектричному шарі та пасивність до дії розчинів, застосовуваних у даному ТП;

- незаймистість;

- здатність до металізації шляхом вакуумного напилювання, хімічного й електрохімічного методів для одержання перехідних металізованих отворів малого діаметра

(порядку 0,07...0,1 мм);

- високий опір ізоляції за умови кліматичних впливів;
- мала маса;
- стійкість до зовнішніх впливів.

Для виготовлення ГДП і ГДК, здатних витримувати багаторазові вигини на 90° (в обидва боки від вихідного положення) з радіусом 3 мм, застосовують фольгований лавсан, поліїмід (фольгований і нефольгований), фторопласт, а також поліетилен, полісульфон та ін.

Для електронних засобів загального призначення застосовують діелектрики на основі **поліефірної** плівки (лавсанової або з поліетилентерефталату), які мають наступні переваги:

- гарні електроізоляційні характеристики;
- висока стійкість до перегинів;
- висока міцність під час розтягування та стійкість до розриву;
- низьке водовбирання;
- гарна адгезія плівки до фольги;
- стійкість до агресивних технологічних середовищ;
- низька вартість;
- робочий діапазон температур від -60 °С до +105 °С;
- гарна формувальність, оскільки вони є низькотемпературними термопластами.

Однак цим діелектрикам властиві і недоліки: низька точка плавлення; крихкість за зниженої температури.

В електрорадіоапаратурі відповідального призначення для виготовлення ГДК використовують фольгований лавсан марки ЕФЛ, який має наступні переваги:

- витримує тривале перебування в розчинах електрохімічного нікелювання та золочення;
- не підлягає підтравлюванню адгезиву та відшаруванню друкованих провідників.

Фольгований лавсан випускається в рулонах, що дозволяє механізувати процес обробки.

Фольгований і нефольгований **поліїмід** застосовується в ТЗА відповідального призначення, що працюють за високих температур, для виготовлення ГДП, ГДК, ГЖДП, а також

БШДП, стрічок-носіїв інтегральних схем і великих гібридних інтегральних схем із числом виводів до 1000.

Перевагами поліімідів є:

- високий питомий об'ємний і поверхневий опір;
- низьке значення діелектричної проникності (на $f = 1$ МГц $\varepsilon = 3,5$);

- висока теплостійкість;

- висока механічна міцність за малої товщини й еластичність;

- лінійна стабільність розмірів;

- широкий діапазон робочих температур (4...673 К);

- стабільність електричних і фізико-хімічних властивостей за зміни температури в широкому діапазоні;

- висока міцність на розрив за зміни температур від 473 К до 673 К;

- негорючість до 773 К;

- хімічна стійкість до органічних розчинників і кислот;

- ТКЛР полііміда, що дорівнює $20,0 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, близький до ТКЛР металів, застосовуваних під час виготовлення друкованих провідників і виводів ЕК – міді ($16,6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) та алюмінію ($23,6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), що зменшує внутрішні механічні напруження та напруження у місцях паяння виводів ЕК;

- висока електрична міцність ($28 \cdot 10^{-9} \text{ Вт/мм}$);

- хімічна стійкість;

- температурна стійкість (не втрачає гнучкість за температури рідкого азоту $-196 \text{ }^\circ\text{C}$);

- висока радіаційна стійкість;

- високий тимчасовий опір на розрив ($1,75 \cdot 10^{-8} \text{ Па}$);

- здатність до рівномірного травління в сильних лужних середовищах;

- мінімальні газовиділення у вакуумі за високих температур.

До їхніх недоліків можна віднести:

- підвищене вологовбирання (близько 3 %), яке може призвести до деструкції плівки під час паяння;

- висока вартість;

- низька адгезія до поліімідної плівки металів, клеїв і мастик;

- відносно низька стабільність лінійних розмірів;
- відносно низька електрична міцність;
- обмежене використання у НВЧ-апаратурі через нестабільність діелектричних параметрів.

Фторопласт має такі переваги:

- високі діелектричні властивості, що мало залежать від температури;

- хімічна стійкість до агресивних хімічних середовищ (концентрованим кислот, луг, сильних розчинників навіть за високих температурах);

- не змочується водою, не набухає, не розчиняється в жодному розчиннику, не горить;

- добре обробляється різанням;

- інтервал робочих температур лежить у діапазоні від -250 °С до +250 °С.

Найбільше широко як матеріал основи ГЖДП застосовують:

- поліімід;

- поліімід з адгезійним шаром;

- склопоксид із товщиною порядку 0,1 мм, який має меншу гнучкість у порівнянні з поліімідом, але має низьку вартість.

Марки деяких матеріалів для виготовлення ГДП, ГДК і ГЖДП представлені в табл. 2.8. Закордонні торговельні марки полііміда – Kapton, Upilex, Novax, Apical, Espanex; лавсанових плівок – Melinex, Mylon, Luminor, Celanar.

Таблиця 2.8 – Матеріали ГДП, ГДК і ГЖДП

Матеріал	Марка	Товщина, мм
Лавсан фольгований	ЛФР	-
Лавсан фольгований	ЛФ-1 (фольга 35, 50 мкм)	0,05; 0,1
Поліімід фольгований	ПФ-1, ПФ-2 (фольга 35 мкм)	0,040
Поліімід нефольгований	ПИ-40 А	
Поліімід фольгований	ПФМ-1(2) (фольга 18, 35, 50, 105 мкм)	-
Лавсан фольгований	ФДЛ-1 (фольга 35, 50 мкм)	0,02; 0,05
Діелектрик фольгований тонкий	ФДЛ-100 (фольга 35, 100 мкм)	0,1
	ЭФЛ-1 (фольга 35, 50 мкм)	0,02; 0,05
	ЭФЛ-100 (фольга 35 мкм)	0,1
	ФДМ-1А, ФДМ-2А, ФДМ-1Б, ФДМ-2Б	0,1; 0,13; 0,16; 0,2
Фольгований діелектрик для мікроелектронної апаратури	ФДМЭ-1А (1Б), ФДМЭ-2А (2Б)	0,15; 0,20; 0,23; 0,30
Фольгований армований фторопласт	ФАФ-4Д	-
Склетекстоліт теплостійкий з алюмінієвим протектором	СТПА-5-1, СТПА-5-2	0,1; 0,12; 0,15; 0,2; 0,25
Склотканина з епоксидним просоченням	СТП-3	0,025; 0,1
Поліімід фольгований	Еліфом-ПФ-1, Еліфом-ПФ-2	-
Покривна плівка	Еліфом-ППП	-
Склеююча плівка	Еліфом-ППС	-
Склотканина прокладна	САФ	0,025...0,062
Лавсан фольгований	ЛФР	-

САФ – клеювальний матеріал із регульованою текучістю, який використовується під час виготовлення ГЖДП, має адгезію як до склетекстоліту, так і до поліімїду.

Провідниковий матеріал для виготовлення ГДП, ГДК і ГЖДП повинен мати:

- малий питомий електричний опір;
- значне відносне подовження ($\delta \geq 6 \%$);
- велику межу міцності під час розтягування та розриву ($\sigma \geq 20 \text{ кг/мм}^2$);
- стійкість до перегинів;
- якісну поверхню без раковин і включень тощо.

Важливу роль у механічній міцності та гнучкості ГДП, ГДК і ГЖДП має сорт міді. Найбільш широко застосовується мідна (катана й електролітична) фольга. Найвищу зносостійкість і формотворну здатність має катана та відпалена мідна фольга (висока вартість), яку застосовують в умовах роботи за постійного вигину (динамічний режим). Катана мідна фольга має більшу гнучкість, здатність до перегинів, тому що її відносне подовження ϵ у 5-6 разів більшим, ніж у електролітичної фольги. Перевагою катаної мідної фольги є також здатність до механічної обробки без розшарування, а до недоліків слід віднести наявність раковин, що виключає її застосування без додаткових гальванічних покриттів під час виготовлення провідників із шириною порядку 0,1 мм. Якщо гнучкість необхідна тільки під час складання ТЗА, то використовують тягнену за високої температури або електролітичну недорогу мідну фольгу. Електролітична мідна фольга застосовується у процесі виготовлення ГДК із високою щільністю рисунка провідників. Вона має більш високу роздільну здатність у процесі травління міді з пробільних місць у порівнянні з катаною. Крім мідної фольги в спецапаратурі використовують нікелеву, алюмінієву, ніхромну, залізонікелеву й іншу фольгу, покриту електрохімічно нанесеним олово-свинцем, золотом, нікелем та іншими металами, які мають високу міцність, стійкість до перегинів, порівнянню з катаною мідною фольгою, але мають більш високий питомий опір.

Захисні покриття – діелектричні покриття, які застосовують для захисту від зовнішніх впливів і забезпечення електричної ізоляції друкованих провідників на ГДК і гнучких ділянках ГЖДП.

Захисні покриття ГДК необхідні:

- для захисту від корозії;
- для виключення коротких замикань;

- для попередження ненавмисного контакту провідників ГДК із металевими деталями ТЗА;
- для підвищення міцності ГДК;
- для підвищення стійкості до перегинів.

Для захисту від зовнішніх впливів ГДП, ГДК і ГЖДП застосовують поліімідні плівки з одностороннім або двостороннім адгезійним покриттям і захисною плівкою. Ці матеріали марок ПА, АПТ і ПАМ мають гарну адгезію, теплостійкість, електроізоляційні властивості, еластичність, можливість використовувати під час травління адгезива лужні травителі, використовувані під час травління полііміда. Для захисту ГДК від зовнішніх впливів застосовується плівка з адгезійним шаром марки ПЭТ-А (наноситься шляхом валкового ламінування або пресуванням), а також покривна поліімідна плівка ППП. Бажано, щоб покривна плівка ГДК була виконана з того ж матеріалу, що і ГДК. Покривна плівка наноситься за температури 471 К і тиску $7 \cdot 10^5$ Па. Можливе нанесення на ГДК замість покривної плівки декількох шарів лаку або емалі (рідкі поліуретани, акрилати, акрил-епоксида).

Для забезпечення механічного захисту й електричної ізоляції друкованих провідників на гнучких ділянках ГЖДП застосовують поліімідну плівку або рідкий маскувальний шар, який наноситься методами трафаретного друку або поливу.

Адгезив – склею вальна композиція, необхідна для зчеплення поверхонь різнорідних матеріалів.

Адгезиви застосовують у багатошарових ГДП, ГДК для з'єднання металевої фольги з діелектричною плівкою. При цьому збільшуються механічна міцність і еластичність багатошарових структур, вирівнюються напруження зрізу на поверхнях розділу фаз, що виникають у результаті відмінності ТКЛР металу та діелектрика. Застосовують адгезиви на основі термостійких полімерів, таких як складний поліефір, поліімід, спеціально затверділі епоксидні смоли та ін. Під час використання полііміда як базового матеріалу роль адгезиву є визначальною й обмежуючою в термічних властивостях ГДП і ГЖДП.

Основними напрямками розробки нових гнучких діелектриків є:

- створення негорючих діелектриків відповідно до міжнародних стандартів;
- підвищення робочої температури до 300 °С;
- застосування алюмінієвої фольги;
- застосування фольги на основі резистивних сплавів – ніхромової та ін.;
- розробка гнучких фольгованих діелектриків, стійких до радіації, шляхом заміни мідної фольги на алюмінієву, тому що поглинання мідними провідниками наджорсткого рентгенівського випромінювання може призвести до їхнього нагрівання та навіть випаровування;
- розробка полііміда, фольгованого алюмінієм;
- розробка клеїв для з'єднання металів, шарів склотекстоліту та плівок для створення багатошарових конструкційних матеріалів для космічної апаратури, що складаються з декількох шарів, склеєних між собою у різних комбінаціях: плівка – алюмінієва фольга – плівка – мідна фольга.

2.8 Основні технологічні методи виготовлення ДП

Під виготовленням друкованих плат (ДП) зазвичай розуміють обробку заготовки, наприклад, фольгованого діелектричного матеріалу, якщо мова йде про субтрактивну технологію. Типовий процес обробки заготовки складається з декількох етапів:

- вирізання заготовки з листового базового матеріалу;
- свердління перехідних отворів;
- отримання рисунку провідників шляхом видалення надлишків мідної фольги (травлення);
- металізація отворів (за необхідності);
- нанесення захисних покриттів і лудіння;
- нанесення маркування.

Для отримання провідників під час виготовлення ДП використовуються хімічні, електролітичні або механічні методи відтворення необхідного струмопровідного рисунка, а також їх комбінації.

Захисний шар може бути нанесено у вигляді фоторезисту, а також трафаретним способом або методом офсетного друку у вигляді лаку або фарби.

Механічний спосіб виготовлення струмопровідних елементів ДП полягає у використанні фрезерно-гравірувальних верстатів або інших інструментів для механічного видалення шару фольги із заданих ділянок.

Технології виготовлення ДП розділяють на три групи: субтрактивна, адитивна, напівадитивна (рис. 2.10).

Субтрактивною (subtratio – віднімання) називають технологію одержання провідного рисунка шляхом виборчого видалення окремих ділянок із суцільного металевого шару, що покриває ізоляційну основу. Ця технологія, заснована на застосуванні готового фольгованого шаруватого пластику, на якому формується провідний рисунок шляхом видалення фольги з непровідних ділянок. До субтрактивної технології відноситься хімічний метод виготовлення ДП.

Хімічний спосіб виготовлення друкованих плат з готового фольгованого матеріалу складається з двох основних етапів: нанесення захисного шару на фольгу та травлення незахищених ділянок хімічними методами.

Після формування захисного рисунку незахищена фольга витравлюється в розчині хлорного заліза або (набагато рідше) інших хімікатів, наприклад мідного купоросу. Після травлення захисний рисунок з фольги змивається.

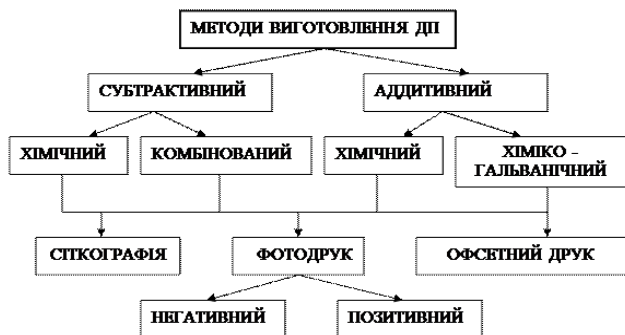


Рисунок 2.10 – Класифікація методів виготовлення ДП

Субтрактивні методи, розглянуті вище (рисунок ДП отримується травленням міді з пробілів), які застосовуються в даний час, мають обмеження по спроможності рисунку схеми, тобто за мінімально відтворюваною шириною провідників і відстаней між ними, розміри яких пов'язані з товщиною провідників:

- за товщини провідників 5...9 мкм можна отримати ширину провідників і зазорів порядку 50 мкм;
- за товщини провідників 20...35 мкм – 100...125 мкм;
- за товщини провідників 50 мкм – 150...200 мкм.

Переваги субтрактивної технології:

- можливість повної автоматизації;
- висока продуктивність;
- низька собівартість.

Недоліки субтрактивного методу:

- ймовірність виникнення великих підтравлювань через необхідність травління великої товщини фольги, що унеможливує виготовлення ДП високих класів точності;
- необхідність використання більш дорогих базових матеріалів;
- необхідність видалення дорогої міді;
- проблеми з регенерацією розчинів, утилізацією матеріалів.

Додаткова хіміко-гальванічна металізація монтажних отворів привела до створення **комбінованих методів** виготовлення ДП.

Адитивною (additio – додаток) технологією називають виборче осадження струмопровідного покриття на діелектричну основу, на яке попередньо може наноситися шар клейової композиції (рис. 2.11).

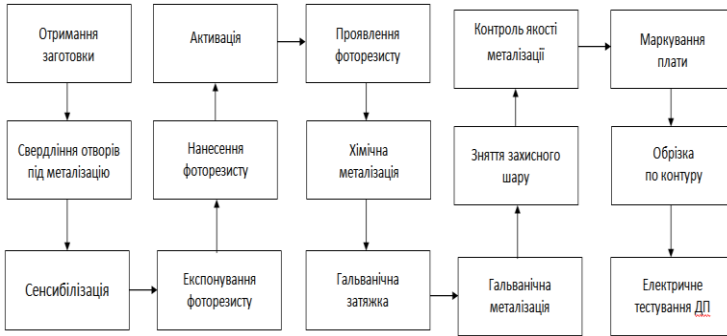


Рисунок 2.11 – Структурна схема ТП виготовлення ДП

У порівнянні із субтрактивними методами адитивні мають наступні переваги:

- однорідністю структури, тому що провідники і металізація отворів отримуються у єдиному хіміко-гальванічному процесі;
- усувають підтравлювання елементів друкованого монтажу;
- поліпшують рівномірність товщини металізованого шару в отворах;
- підвищують щільність друкованого монтажу (ширина провідників складає 0,13...0,15 мм);
- спрощують ТП через усунення ряду операцій;
- заощаджують мідь, хімікати для травлення і витрати на нейтралізацію стічних вод;

Таким чином, на відміну від субтрактивної технології адитивні процеси принципово дозволяють одержувати ДП по найвищих класах точності.

На відміну від субтрактивних методів, в адитивному методі застосовують нефольгований діелектрик, на який селективно осаджують мідь.

Осадження хімічної міді здійснювалося на поверхню, активовану паладієм або іншим активатором (олов'яно-паладієвим, полімерним або вуглецевим). Активатор виконував роль центрів для осадження міді, після чого за рахунок автокаталітичного процесу утворювалася рівномірна тонка мідна плівка. Ця плівка забезпечувала електропровідність всій

поверхні плати, що дозволяло надалі здійснювати електрохімічне (гальванічне) нарощування. Отримання досить товстих плівок тільки засобами хімічного процесу було вельми складним і в промислових масштабах не застосовувалося.

До **недоліків адитивного методу** відносяться:

- високий питомий електричний опір хімічної міді;
- наявність адгезійного шару на поверхні, що піддається старінню;
- тенденція хімічної міді до розтріскування під впливом сильних термічних ударів і ін.

Недоліки адитивної технології пов'язані перш за все з тим, що процес хімічного міднення – один з трудомістких і складних в технологічному циклі виробництва ДП (на його частку припадає 20-40 % браку). Це пояснюється цілою низкою причин:

- низькою стабільністю розчину хімічного міднення,
- труднощами одержання якісних шарів великої товщини,
- складністю управління самим процесом хімічного осадження,
- трудомісткою попередньої підготовки матеріалу основи плати,
- гіршою адгезією і погіршеними фізико-хімічними властивостями хімічно осадженої міді в порівнянні з гальванічною через відмінності їх структур, що пов'язано, з специфікою процесів осадження.

Більш сучасний процес, що носить назву **прямої металізації**, не вимагає хімічної металізації. При прямому методі на поверхню наноситься плівка активатора, яка вже володіє достатньою електропровідністю для гальванічної металізації. Цей підхід більш екологічний, дозволяє спростити устаткування і пропонує кращі співвідношення глибини отвору до діаметра, оскільки при його виконанні не утворюється водень, характерний для хімічного міднення.

Незважаючи на описані переваги, застосування адитивного методу в масовому виробництві ДП обмежено низькою продуктивністю процесу хімічної металізації, інтенсивним впливом електролітів на діелектрик,

трудомісткістю одержання металевих покриттів з гарною адгезією. Домінуючою в цих умовах є **напівадитивна технологія**, особливо з переходом на фольговані діелектрики з тонкомірною фольгою (5 і 18 мкм).

Напівадитивна технологія – це сумісні варіанти адитивної і субтрактивної технологій, тобто проводиться, як хімічне травлення, так і хімічне та гальванічне нарощування. Провідний шар наносять і на поверхню отворів, призначених для впаювання дротових і штирьових виводів ЕК, чого не може забезпечити субтрактивна технологія. Металізація отворів дає умови для міцного механічного і надійного електричного з'єднання.

До напівадитивної технології відносяться комбіновані методи виготовлення ДП.

Технологічний процес виготовлення ДП включає такі важливі етапи, як формування рисунка і механічна обробка ДП.

Основні операції напівадитивної технології є наступними:

- а) підготовка поверхні діелектрика;
- б) нанесення адгезива;
- в) виготовлення отворів;
- г) сенсibiliзація і активація;
- д) хімічне осадження міді;
- е) формування маскуючого шару;
- є) гальванічне нарощування міді;
- ж) видалення маски;
- з) вибіркоче травління міді;
- і) виготовлення технологічних отворів;
- к) формування маски для паяння.

Основні способи нанесення зображення друкованих провідників наступні:

– **фотографічний** – фотографування зображення провідників з фото позитива чи негатива на основу, що вкрита світлочутливою емульсією або плівкою;

– **офсетний** – нанесення позитивного чи негативного зображення провідників на основу захисною фарбою із застосуванням офсетної машини. Для нанесення рисунка використовується типографська машина, у якій на плату,

розміщену на столі машини, з кліше з офсетної резини на поверхню основи кислотостійкою фарбою наносять зображення схеми;

– **сіткографічний** – нанесення зображення провідників за допомогою захисної фарби через сітчастий трафарет. На основу плати накладається трафарет, через який ракелем вручну або механічним способом продавлюють пасту необхідної якості з отриманням при цьому рисунка схеми;

– **пресування** – створення за допомогою прес-форм позитивного рельєфного зображення провідників на платі у вигляді канавок;

– **штампування** – вирубка провідників з листа фольги, накладеного на ізоляційну основу, за допомогою спеціального штампа;

– **тиснення** – нанесення на основу кислотостійких плівок позитивного чи негативного зображення провідників за допомогою нагрітої матриці та фарбової фольги;

– **гравіювання** – створення за допомогою спеціального інструменту позитивного рельєфного зображення провідників у вигляді канавок.

Основою для роботи в усіх методах слугують позитивні чи негативні фотошаблони, що отримують шляхом фотокопіювання оригіналу ДП. Найчастіше використовують фотоплівки, за підвищених вимог до точності – фотопластини.

Фотошаблони під час фотодруку використовуються безпосередньо для створення захисного рельєфу, під час трафаретного друку – для виготовлення трафарету, під час офсетного – для кліше.

Захисний рельєф буває негативний і позитивний. **Негативний** захищає від витравлювання струмопровідні елементи ДП: друковані провідники, контактні площинки, шини «землі» та «живлення» та інші, **позитивний** наноситься на пробільні місця, тобто на ділянки ДП, на яких не має бути міді.

Створені до того струмопровідні елементи захищаються перед операцією травління міді з пробільних місць стійкими у травильних розчинах або **металорезистами**, або полімерним травильним резистом.

Вибір способу отримання захисного рельєфу визначається конструкцією ДП, класом точності ДП: шириною провідників і відстаней між ними, розміром контактних площадок, точністю отримання розмірів друкованих елементів; щільністю монтажу, а також ТП виготовлення (продуктивністю обладнання, економічністю процесу та ін.).

Запитання для самоперевірки

1. Назвіть основні конструктивні елементи ДП.
2. Перелічіть види отворів у ДП.
3. Опишіть пошарово структуру ДП. Назвіть основні матеріали основи (підкладки) ДП.
4. Поясніть різницю між базовими та технологічними матеріалами для ДП. За якими критеріями обирають ці матеріали?
5. На які типи класифікуються ДП? Опишіть їхні особливості.
6. Поясніть основні групи вимог до ДП.
7. Які методи використовують для виготовлення ДП? Назвіть їхні переваги та недоліки.
8. Що таке паяність, як її забезпечити?
9. Які існують методи створення захисного рисунку під час виготовлення ДП?
10. Перелічіть перспективні напрями застосування гнучких комутаційних структур і опишіть особливості матеріалів, застосовуваних для їх виготовлення.

З ФІЗИКО-ХІМІЧНІ Й ОРГАНІЗАЦІЙНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ СКЛАДАЛЬНО-МОНТАЖНИХ РОБІТ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Організаційні основи складання

Складання являє собою сукупність технологічних операцій механічного з'єднання деталей і ЕК в виріб або його частини, які виконані у визначеній послідовності для забезпечення заданого їхнього розташування і взаємодії. Вибір послідовності операцій складального процесу залежить від конструкції виробу й організації процесу складання. Складальні з'єднання бувають рухомими, якщо сполучені деталі можуть переміщатися у певних напрямках відносно один одного, чи нерухомими, якщо їхнє взаємне розташування зберігається незмінним. У свою чергу, вони розділяються на роз'ємні і нероз'ємні.

Монтажем називається ТП електричного з'єднання ЕК виробу відповідно до принципової електричної чи електромонтажної схеми. Монтаж проводиться за допомогою друкованих, провідових чи тканих плат, окремих провідників, джгутів і кабелів. Основу монтажно-складальних робіт складають процеси формування електричних і механічних з'єднань.

Відповідно до послідовності технологічних операцій процес складання (монтажу) поділяється на складання (монтаж) окремих складальних одиниць (плат, блоків, панелей, рам, стійок) і загальне складання (монтаж) виробу. Організаційно він може бути стаціонарним або рухомим з концентрацією або диференціацією операцій. Стаціонарним називається складання, при якому об'єкт, що збирається, є нерухожим, а до нього у певні проміжки часу подаються необхідні складальні елементи. Рухоме складання характеризується тим, що складальна одиниця переміщається по конвеєру уздовж робочих місць, за кожним з яких закріплено певну частину роботи. Переміщення об'єкта складання може бути вільним у міру виконання

закріпленої операції або примусовим відповідно до ритму процесу.

Складання за принципом концентрації операцій полягає в тому, що на одному робочому місці здійснюється весь комплекс робіт з виготовлення виробів або його частини. При цьому підвищується точність складання, спрощується процес нормування. Однак, велика тривалість циклу складання, трудомісткість механізації складних складально-монтажних операцій визначають застосування такої форми в основному в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва.

Диференційоване складання припускає розчленовування складально-монтажних робіт на ряд послідовних простих операцій. Це дозволяє легше механізувати й автоматизувати роботи, використовувати робітників низької кваліфікації. Складання за принципом диференціації операцій ефективно в умовах серійного і масового виробництва. Однак надмірне дроблення операцій приводить до зростання втрат допоміжного часу на транспортування, збільшення виробничих площ, підвищення стомлюваності робітників при виконанні нескладних одноманітних дій. Тому в кожному конкретному випадку повинна бути визначена техніко-економічна доцільність ступеня диференціації складальних і монтажних робіт.

До монтажно-складальних процесів пред'являються вимоги високої продуктивності, точності і надійності. На підвищення продуктивності праці істотний вплив здійснюють не тільки ступінь деталізації процесу і спеціалізації робочих місць, рівень механізації й автоматизації, але також і організаційні принципи, такі як паралельність, прямоочність, пропорційність і ритмічність.

Механічне складання є невід'ємною частиною процесу виробництва ТЗА та являє собою сукупність технологічних операцій механічного з'єднання деталей і вузлів у заданій послідовності для отримання готового виробу.

Загальними вимогами механічного складання є:

а) висока технологічність деталей, що беруть участь у складанні вузла та виробу в цілому;

- б) з'єднання деталей у механічний вузол у точній відповідності з кресленням;
- в) технологічність механічного вузла;
- г) відповідність вимогам ремонтпридатності;
- д) можливість механізації й автоматизації процесу складання;
- е) забезпечення високої механічної міцності і надійності з'єднань;
- ж) економічність процесу складання.

Послідовність, зміст і складність процесу складання істотно залежить від технічних характеристик об'єкта складання.

До технічних характеристик об'єктів складання можна віднести конструктивно-технологічні ознаки і параметри вузла та його окремих елементів. Структура і характеристики вузла, що збирається, взаємозв'язок між його елементами визначаються видом поверхні спряження, характером посадки спряження, видом з'єднання та типом закріплення деталей, видом розташування елементів, кількістю деталей у вузлі.

Послідовність виконання складальних робіт визначається в основному конструкцією виробу і залежить від організації, обсягу і характеру виробництва. Основою для складання вузла, блоку чи виробу служить базова деталь – плата, рама каркас, шасі.

Складальні роботи в залежності від конструкції ТЗА іноді складають 35-70 % від загальної трудомісткості їхнього виготовлення. Така висока трудомісткість складальних робіт пояснюється низкою особливостей, характерних для ТЗА. Основними з них є:

- а) складність і значна номенклатура елементів конструкції сучасних ТЗА, наявність довгих розмірних ланцюгів і великої кількості міжвузлових зв'язків;

- б) наявність у складальних процесах операцій, що забезпечують фізичні параметри виробів (пружність, магнітна проникність, електричний опір, індуктивність і т. ін.), і складність їхнього виконання;

- в) порівняно низький рівень механізації й автоматизації процесів складання.

Відповідно до розподілу виробів на групи, підгрупи і вузли розрізняють складання загальне і вузлове.

Загальним складанням називається частина технологічного процесу складання, протягом якої відбувається установка і фіксація деталей груп, підгруп і вузлів у готовий виріб.

Вузловим складанням називається частина технологічного процесу складання з метою утворення груп, підгруп і вузлів, які входять у даний виріб, відповідно до запропонованих до них вимог.

При складанні ТЗА не тільки здійснюється просте з'єднання деталей, але і виконуються певні зв'язки таким чином, щоб виріб чи його елемент відповідали технічним умовам.

Деталі, складальні вузли і вироби, призначені для складання, повинні задовольняти по можливості наступним вимогам:

а) деталі, що входять у складальні вузли і виріб, повинні бути технологічними і мати просту конфігурацію;

б) поверхня сполучення деталей, що з'єднуються, і складальних вузлів повинна служити установлювальною базою, тому що в цьому випадку похибка взаємного розташування деталей, які збираються, буде найменшою;

в) конструкція виробу повинна мати найменшу кількість кріпильних деталей;

г) конструкція виробу повинна складатися з мінімальної кількості деталей і вузлів;

д) складні вироби, які складаються з великої кількості вузлів, повинні будуватися за функціонально-блоковим принципом;

е) поверхні деталей, які поєднуються, і складальних вузлів повинні відповідати вимогам з шорсткості, щоб не було заїдання деталей при їхньому переміщенні в процесі експлуатації;

ж) конструкція виробу, що збирається, повинна мати максимум уніфікованих деталей і вузлів.

Технологічний процес складання ТЗА пов'язаний з виконанням значної кількості різного роду з'єднань.

Усі можливі види з'єднань можуть бути умовно поділені на дві групи (рис. 3.1): рухомі та нерухомі.

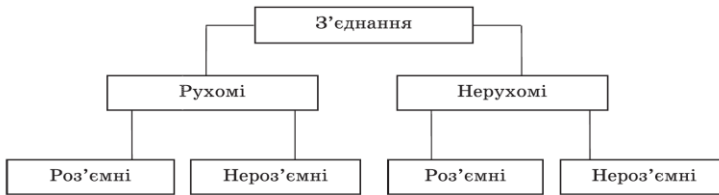


Рисунок 3.1 – Класифікація з'єднань

Рухомі з'єднання забезпечують переміщення одного елемента конструкції стосовно іншого в заданих межах. Нерухомі з'єднання забезпечують сталість взаємного розташування елементів конструкції, що з'єднуються. Ці дві групи з'єднань, у свою чергу розділяються на роз'ємні (розбірні) і нероз'ємні (нерозбірні).

Нероз'ємні з'єднання не розраховані на розбирання частин конструкції і не можуть бути розібрані без руйнування хоча б однієї з деталей, що з'єднуються. Роз'ємні з'єднання можуть бути розібрані без руйнування з'єднаних деталей.

Таким чином, усі з'єднання, застосовувані в складанні, можна розділити на наступні групи: нерухомі нероз'ємні; нерухомі роз'ємні; рухомі роз'ємні; рухомі нероз'ємні.

Нерухомі роз'ємні з'єднання виконують гвинтами, болтами, шпильками, штифтами, шплінтами і пресовими посадками.

Нерухомі нероз'ємні з'єднання виконують зварюванням, паянням, клепокою, посадками в натяг, склеюванням, заливанням металом, спресовуванням.

Наявне розходження в співвідношенні видів з'єднань пояснюється їх технологічністю. Роз'ємні з'єднання представляються більш технологічними як з погляду виготовлення, так і експлуатації.

Рухомі роз'ємні і нероз'ємні з'єднання забезпечують посадками по циліндричних, конічних, сферичних, гвинтових і плоских повернях та ін.

Вимоги, пропоновані до складальних з'єднань, в основному визначаються їхнім функціональним призначенням і умовами експлуатації.

Виходячи з тенденції всілякого підвищення рівня автоматизації складальних процесів, все більше застосування отримують такі види складання, як: з'єднання методами пластичного деформування, заформування, склеювання, зварювання.

У конструкціях виробів часто використовуються з'єднання, що повинні сполучатися з доброю електричною ізоляцією однієї частини конструкції, що з'єднується, з іншою.

Як б не було основне призначення з'єднання, воно повинно забезпечувати вимогам протягом усього терміну його роботи, протистояти впливам, що можуть спричинити за собою порушення покладених на нього функцій.

Порівняно великі механічні сили, що діють на з'єднання, як правило, змінюють його стан. Гвинтові і клепані з'єднання розбобтуються, і окремі частини конструкції з нерухомих стають рухомими, що, природно, є неприпустимим. На міцність і постійність таких з'єднань дуже впливають удари, особливо спрямовані перпендикулярно осям гвинтів або заклепок. Особливо небезпечні для з'єднання вібрації.

Небезпечною для з'єднань також є електрокорозія.

У висновку можна в загальному вигляді сформулювати наступні основні положення, що повинні враховуватися при конструюванні з'єднань:

а) з'єднання повинне в максимальному ступені задовольняти своєму призначенню в умовах, для яких воно призначено;

б) від з'єднання не можна очікувати, щоб воно однаковою мірою задовольняло всім можливим вимогам і умовам його використання (тобто його універсальності), тому що це істотно ускладнює конструкцію;

в) якість з'єднання визначається не тільки конструкцією, але і в однаковій мірі технологією його виготовлення;

г) місця з'єднань, як правило, у більшій мірі піддаються впливу зовнішніх факторів, ніж частини конструкції, які

з'єднуються. Це викликає необхідність захисту з'єднань від зовнішніх впливів.

3.2 Варіанти та технологія установки навісних елементів на друковані плати

Установка навісних елементів на друковані плати складається з подачі їх у зону установки, орієнтації виводів відносно монтажних отворів чи контактних площадок і фіксації ЕК і ІС у необхідному положенні. У залежності від обсягу і конструктивних особливостей виготовлених функціональних вузлів на друкованих платах установку роблять вручну, механізованим чи автоматизованим способом.

Варіант і схема установки елементів на ДП деякою мірою визначаються їх конструктивними особливостями, видом носія і способом подачі на складання.

Конструктивне виконання ЕК і ІС може бути різними, зокрема: з нормальними виводами, мінівиводами та безвивідні (у чіповому виконанні), що впливає на спосіб і технологію установки і монтажу.

Застосування двох груп компонентів (ЕК, ІС): таких, що монтується в отвори плати (КМО) і таких, що монтується на поверхню плати (КМП), а також одно- чи двостороння установка їх на платі дає шість основних конструктивних виконань функціональних вузлів, які реалізуються за допомогою різних технологій.

Якщо в конструкції виробу використовують тільки КПМ (виконання 1 і 2, табл. 3.1), то виріб виготовляють методами технології монтажу на поверхню (ТМП).

При використанні тільки компонентів, що монтується в отвори плати, (виконання б) виріб виготовляють за традиційною технологією – монтаж в отвори плати (ТМО).

В інших випадках (конструктивне виконання 3-б) застосовують комбіновану технологію, тобто спільно ТМП і ТМО.

Основні види технологічних процесів установки і монтажу компонентів з урахуванням конструктивного виконання приведені в табл. 3.1.

Конструктивне виконання 1. У заданій конструкції застосовують тільки компоненти, що монтуються на поверхню; їх встановлюють з однієї сторони друкованої плати (КМП₁). Для виконання 1 характерна висока щільність компоновки. Паяння компонентів в основному проводять у паровій фазі (ПФ), інфрачервоним випромінюванням (ГЧ), на плоских нагрівачах (ПН). При цьому використовують паяльну пасту.

Технологічний процес складається з наступних операцій (рис. 3.2):

а) нанесення паяльної пасти через трафарети на контактні площадки ДП;

б) установка компонентів на контактні площадки ДП;

в) оплавлення паяльної пасти;

г) промивання друкованої плати в зборі;

д) контроль паяних з'єднань;

е) ремонт (при необхідності).

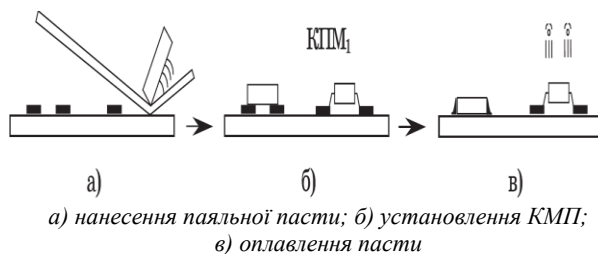





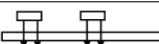


Рисунок 3.2 – Схема технологічного процесу монтажу ТМП ДП виконання 1

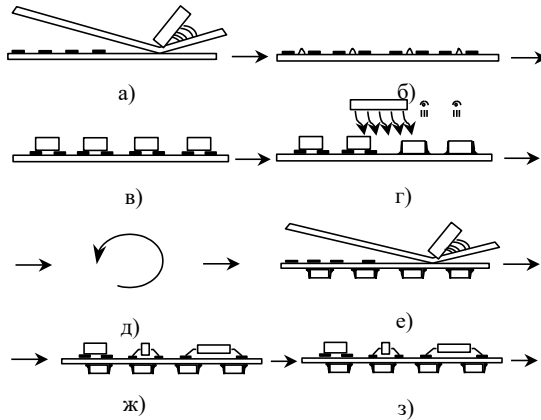
Таблиця 3.1 – Конструктивні варіанти та типи технологічних процесів виготовлення ДП за ТПМ

Технологія	Конструктивне виконання		Тип технологічного процесу	Тип елементів			Методи паяння	Примітка
	Позначення	Схема		КМП ₁	КМП ₂	КМО ₁		
ТПМ	1		Тип I (A)	+	-	-	ГЧ, ПФ, ПН	Односторонній монтаж Двосторонній монтаж
	2			+	+	-	ГЧ, ПФ	
ТПМ + ТМО	3		-	+	-	+	ГЧ, ПФ, ПН+ВП	-
	4		Тип II (B)	-	+	+	ВП	КМП ₂ -пасивні
	5		Тип III (C)	-	+	+	ГЧ, ПФ+ВП	КМП ₁ -активні та пасивні; КМП ₂ -пасивні
ТМО	6		-	-	-	+	ХП	-

Цей метод знаходить широке застосування в практиці поверхневого монтажу.

Складання і монтаж функціонального вузла даного виконання проводять методом ТПМ за наступною схемою (рис. 3.3):

- а) на контактні площадки ДП наносять пасту припою;
- б) у місцях установки елементів наносять розрахункову дозу клею;
- в) проводять установку елементів (КМП₁);
- г) здійснюють полімеризацію клею УФ чи ГЧ-випромінюванням;
- д) виконують оплавлення паяльної пасти;
- е) плату перевертають на 180° і наносять пасту припою;
- ж) установлюють компоненти (КМП₂);
- з) проводять оплавлення пасти припою;
- и) проводять промивання зборки і її контроль.



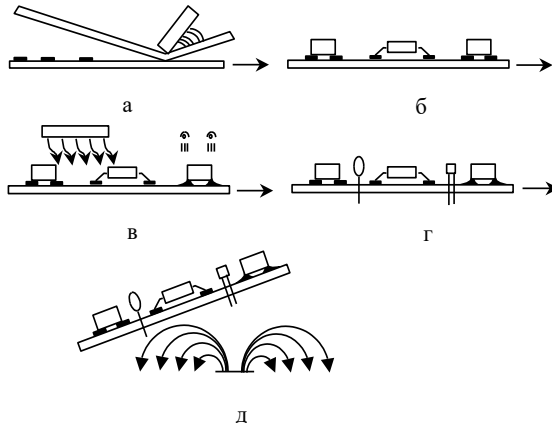
*а – нанесення пасти; б – нанесення клею; в – установка КМП₁;
 г – полімеризація клею й оплавлення пасти; д – переверот плати;
 е – нанесення пасти; ж – установка КМП₂; з – сушіння й оплавлення пасти*

Рисунок 3.3 – Схема технологічного процесу монтажу ТМП ДП виконання 2

При такій послідовності операцій використовують установки, у яких паяння здійснюється ІЧ-випромінюванням з одностороннім нагріванням. При паянні в паровій фазі і ІЧ-випромінюванням на установках з нижнім і верхнім розташуванням випромінювачів, операцію оплавлення пасти після установки КМП₁ не проводять. Нанесення клею і приклеювання після установки КМП₁ необхідно для запобігання їхнього відділення від плати при оплавленні пасти.

У конструктивному виконанні 3 (див. табл. 3.1) застосовують компоненти обох типів – КМП і КМО в отвори на верхній стороні плати. Щільність компоновки нижче, ніж у випадку конструктивного виконання 2.

Складання ДП проводять за комбінованою технологією, що включає наступні операції (рис. 3.4):



*а – нанесення пасти; б – установка КМП₁; в – сушіння й оплавлення пасти;
г – установка КМО₁; д – паяння КМО₁ подвійною хвилею припою*

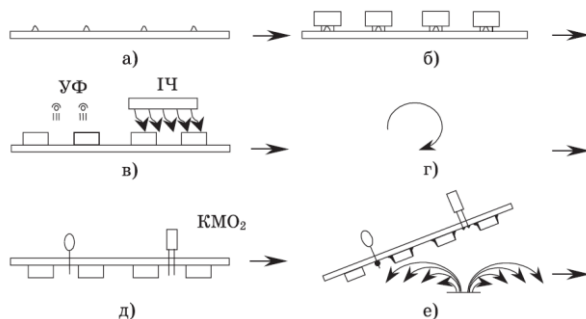
Рисунок 3.4 – Схема технологічного процесу монтажу ТМП ДП виконання 3

- а) нанесення на поверхню плати пасти припою;
- б) установка КМП₁;
- в) оплавлення пасти припою;
- г) установка в отвори КМО₁;
- д) паяння хвилею припою;
- е) промивання зборки і її контроль.

Конструктивне виконання 4 включає КМП на нижній стороні плати, КМО – на верхній стороні (див. табл. 3.1). Це конструктивне виконання можливо здійснити, використовуючи тільки один спосіб паяння – хвилею припою.

Складання і монтаж ДП проводять у наступній послідовності (рис. 3.5):

- а) на поверхню плати наносять дозатором клей;
- б) установлюють КМП₁;
- в) клей полімеризують УФ і (чи) ІЧ-випромінюванням;
- г) плату перевертають (поворот на 180°);
- д) установлюють КМО₂;
- е) проводять одночасне паяння КМП₁ і КМО₂ хвилею припою;
- ж) промивають зборку і проводять контроль.



*а – нанесення клею; б – установка КПМ₁; в – полімеризація клею;
 г – переверт плати; д – установка КМО₂;
 е – паяння КПМ₁ і КМО₂ подвійною хвилею припою*

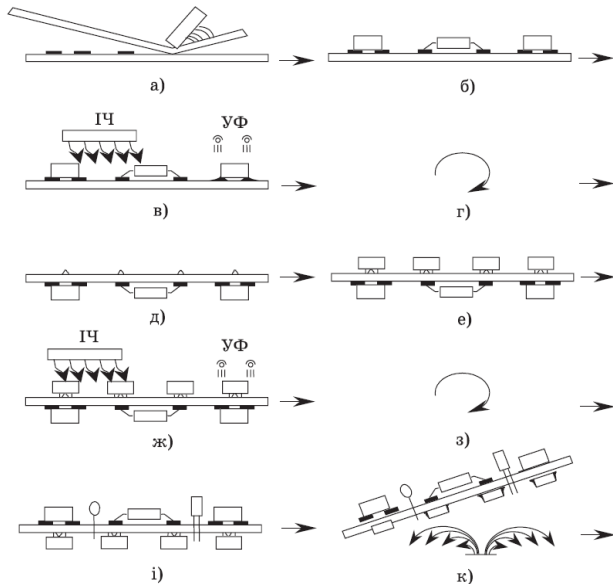
Рисунок 3.5 – Схема технологічного процесу монтажу ТМП ДП виконання 4

Конструктивне виконання 5 (КМП на нижній і верхній стороні) дозволяє використовувати всі типи компонентів, тобто перевагою даного конструктивного виконання є відсутність якогось обмеження на вибір компонентів. При цьому виконанні щільність компоновки на рівні виконання 4 і 3, але нижче, ніж при виконанні 2.

Технологічний процес складання і монтажу вузлів цього виконання складається з наступних операцій:

- а) на друковану плату дозатором наносять клей;
- б) установлюють КМП₁;
- в) полімеризують клей за допомогою УФ і (чи) ІЧ-випромінювання;
- г) друковану плату перевертають (поворот на 180°);
- д) наносять за допомогою трафарету пасту припою;
- е) установлюють КМП₂;
- ж) роблять оплавлення пасту припою в ПФ чи ІЧ-випромінюванням;
- з) установлюють КМО₂;
- и) роблять спільне паяння КМП₁ і КМО₂ хвилею припою;
- к) збірку промивають і контролюють.

Можливий інший варіант ТП за виконанням 5 (рис. 3.6) з наступними операціями:



*а – нанесення пасти; б – установка КПМ₁; в – сушіння й оплавлення пасти;
 г – переворот плати; д – нанесення клею; е – установка КМП₂;
 ж – полімеризація клею; з – переворот плати; і – установка КМО;
 к – паяння КПМ₂ і КМО₁ подвійною хвилею припою*

Рисунок 3.6 – Схема технологічного процесу монтажу ТМП ДП виконання 5

- а) нанесення паяльної пасти;
- б) установка КПМ₁;
- в) оплавлення паяльної пасти будь-яким методом (ГЧ, ПФ, ПН);
- г) кантування (переворот на 180°) плати;
- д) нанесення клею за допомогою дозатора;
- е) установка КМП₂;
- ж) полімеризація клею;
- з) кантування повторно (переворот на 180°) плати;
- и) установка в отвори КМО₂;

к) спільне паяння КМП₂ і КМО₂ хвилею припою;
л) паяння КМП₂ за допомогою гарячих повітряних ножів;

м) промивання і контроль зборки.

Переваги цього способу – зниження часу складання і вартості устаткування за рахунок паяння всіх компонентів за один прохід на одному устаткуванні.

Конструктивне виконання 6. Для цього виконання характерна установка компонентів тільки в отвори на верхній стороні плати (КМО). Складання здійснюється за класичною технологією монтажу в отвори (ТМО). Цей процес найбільш автоматизований і продуктивний.

Таким чином, аналіз розглянутих вище конструктивних виконань ДП і їх технології показує, що кожне виконання має свої переваги і недоліки. Вибір тієї чи іншої конструкції визначається сукупністю вимог до ДП.

У закордонній практиці прийнята інша класифікація ТП складання ДП, в основі якої лежить не конструктивне виконання ДП, а технологічний спосіб її виготовлення. Усі ТП розділені на три групи (див. табл. 3.1): тип І(А), ІІ(В), ІІІ(С). Технологічний процес типу І використовують для виготовлення вузлів виконання 1 і 2, типу ІІ – для виконання 4, типу ІІІ – для виконання 5.

Мікрозбірки, які виготовляються за технологією поверхневого монтажу, відрізняються від традиційних своїми визначеними особливостями, зокрема:

а) корпуси компонентів для ПМ не закріплюються на поверхні плати за допомогою виводів, і тому мають потребу в механічному кріпленні на платі за допомогою епоксидних клеїв чи паяльної пасти. Після розміщення компонентів на платі здійснюється затвердіння епоксидної смоли безпосередньо перед паянням;

б) паяння хвилею припою застосовне тільки до простих корпусів компонентів, установлюваних на зворотній стороні плати, і до теплостійких елементів. Компоненти на лицьовій стороні плати повинні припаюватися із застосуванням одного з методів оплавлення дозованого припою (ПФ, ІЧ-випромінюванням, ПН чи лазерним нагріванням);

в) при змішаних методах монтажу (виконання 2, 4 і 5) виробнича лінія повинна включати маніпулятори для перевертання плат і, як мінімум, дві установки паяння;

г) до проведення паяння вироби з компонентами повинні переміщатися від операції до операції з використанням прецизійних автоматизованих транспортних засобів зі спеціальними нагромаджувачами, які забезпечують цілісність компонентів і збереження їхніх позицій на платі з високою точністю.

Установка КПМ на платі, як процес, має свої специфічні особливості, обумовлені: малими габаритами компонентів і контактних площадок; кроком виводів; підвищеною точністю взаємного розташування компонентів і контактних площадок і т. ін.

У зв'язку з різноманіттям форм, розмірів, місць контактування і відсутністю стандартів на більшість параметрів, викликають великі труднощі такі операції, як захоплення компонента робочим органом, орієнтація компонента в тривимірному просторі і за полярністю, точність позиціонування та ін. Вручну такі операції виконувати вкрай складно, а часто і неможливо. Тому однією з центральних проблем є максимальна автоматизація всіх складових процесу складання і монтажу.

Установка КПМ на ДП є однією з основних і складних операцій у технології ПМ, для реалізації якої в основному використовують спеціальні складальні автомати.

У практиці виробництва виробів за технологією ПМ мають місце наступні способи складання: ручне, напівавтоматичне (автоматизоване) і автоматичне складання.

Ручне складання знаходить застосування в обмежених випадках, а саме, у випадку ремонту виробів, у випадку одиничного (дослідного) виготовлення виробу.

Напівавтоматичне складання знаходить більш широке застосування. Як варіант – установлення плати в робочу зону устаткування здійснюється вручну, а установлення КПМ і монтаж – автоматично, зняття виробу з устаткування – вручну.

Автоматичне складання є найбільш прогресивним і поширеним. При цьому виді складання всі елементи

технологічного процесу автоматизовані. Забезпечується висока точність і продуктивність процесу.

Способи і технологія подання компонентів на складання. Важливу роль у процесі складання ДП на автоматизованому устаткуванні відіграє спосіб подання компонентів у зону складання, тому що від цього залежить конструкція автомата, точність установки, продуктивність процесу. Існує кілька способів подання компонентів у робочу зону:

а) подання компонента «збоку» за допомогою маніпуляторів, захоплюючих пристроїв різного виконання (механічних, вакуумних, магнітних та ін.). Компонент при цьому знаходиться в орієнтованому положенні на спеціальному столі, у спеціальній тарі;

б) подання компонента «зверху» – при цьому компонент попадає в укладальну голівку з магазину або бункера по спеціальному пристрою;

в) подання компонента «знизу» – компонент захоплюється маніпулятором-штовхальником і через спеціальний отвір у пристосуванні столу подається нагору до плати і приклеюється з наступним монтажем;

г) комбіноване подання, основане на об'єднанні декількох способів подання компонентів у зону складання. Наприклад, при двобічному розташуванні КПМ на платі, можливе одночасне подання компонентів «збоку» і «знизу» чи «зверху» і «знизу».

Крім цього, розрізняють системи подання компонентів у робочу зону з урахуванням виду руху механізмів складання:

а) плата «нерухома», компонент переміщається за допомогою спеціального пристрою і знаходить плату, потім орієнтується в просторі і встановлюється на місце. Устаткування оснащено системою технічного зору (СТЗ);

б) плата переміщається за координатами X, Y, Z , КПМ нерухомий. При цьому нерухомість компонента є «відносною»;

в) плата і компонент знаходяться в русі. За час їхнього переміщення (руху) і відбувається їхня взаємна орієнтація і складання.

Знаходять застосування й інші схеми подання компонентів, зокрема:

а) компонент переноситься з постачальника на місце установки за допомогою поворотної баштової голівки;

б) монтажна голівка сама виконує орієнтацію транспортування компонента з постачальника. Вона захоплює компонент безпосередньо з постачальника і розміщує його на платі;

в) постачальники встановлюються на каретку, керовану від ЕОМ, що у потрібний момент подає на складання необхідний компонент.

Від методу подання компонентів залежить конструкція постачальних пристроїв. Застосування поворотних баштових голівок і рухомих кареток деякою мірою обмежене конструкцією і типорозмірами корпусів компонентів, які поставляються на стрічках-носіях. Саме стрічки-носії дозволяють здійснювати високошвидкісне складання. Автомати, розраховані на спільну роботу з такими системами постачання, як стрічки-носії, магазини-шини і коміркові магазини, здійснюють захоплення кожного компонента окремо і тому мають більш низьку продуктивність, але зате вони мають велику гнучкість стосовно до різних типів конструкцій компонентів.

При проектуванні ТП поверхневого монтажу і виборі складально-монтажного устаткування важливо враховувати форму постачання компонентів (паперова стрічка, блістер-стрічка, магазин-шина, комірковий магазин чи розсипом).

Для простих (прямокутні і циліндричні чипи, SOT) і збірних (SOIC і кристалоносії, безвивідні і з виводами) корпусів у технології ПМ застосовують постачальники різної конструкції, але на практиці найбільше поширення одержали стрічки-носії компонентів.

До числа дуже важливих задач відноситься вибір форми та способу упакування компонентів. Компоненти повинні поставлятися в такій формі упакування, яка забезпечує

ефективне складання. Форма упакування повинна бути сумісною з наявним складально-монтажним устаткуванням. Виробники автоматів-укладальників компонентів у даний час упроваджують стандарт на форму упакування у виді гнучкої стрічки, розрахованої на всі типи корпусів, за винятком корпусів з виводами у формі крила чайки, які поставляються в магазинах типу ІС-шина.

Постачання розсипом не відповідає вимогам автоматичного монтажу, за винятком чипів, які не потребує контролю полярності. Постачання безвивідних корпусів розсипом знаходить більш широке застосування. Корпуса з виводами, які упаковані в коміркові магазини застосовується рідше.

Звичайно застосовуються два типи стрічки: паперова і пластмасова. У паперовій стрічці вирубуються отвори, в яких фіксується компоненти. По обидва боки паперової стрічки на компоненти накладається прозора гнучка майларова стрічка. Стрічка наділена перфорованими отворами для подачі компонента в автомат. Недоліком таких стрічок є низька зносостійкість. На відміну від паперової, пластмасова стрічка має випресовані подушкообразні порожнини, у яких фіксуються компоненти. Додаткову фіксацію здійснює покривна стрічка з майлара.

Розміри котушок для стрічок установлені міжнародним стандартом: їх діаметр коливається від 180 до 325 мм у залежності від ширини стрічок, яка змінюється в діапазоні від 8 до 57 мм.

З аналізу носіїв компонентів і конструкції автоматів-укладальників випливає, що найбільш широке застосування отримали пластмасові стрічки-носії шириною 8 і 12 мм. Майже усі високопродуктивні автомати-укладальники працюють з носіями стрічками-нагромаджувачами шириною 8 мм, що виправдано економічно.





































При автоматизованій установці ЕК на платі, зокрема, корпусних мікросхем, необхідно виконувати ряд вимог, а саме:

а) мікросхеми розташовуються на друкованій платі рядами або в шаховому порядку (табл. 3.2), при цьому виводи мікросхем повинні збігатися з вузлами координатної сітки;

б) крок установки мікросхем на ДП зі штирьовими виводами повинен бути вибраний з прийнятого ряду, рівним 0,625; 1,25; 2,5 мм. Спосіб установки і кріплення ІС повинен забезпечувати доступ до будь-якої мікросхеми та можливість при необхідності її заміни, а перший вивід мікросхеми повинен сполучатися з ключем, нанесеним на плату;

в) мікросхеми з планарними виводами розташовуються відповідно до координатної сітки ДП з урахуванням симетричного розташування виводів і їх кроку відносно контактних площадок.

Таблиця 3.2 – Приклад варіантів установки ІС

Метод установки	Схема варіанту установки					
	перша			друга		
Рядовий						
						
						
Шаховий						
						
						

Відомі два основних методи з'єднання виводів корпусних мікросхем і навісних елементів із друкованою платою:

- а) упаювання виводів у металізовані отвори плати;
- б) припаювання (приварювання) виводів до металізованих площадок ДП.

Вибір методу визначається конструкцією виводів корпусу мікросхем.

Перший метод установки застосовується для корпусних ІС зі штиревыми виводами, при цьому мікросхеми можуть розташовуватися тільки з одного боку ДП (рис. 3.7).

Корпусні ІС із планарними виводами можуть розташовуватися як з одного боку плати, так і з обох боків (рис. 3.8).

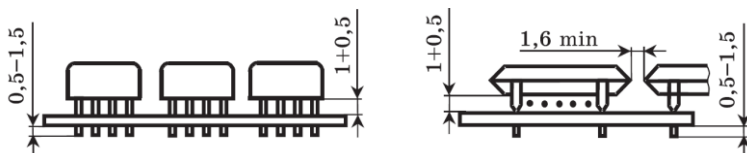


Рисунок 3.7 – Варіанти установки ІС зі штирьовими виводами

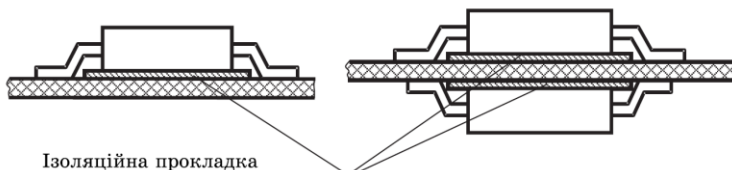


Рисунок 3.8 – Варіант установки ІС із планарними виводами

Навісні елементи можуть бути встановлені на ДП одним із трьох способів:

- а) впритул або на ізоляційну прокладку;
- б) над платою;
- в) над платою з фігурним гнуттям (рис. 3.9).

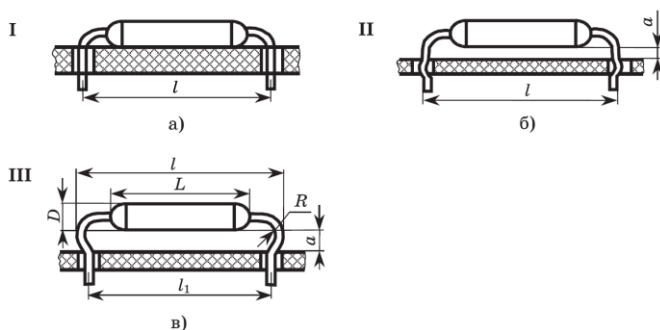


Рисунок 3.9 – Варіанти установки ЕК на ДП

При установленні навісних ЕК на ДП використовується один із трьох варіантів:

а) при відсутності друкованих провідників під елементами з неізольованим корпусом або для елементів з корпусом, який має ізоляційне покриття, застосовують варіант I (рис. 3.9, а). Під неізольованим корпусом елемента допускається наявність контактних площадок або металізованих отворів, незадіяних у схемах;

б) варіант II застосовується при розташуванні провідників під корпусом ЕК (рис. 3.9, б);

в) варіант III використовується при установленні елементів у місця, призначені для ІС (рис. 3.9, в).

3.3 Схеми позиціонування компонентів при автоматичному складанні та монтажі

У технології автоматичного складання і монтажу компонентів на друкованих платах розрізняють чотири схеми позиціонування. Вибір тієї чи іншої схеми здійснюється з урахуванням конструктивних особливостей компонентів, обсягу випуску і габаритних розмірів функціональних вузлів на друкованих платах, особливостей технологічного устаткування.

Поточно-послідовне позиціонування. Плата рухається по конвеєру уздовж декількох модулів позиціонування. Кожен модуль здійснює розміщення одного типу корпусів.

Послідовне одиничне або групове позиціонування. Одна чи дві керовані від ЕОМ монтажні голівки вибирають компоненти з постачальників і встановлюють їх на платі. У деяких автоматах рухома голівка переміщається в двох напрямках (X і Y), у той час як в інших автоматах під нерухому голівку підводиться рухомий стіл для позиціонування компонентів. Ця схема позиціонування використовується найбільше часто.

Послідовно-паралельне чи синхронно-послідовне позиціонування. У цьому випадку автомати мають координатний столик і послідовно розташовані монтажні багатозахватні голівки. Монтажні голівки розташовані на центральній

баштовій (поворотній) голівці. Кожна монтажна голівка захоплює необхідний компонент із постачальника і розміщає його на платі.

Масове чи поточно-паралельне позиціонування. За цією схемою багатозахватні голівки за один прийом установлюють на плату великий набір компонентів. За одну операцію ними заповнюється частина або вся плата.

У відповідності з зазначеними схемами позиціонування працює ряд автоматичного устаткування, створеного закордонними і вітчизняними розробниками та виробниками.

Схема масового позиціонування найбільше застосовна до великих обсягів продукції, яка випускається, з низьким ступенем змішаності компонентів для різних типів монтажу. Автомати-укладальники компонентів на плату, які використовують схему послідовного групового позиціонування, можуть забезпечити високий рівень гнучкості виробництва, але з більш низькою швидкістю позиціонування. Вони застосовуються у випадку низького чи середнього обсягу виробництва виробів з високим ступенем змішаності монтажу. Послідовно-паралельні автомати найкраще пристосовані для середніх і високих обсягів робіт при низькому ступені змішаності монтажу.

У деяких автоматах передбачено можливість зміни монтажних голівок і захватів, що збільшує гнучкість виробничих ліній, хоча і знижує продуктивність.

Схеми позиціонування тісно пов'язані з точністю позиціонування (установлення) елементів на платі. Точність позиціонування залежить від цілого ряду факторів (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Порівняння технологічних похибок на різних етапах ТП

Джерела похибки	Величина похибки					
	При монтажі КІМ в отвори плати		У ТІМ компонентів без застосування машинного зору		У ТІМ компонентів з використанням машинного зору	
	лінійне зміщення, мм	кутове зміщення, град	лінійне зміщення, мм	кутове зміщення, град	лінійне зміщення, мм	кутове зміщення, град
Машина (укладальник)						
Відтворення	0,0254	—	0,0254	—	0,0254	—
Точність встановлення в позицію	0,127	—	0,127	—	—	—
Похибка оснащення	0,0508	0,1-0,5	0,0508	0,1-0,5	—	—
Похибка інструмента	0,0254	1,0	0,0254	1,0	—	—
Комутаційна плата						
Зміна механічних властивостей	0,0508	0,1-0,5	0,0508	0,1-0,55	—	—
Фотошаблон	—	—	0,0254	—	0,0254	—
Технологія формування комутації	—	0,2-0,6	0,1524	0,2-0,6	—	—
Остаточна деформація	0,0508	—	0,0508	—	0,0508	—
Компонент						
Деформація виводів	0,1016	1-2	0,0254-0,1016	0,5-2,0	—	—

Точність позиціонування корпусів характеризується:

а) допусками автомата-укладальника: на відтворення (0,0254 мм); на установку компонента в позицію (0,0508-0,127 мм); на центрування корпусу (0,0254 мм) плюс допуск на знос захвату центрувального пристрою, якщо не використовується інтегрована система технічного зору, а також на місце розташування плати (0,0254 мм);

б) допусками комутаційної плати, які враховують: похибки виготовлення фотошаблону (0,0254 мм); похибки технологічного процесу виготовлення комутаційної плати; похибку унаслідок зміни механічних властивостей плати, наприклад, через теплове розширення чи короблення плати при паянні;

в) допусками, пов'язаними з компонентами, зокрема, зі зсувом виводів корпусу (0,0254-0,1016 мм).

Комбінація всіх цих допусків може дати сумарну похибку порядку (0,254-0,3048 мм). Подібна точність є цілком прийнятною для техніки монтажу в отвори, а також позиціонування чип-компонентів, однак недостатня для розміщення корпусів з міжцентровою відстанню між виводами 1,27 мм чи 0,635 мм.

Крім того, компоненти з великою кількістю виводів дуже чутливі до кутових зсувів. Так, наприклад, поворот на один градус приводить до зсуву крайнього виводу 84-вивідного корпусу на величину 0,254 мм (рис. 3.10).

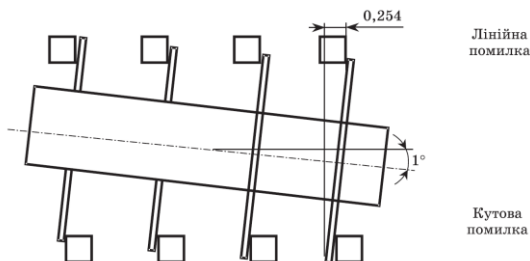


Рисунок 3.10 – Схема кутового та лінійного зсуву компонента на платі

У загальному плані на точність позиціонування впливають ряд незалежних факторів:

а) зсув області обслуговування контактних площадок плати;

б) неточність свердління установочних отворів;

в) неточність розміщення плати на монтажному столі;

г) похибка переміщення монтажних голівків;

д) відносний зсув монтажних голівок і столу.

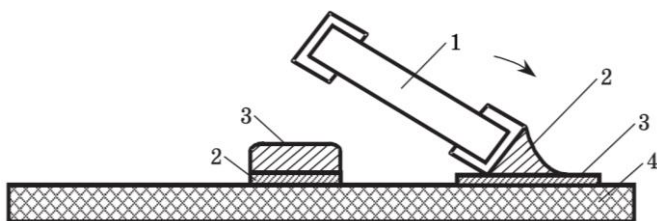
Забезпечення точності сполучення КПМ і плати задача надзвичайно важка. Однак рядом фірм запропоновано способи підвищення точності сполучення компонентів із платою, зокрема, застосування прецизійних промислових роботів. Робот захоплює компонент, визначає місце установки компонента на платі і здійснює установку компонента. Робот оснащений системою технічного зору. Знаходять застосування центрувальні пристрої різного конструктивного виконання на основі спеціальних щупів.

Найбільш прогресивні автомати-укладальники не вимагають застосування центрування. У цьому випадку система технічного зору здійснює контроль розміщення корпусу під вакуумним захватом, і корегує місце положення монтажної голівки відносно розташування знакомісця на комутаційній платі. Механічні центрувальні щупи замінено в цих автоматах відеокамерою і комп'ютером. Цей метод не має явних недоліків і стає найпоширенішим. Точність позиціонування 0,0508 мм і мають місце тенденції підвищення точності сполучення КПМ і плати.

Точність позиціонування КПМ тісним образом пов'язана з точністю проектування й отримання технології посадкових місць (знакомісць) компонентів на платі. Основне обмеження, що накладається на комутаційну плату при поверхневому монтажі компонентів, пов'язане з досяжним рівнем розділення головних розмірів, наприклад, кроку контактних площадок, кроку «контактна площадка – комутуюча доріжка» і кроку комутуючих доріжок. При вузькому кроці контактні площадки можуть з'єднуватися між собою перемичками припою. З метою мінімізації (чи виключення) перемичок розмір площадок можна зменшити, але для формування надійного з'єднання необхідно, щоб контактна площадка виступала з-під корпусу компонента на достатню відстань, тобто змочені припоєм поверхні повинні мати достатню площу для утворення меніска припою. Дуже важливо, щоб контактні площадки були однакові за формою і розмірами, особливо для чип-компонентів. У протилежному випадку нерівність сил поверхневого натягу на кожній площадці буде сприяти зсуву компонента з установлені

позиції, що може привести до підйому компонента, тобто до такого положення, коли компонент стає вільно стоячим (переверненим на торець) (рис. 3.11). Існують практичні рекомендації з розмірів контактної площадки (1,270×0,508 мм). При таких розмірах площадки можливий проміжок між двома площадками дорівнює 0,762 мм, що дозволяє розмістити між ними комутуючу доріжку шириною 0,254 мм із відповідними зазорами.

Загальні тенденції сучасного розвитку конструювання і виробництва електронних засобів впливають на розробку прогресивного автоматизованого складально-монтажного устаткування.



1 – чип-компонент; 2 – припій; 3 – контактна площадка;
4 – основа плати

Рисунок 3.11 – Підйом КІМ при монтажі

Розробники і виробники устаткування приділяють велику увагу вивченню корпусів компонентів ПМ, тому що такі корпуси розробляються спеціально для автоматичного монтажу. Через недостатню стандартизацію корпусів (їхніх розмірів, форми, кроку виводів, знакомісць) у значній мірі ускладнюється вибір і оцінка ефективності технологічного устаткування для ПМ. Розмаїтість корпусів утруднює розробку устаткування (постачальних пристроїв, монтажних голівок та ін.) і знижує точність систем у цілому.

3.4 Способи та технологія кріплення елементів на друкованій платі

При автоматизованому складанні і монтажі ДП виникає необхідність у додатковому кріпленні елементів, з метою їхньої фіксації на платі у певному положенні при монтажі.

Кріплення (фіксація) елементів на ДП може бути виконане такими способами:

а) підгинанням виводів елементів після їхнього встановлення на платі (рис. 3.12, а);

б) за допомогою «зига» і «зиг-замка» (рис. 3.12, б, в);

в) приклеюванням корпусу елемента до ДП (рис. 3.1, г).

Спосіб кріплення елементів на платі варто вибирати виходячи з вимог, маси елемента, виду монтажу, устаткування й умов експлуатації електронних пристроїв.

При встановленні ЕК выводами в монтажні отвори ДП довжина виступаючої ділянки виводу « l_1 » (підігнутого, не підігнутого) повинна бути в межах від 0,5 до 2,0 мм. Кут підгинання « α » виводів від площини плати повинний бути від 0° до 50° (рис. 3.12, а).

Підігнуті виводи рекомендується розташовувати уздовж друкованих провідників, а при відсутності провідників – у напрямку, протилежному найближчому із сусідніх провідників. Допускається для багатовивідних ЕК підгинання двох діагонально протилежних виводів при відсутності відповідних обмежень у ТУ на ЕК.

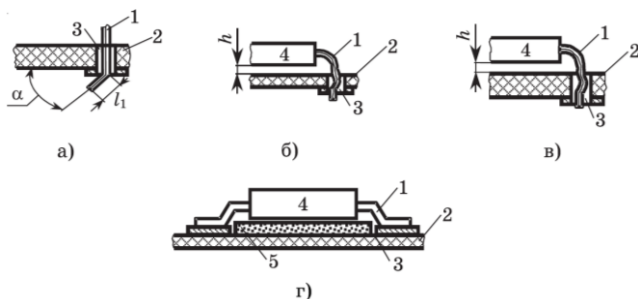


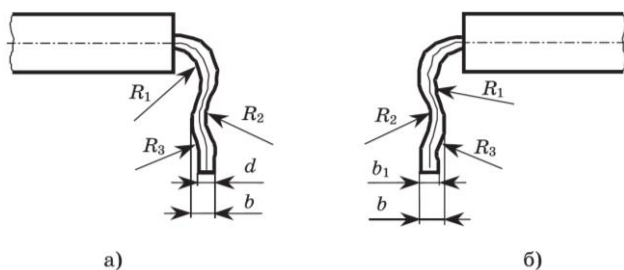
Рисунок 3.12 – Фрагменти фіксації ЕК на ДП

Для надійної фіксації ЕК на ДП за допомогою «зиг» і «зиг-замка» (рис. 3.12, б, в) необхідно формування виводів робити згідно рис. 3.13 з урахуванням параметрів, розрахованих за формулами

$$b = d_0 + 0,3, \quad (3.1)$$

$$b_1 = d_0 + 0,2, \quad (3.2)$$

де b – мінімальний розмір «зига», мм;
 b_1 – мінімальний розмір «замка», мм;
 d_0 – максимальний діаметр монтажного отвору, мм.



a – «зиг»; б – «зиг-замок»

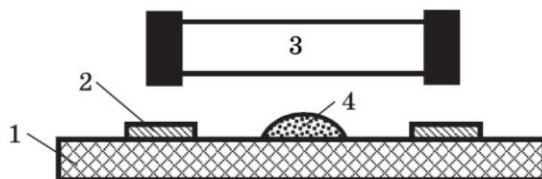
Рисунок 3.13 – Схема формування виводів ЕК

Найбільш надійне кріплення елемента на платі забезпечує приклеювання корпусу елемента до поверхні плати. Такий спосіб кріплення знаходить застосування при установленні на платі мікросхем із планарними виводами.

У технології поверхневого монтажу, при фіксації компонентів на платі, приклеювання, як спосіб кріплення, є основним.

Приклеювання ЕК на ДП. Застосування клею шляхом його нанесення на компонент чи плату, як засіб утримання компонента у певному положенні перед проведенням процесу паяння, є специфічною операцією.

На відміну від звичайних (вивідних) ЕК, установлюваних своїми виводами в монтажні отвори плати з наступним їх підгинанням, безвивідні елементи (чип-виконання) своїми металізованими торцями встановлюються на контактні площадки, з попереднім нанесенням дози клею. Схему приклеювання компонента до плати наведено на рис. 3.14.



1 – друкована плата; 2 – контактна площадка; 3 – чип-компонент;
4 – доза клею

Рисунок 3.14 – Схема приклеювання компонента до плати

Застосовуваний клей повинний утримувати елемент на платі на всьому етапі складання і монтажу, витримувати шкідливий вплив флюсоуючи присадок і високу температуру процесу паяння.

Застосовувані для кріплення елементів клеї повинні задовольняти наступним вимогам:

- а) мати мінімальний час затвердіння (від 5 до 300 с);
- б) мати гарну адгезію до поверхні елементів і ДП;
- в) забезпечувати автоматичне дозування пневмодозатором, краплеперенесенням чи трафаретом з мінімальною величиною дози 0,002 р.;
- г) витримувати короточасні (від 3 до 8 с) термоудари до 260-280 °С після полімеризації;
- д) мати достатню в'язкість;
- е) при температурі полімеризації не ушкоджувати компонент і плату;
- ж) в затверділому стані питомий електричний опір клею повинен бути не менш 10^{12} Ом·см;

з) клей повинен бути інертним до матеріалів і елементів складання;

и) клей в затверділому стані повинен бути стійким до впливу води і розчинників;

к) при затвердінні мати мінімальний коефіцієнт усадки;

л) температурний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР) клею повинен бути близький до ТКЛР матеріалів мікрозбірок;

м) клей в затверділому стані повинен бути ремонтпридатним (термопластичним), допускаючи демонтаж компонентів;

н) незаймистість і нетоксичність;

о) повинен мати виразний колір, що дозволяє проводити візуальний контроль.

Вибір клею визначається його властивостями, методом нанесення на плату (трафарет, перенос краплі, дозування шприцом, пневмодозатором).

На практиці знаходять застосування клеї на різних основах: епоксидної смоли, поліефірних, поліакрилатних, ціанокрилатних, анаеробних і модифікованих композицій.

Затвердіння клею здійснюється УФ- чи ІЧ-випромінюванням.

Провідними закордонними і вітчизняними фірмами і підприємствами постійно ведуться роботи з удосконалювання технології монтажу ЕК на друкованих платах.

3.5 Методи та технології електричних з'єднань у технічних засобах автоматизації

Одним з основних етапів складально-монтажних процесів є монтаж – отримання надійних електричних з'єднань. Розмаїття конструктивного виконання елементної бази і друкованих плат створює розмаїття методів і технологій монтажу.

Поза залежністю методів і технологій отримання електричних з'єднань, останні повинні відповідати наступним вимогам:

- а) мінімальний омичний опір у місці контакту і його стабільність у різних умовах зовнішніх впливів;
- б) висока надійність і довговічність;
- в) максимальна механічна міцність;
- г) ремонтпридатність;
- д) корозійна стійкість;
- е) простота технології отримання з'єднання;
- ж) можливість з'єднання різноманітних сполучень матеріалів;
- з) економічна ефективність і продуктивність процесу отримання з'єднання.

У практиці складально-монтажних процесів знаходять застосування різні методи виконання електричних з'єднань (рис. 3.15), кожний з яких має певні переваги і недоліки.



Рисунок 3.15 – Класифікація методів виконання електричних з'єднань

Методу, який би задовольняв усім пред'явленим вимогам, немає. Тому вибір методу і технологія виконання електричного з'єднання є задачею компромісу. З практики

впливає, що паяння найбільше повно відповідає пред'явленим вимогам.

Операція паяння частково витісняється зварюванням, тому що паяння характеризується: більш тривалим процесом теплового впливу на деталі, що з'єднуються; використанням додаткових матеріалів – припоїв і флюсів; наступним очищенням паяних з'єднань від залишків флюсу, які викликають корозію виробу в процесі експлуатації.

Однак, паяні з'єднання деякою мірою відповідають вимогам ремонтпридатності, тобто повторним нагріванням місця паяння деталей, які з'єднуються, можна їх роз'єднати без ушкодження.

Кожне з'єднання повинне відповідати поставленим до нього вимогам, по яких варто орієнтуватися при виборі його конструкції і способу технологічного виконання.

Вимоги, що пред'являються до з'єднань, в основному визначаються їхніми функціональними призначеннями й умовами використання. Однак низка вимог є загальною для з'єднань усіх видів і призначень. Так, усі з'єднання, що виконують функції передачі механічних сил, у першу чергу повинні задовольняти необхідній механічній міцності. Крім того може обмовлятися характер навколишнього середовища: відносна вологість, ступінь забруднення агресивними середовищами, температура і т. ін.

3.6 Фізико-хімічні основи отримання електричних з'єднань за допомогою паяння

Ніякий інший процес, крім паяння, не містить у собі таке широке коло фізико-хімічних явищ, що протікають у твердій, рідкій і газовій фазах: відновлення і дисоціація, випар і сублімація, змочування і капілярний плин, дифузія і розчинення, пластифікація й адсорбційне зниження міцності і т. ін.

Виходячи з фізико-хімічної природи, паяння в загальному випадку можна визначити як процес з'єднання матеріалів у твердому стані з нагріванням до температур нижче

їхніх точок плавлення, шляхом введення в зазор і кристалізації припою.

Необхідною попередньою умовою для утворення металевого зв'язку при паянні є фізична адсорбція рідкої фази до основного металу, тобто виникнення ван-дер-ваальсових сил притягання між атомами, які зблизилися на відстань порядку 10-100 нм унаслідок мимовільної поляризації зовнішніх електронів у їх взаємному магнітному полі.

Паяння відноситься до циклу теплових процесів. Активізуючим фактором процесу паяння є тепла енергія.

Таким чином, з визначення випливає, що:

а) паяння здійснюється з застосуванням нагрівання до температур нижче точок плавлення металів, які з'єднуються;

б) процес паяння у всіх випадках пов'язаний із введенням у зазор між з'єднуваними металами рідкого прошарку (припою);

в) з'єднання утворюються в результаті реакції в зоні контакту «метал, що паяється – розплав припою»;

г) завершальною стадією паяння у всіх випадках є кристалізація рідкої фази припою в зазорі.

З цього випливає, що основним змістом процесу паяння є фізико-хімічна взаємодія (реакція) на межі твердого і рідкого матеріалів, результатом якої є виникнення нероз'ємного (при кімнатній температурі) з'єднання.

З'єднання, яке утворюється при паянні, за своєю структурою і складом є неоднорідним і включає литий прошарок (шов) і дифузійні зони (рис. 3.16).

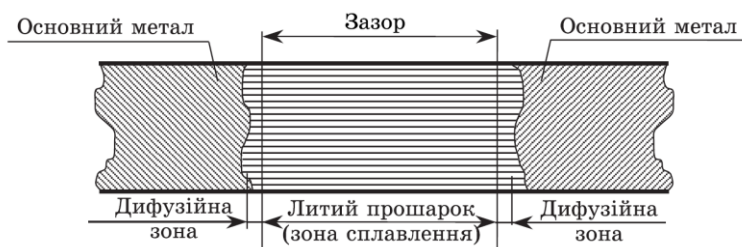


Рисунок 3.16 – Схема зонної структури паяного з'єднання

Литий прошарок (шов) – неоднорідний за складом і структурою прошарок між металами, які з'єднуються. Утворюється в результаті кристалізації рідкої фази припою (зона сплавлення).

Дифузійна зона – граничний зі швом шар основного металу зі зміненим хімічним составом і мікроструктурою в результаті дифузії припою в метал.

Зв'язок між швом і основним металом виникає в результаті утворення спаїв.

Спай – перехідний шар на границі «основний метал – зона сплавлення».

Для утворення спаю (металевого зв'язку) потрібно:

- а) активація поверхні основного металу і припою;
- б) хімічна реакція між основним металом і розплавом припою;
- в) кристалізація рідкого припою.

У залежності від умов протікання процесу паяння (температура, час), розрізняють наступні види спаїв: бездифузійний, розчинно-дифузійний, контактнореакційний і диспергований.

Перші два види спаю (бездифузійний і розчинно-дифузійний) характерні для монтажного паяння.

Контактнореакційний і диспергований спаї характерні для високотемпературного конструкційного паяння.

Виконання електричних з'єднань паянням широко застосовують у виробництві ТЗА завдяки певним перевагам, зокрема, низькому перехідному електричному опору; простоті технології; досить високій механічній міцності; ремонтпридатності та ін.

До числа недоліків цього методу варто віднести: корозійну активність залишків флюсу і у зв'язку з цим необхідність ретельного очищення (відмивання) місць паяння; високу вартість використовуваних кольорових металів (олово, свинець, вісмут, срібло, кадмій, індій та ін.) і флюсів; вплив високих температур на монтажну основу й ЕК; вплив на ДП хімічних реагентів, що входять до складу миючих рідин.

Нагрівання деталей, що з'єднуються, і припою здійснюють різними способами: паяльником, струмами високої

частоти, у печах, пальником, у рідких середовищах, ультразвуком. Назва способу паяння визначається інструментом (устаткуванням) чи середовищем, що нагріває місце з'єднання. Крім того, паяння розрізняють за характером навколишнього середовища: у вакуумі, нейтральних газах, у відбудовному середовищі.

Технологічний процес паяння містить у собі лудіння, що передує паянню. Паяння деталей проводиться після їх лудіння. Процес паяння полягає в нанесенні припою в місце з'єднання деталей, у прогріванні місць з'єднання і припою до його повного розплавлення й у збереженні деталей у стиснутому стані до повного затвердіння припою.

Високу механічну міцність паяного з'єднання можна одержати тільки при ретельному дотриманні технології паяння. Контроль якості готових паяних з'єднань зазвичай виконують одним з фізичних способів без руйнування виробу (зовнішній огляд, рентгеноскопія, ультразвукова дефектоскопія та ін.) чи з руйнуванням виробів (на відрив, зріз, на розрив). У табл. 3.4 наведені дефекти при паянні, причини їхньої появи та способи усунення.

З погляду фізико-хімічної основи процесу паяння важливу роль відіграють змочування і розтікання рідкого припою на поверхні металу.

Змочування і розтікання припою

Відповідно до першого закону капілярності (формула Лапласа)

$$P_1 - P_2 = \sigma_{1,2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (3.3)$$

де P_1 і P_2 – тиск з увігнутої й опуклої сторони поверхні рідини (припою) відповідно;

$\sigma_{1,2}$ – поверхневий натяг рідини на границі з газовим середовищем;

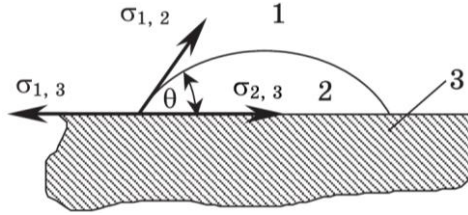
R_1, R_2 – радіуси кривизни поверхні.

Таблиця 3.4 – Дефекти при паянні, причини їхньої появи і способи усунення

Характер дефекту	Причини появи дефекту	Спосіб попередження або усунення
Погане затікання припою в зазор між паяними поверхнями	<ol style="list-style-type: none"> 1. Недостатній нагрів деталей. 2. Незатікання флюсу в зазор. 3. Недостатнє очищення поверхні з'єднання деталей. 4. Неправильна конструкція чи складання паяного з'єднання: <ol style="list-style-type: none"> а) малий зазор; б) великий зазор; в) перекошення деталей при складанні. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Збільшити температуру чи час нагріву. 2. Більше флюсувати. 3. Забезпечити якість очистки поверхонь. 4. Треба: <ol style="list-style-type: none"> а) збільшити зазор; б) зменшити зазор до оптимального; в) складання проводити в устаткуванні.
Перегрів та перепад паяного металу	Велика потужність, надмірно висока температура, зайвий час нагріву деталей.	Зменшити потужність, температуру чи час нагріву.
Шлакові вclusions у шві	Невідповідність температури плавлення флюсу температурі плавлення припою.	Підібрати відповідний флюс.
Погане змочування паяного металу	Неправильна підготовка під паяння або мало флюсу або він недостатньо активний.	Зачистити паяні поверхні, посилити флюсування або замінити флюс.
Напливи припою на зовнішній стороні паяних поверхонь	Нерівномірний прогрів деталей, в результаті чого приліп тече по більш нагрітій частині.	Рівномірно прогрівати одразу обидві деталі з урахуванням їх маси, теплопровідності та розташування відносно до джерела нагріву.

З формули Лапласа випливає, що поверхневий шар рідини (припою), який має кривизну, оказує додатковий тиск у порівнянні з тим, який він зазнає при наявності плоскої поверхні. Цим додатковим тиском обумовлено всі капілярні явища.

При розтіканні краплі рідини (краплі рідкого припою) на плоскій поверхні твердого тіла умови її рівноваги виражаються у вигляді рівноваги векторів сил поверхневого натягу в точці на границі трьох фаз. Цією границею є периметр змочування (рис. 3.17).



1 – газове середовище; 2 – рідке середовище; 3 – тверде тіло

Рисунок 3.17 – Схема рівноваги сил поверхневого натягу краплі рідини на поверхні твердого тіла

$$\sigma_{1,3} = \sigma_{2,3} + \sigma_{1,2} \cos \theta, \quad (3.4)$$

де $\sigma_{1,3}$ – поверхневий натяг між твердим тілом і газовим середовищем, що діє на краплю по периметру її основи;

$\sigma_{2,3}$ – поверхневий натяг рідини на границі з твердим тілом;

$\sigma_{1,2}$ – поверхневий натяг рідини на границі з газовим середовищем.

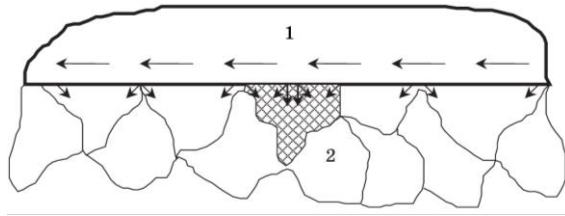
Рівняння (3.4) є другим законом капілярності (рівняння Юнга), з якого випливає:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{1,3} - \sigma_{2,3}}{\sigma_{1,2}}. \quad (3.5)$$

Косинус кута θ , який називається коефіцієнтом змочування, характеризує змочувальну здатність рідини (припою).

Розтікання розплавленого припою по поверхні основного металу визначається багатьма факторами. Основними з яких є характер взаємодії в контакті «основний метал – припій», в'язкість розплаву припою, рідино-текучість.

Механізм розтікання припою пов'язаний із взаємодією розплаву припою і його парообразної фази з основним металом, з поверхневою дифузією розплавленого припою (рис. 3.18), з капілярним плином останнього і т. д.



1 – припій; 2 – основний метал

Рисунок 3.18 – Схема дифузії припою в основний метал

Розтікання розплаву припою, як і всякої рідини, по поверхні твердого тіла, визначається співвідношенням сил адгезії припою до поверхні основного металу і когезії, що характеризується силами зв'язку між частками припою.

Робота адгезії визначається вільною поверхневою енергією, яка звільняється при змочуванні твердого тіла рідиною:

$$A_{ad\varrho} = \sigma_{1,3} + \sigma_{1,2} - \sigma_{2,3}. \quad (3.6)$$

Повне розтікання припою по поверхні основного металу має місце при крайовому куті $\theta = 0$, при цьому з умови рівноваги краплі припою на поверхні твердого тіла маємо

$$\sigma_{1,3} = \sigma_{1,2} + \sigma_{2,3}. \quad (3.7)$$

Підставивши $\sigma_{1,3}$ у рівняння роботи сил адгезії отримаємо

$$A_{ad\varrho} = 2\sigma_{1,2}. \quad (3.8)$$

Ввівши в первинне рівняння значення $\sigma_{1,3} - \sigma_{2,3}$, з умови рівноваги краплі рідини на поверхні тіла, отримаємо роботу сил адгезії у випадку, коли крайовий кут змочування не дорівнює нулю

$$A_{адз} = \sigma_{1\delta 2}(1 + \cos \theta). \quad (3.9)$$

Когезія часток припою оцінюється роботою, необхідною для розриву рідини й утворення двох нових поверхонь

$$A_{коз} = 2\sigma_{1\delta 2}. \quad (3.10)$$

Розтікання краплі припою по поверхні металу буде відбуватися за умови, що $A_{адз} > A_{коз}$, тобто:

$$K = A_{адз} - A_{коз} = \sigma_{1,2}(1 + \cos \theta) - 2\sigma_{1,2} = \sigma_{1,2}(\cos \theta - 1), \quad (3.11)$$

де K – коефіцієнт, який характеризує розтікання припою.

Отже, розтікання краплі припою визначається поверхневим натягом і крайовим кутом змочування.

З формули (3.11) випливає, що коефіцієнт розтікання знаходиться у певній залежності від крайового кута змочування. Повне розтікання припою по поверхні металу буде тільки при повному змочуванні, тобто при $\cos \theta = 1$, чи $\theta = 0^0$.

У процесі монтажного паяння виводів ЕК в металізовані отвори ДП припій піднімається нагору по виводах і стінкам отворів, заповнюючи отвір.

Це явище пояснюється присутністю капілярних сил плинину рідини на визначену висоту по капіляру.

Капілярні сили змушують припій щільністю γ підніматися по капіляру на висоту h і заповнювати зазор, тобто:

$$h = \frac{2\sigma_{1,2} \cos \theta}{a\rho g}, \quad (3.12)$$

де a – зазор між двома рівнобіжними поверхнями, що паяються, мм;

ρ – щільність припою, кг/м³;

g – прискорення сили ваги, м/с².

Для циліндричного капіляра (отвору):

$$h = \frac{4\sigma_{1,2} \cos \theta}{d\rho g}, \quad (3.13)$$

де d – діаметр капіляра (отвору), мм.

При горизонтальному розташуванні шва глибина « l » затікання припою в зазор визначається за формулою

$$l = \sqrt{\frac{\sigma_{1,2} a}{3\eta} t}, \quad (3.14)$$

де a – зазор між паяними поверхнями, мм;

η – в'язкість припою, м²/з,

t – час затікання, хв.

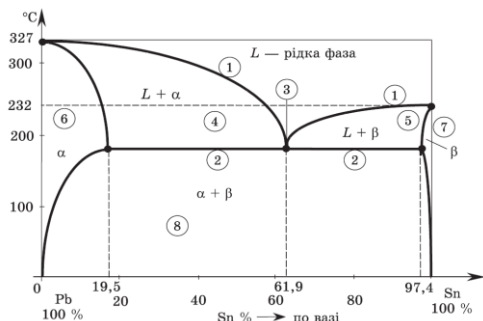
Процес паяння характеризується наявністю трьох основних етапів:

а) змочування основного металу за рахунок сил поверхневого натягу;

б) затікання розплаву припою в капілярний зазор поверхонь, що паяються;

в) кристалізація припою (після видалення джерела теплової енергії).

Кристалізація припою є завершальним етапом утворення паяного з'єднання. Температурний інтервал кристалізації припою можна визначити за діаграмою станів системи сплавів свинець-олово (Pb-Sn) (рис. 3.19).



1 – крива ліквідус; 2 – крива солідус; 3 – евтектична точка; 4 – область твердих кристалів свинцю в розплаві; 5 – область твердих кристалів олова в розплаві; 6-7-8 – тверда фаза; α – область твердого розчину свинцю; β – область твердого розчину олова

Рисунок 3.19 – Діаграма станів системи сплавів свинець-олово

3.7 Технологічні матеріали для виконання монтажного паяння

Для отримання електричного з'єднання необхідні, як мінімум, два основних матеріали – припой і флюс.

Припої. Основним матеріалом для формування електричного з'єднання паянням є припої.

Руйнування паяного з'єднання, порушення електричного контакту, відхилення від номінальних значень перехідного опору паяних з'єднань у ряді випадків обумовлене тим, що конструктори і технологи при розробленні конструкцій паяних виробів і технології їх виготовлення не беруть до уваги фізико-хімічні властивості низькотемпературних припоїв, не завжди враховують їх фізико-хімічну стабільність і сумісність з покриттями та конструкційними матеріалами.

До основних фізико-хімічних властивостей припою відносяться: температура плавлення; границі міцності на розтягання і зріз; границя текучості; відносне подовження (пластичність); модуль пружності; температурний коефіцієнт лінійного розширення; коефіцієнт теплопровідності; питомий електроопір.

Фізико-хімічні властивості припоїв наведено в табл. 3.5. Склад і властивості найбільш застосовуваних низькотемпературних припоїв наведено в табл. 3.6.

Як видно зі складу припоїв, основу більшості з них складає олово.

Олово має дві алотропічні модифікації (β і α): металеве біле олово з тетрагональними кристалічними ґратами (β) і сіре олово з кубічними алмазними кристалічними ґратами (α). За температури нижче 13 °С (256,2 К) біле олово може перетворюватися в сіре, тому чисте олово практично не використовується в якості припою для паяння ЕК. В олово вводять добавки свинцю, вісмуту, срібла, кадмію, сурми, індію, міді й інших металів, що запобігають переходу β в α – олово за низьких температур.

При виборі марки припою варто виходити з наступних вимог:

- а) припій повинен мати температуру плавлення нижче температури плавлення матеріалів, які паяються;
- б) припій повинен при температурі паяння добре змочувати основний метал і заповнювати сполучні зазори;
- в) забезпечувати отримання міцних і корозійностійких паяних з'єднань;
- г) мати коефіцієнт термічного розширення близький до коефіцієнту термічного розширення металу, який паяється;
- д) по можливості не вміщати дефіцитних компонентів;
- е) мати загальнодоступну технологію виробництва і застосування;
- ж) забезпечувати електричний контакт із малим омичним опором.

У монтажному паянні найбільше застосування отримали припої на основі олова і свинцю, так називані олов'яно-свинцеві припої (ПОС).

Припої ПОС мають достатню міцність, корозійну стійкість і високі технологічні властивості. Вони пластичні, добре опираються знакозмінним навантаженням і мають

достатню змочувальну здатність у відношенні до багатьох металів і сплавів.

Таблиця 3.5 – Основні дані припоїв та їх застосування

Марка	Хімічний состав, %	$t_{\text{плав}}$, °C	Границя міцності, МПа	Призначення
1	2	3	4	5
ПОС-90	Олово (89-90); сурма (0,15); свинець – решта.	222	43	Для паяння деталей и складальних одиниць, які підлягають подальшому срібленню чи золоченню
ПОС-61	Олово (59-61); сурма (0,8); свинець-решта; домішка не більш 0,314	190	43	Для паяння відповідальних деталей, коли неприпустимо чи небажано високий нагрів в зоні паяння, а також коли потрібна підвищена механічна міцність
ПОС-61М	Олово (60-62); свинець (40-38); мідь (1,5-2)	192	45	
ПОС-50	Олово (49-50); сурма (0,8); свинець - решта; домішка не більш 0,314	222	36	Те ж, коли допускається більш висока температура нагріву
ПОС-40	Олово (39-40); сурма (1,5-2); свинець - решта; домішка не більш 0,314	235	32	Для паяння менш відповідальних струмопровідних деталей, коли припустимо більш високе нагрівання
ПОС-30	Олово (29-30); сурма (1,5-2); свинець-решта; домішка не більш 0,424	256	33	Для лудіння і паяння менш відповідальних механічних деталей із міді, її сплавів, стали
ПОС-18	Олово (17-18); сурма (2-2,25); свинець - решта	277	28	Для паяння при знижених вимогах до міцності шва, для лудіння перед паянням
ПОССу-4- б	Олово (3-4); сурма (5-6); свинець-решта; домішка не більш 0,424	265	58	Для паяння занурюванням у ванну з розплавленим припоєм
ПОСК-50	Олово (49-51); кадмій (17-19); свинець (32); домішка не більш 0,35	145	40	Для паяння деталей із міді та її сплавів, не припускаючих місцевого перегріву

Продовження табл. 3.5

1	2	3	4	5
ПОСВ-33	Олово (32,4-34,4); свинець (32,3-34,3); вісмут (32,3-34,3); домішка не більш 0,3	130	60	Для паяння плавких запобіжників; мідь, срібло, нанесене на кераміку методом вжигання и паяння константану
ПОСВ-50	Олово (24,5-25,5); свинець (24,5-25,5); вісмут (49-51); домішка не більш 0,3	147	62	Те ж саме, не припускаючи місцевого перегріву
ПОСК-47-17	Олово (47); кадмій (17); свинець (36)	142	45	Для паяння металічних и керамічних посріблених деталей
Сплав Вуда	Олово (12-25,5); кадмій (12-13); свинець (24,5-25,5); вісмут (49-51); домішка не більш 0,1	60,5	61	Для паяння у тих випадках, коли потрібна особливо низька температура плавлення припою
ПСрОСЗ,5-95	Свинець (0,8-1,3); срібло (3,1-3,5); олово - решта	225	63	Паяння і лудіння монтажних елементів, підвищення міцності з'єднання
Сплав Розе	Олово (25); свинець (25); вісмут (50)	94	51	Лудіння виводів ЕК, проводів, монтажне паяння с пониженою температурою
Сплав Арсе	Олово (9,6); свинець (45,1); вісмут (45,3)	79	55	Те ж саме
Сплав Липвинца	Олово (13,33); свинець (26,67); вісмут (50); кадмій (10)	70	58	Те ж саме
ПГМ-65	Мідь (34-36); галій (64-66)	200	33	Безфлюсове паяння мікросхем и навісних елементів к ДП
П150	Олово (37,5-39,5); цинк (2,8-4,8); кадмій (56,7-58,7)	165	65	Паяння алюмінієвих сплавів с міддю та її сплавами. Для ультразвукового безфлюсового лудіння

Таблиця 3.6 – Фізико-хімічні властивості низькотемпературних припоїв

Марка припою	Границя міцності при розтягненні, МПа	Температура плавлення, °С		Щільність ρ , г/см ³ за температури 20 °С	Коефіцієнт теплового розширення, $\alpha \cdot 10^{-6}$	Питомий електричний опір, Ом·мм ² /м
		початкова	кінець			
ПОС-61	43,0	183	190	8,50	24,00	0,139
ПОС-40	33,0	183	238	9,30	-	0,159
ПОС-61М	45,0	183	192	8,50	-	0,143
ПОСК-50-18	40,0	142	145	8,80	21,00-22,00	0,133
ПОССу-61-0,5	45,0	183	189	8,50	23,40	0,140
ПОССу-50-0,5	38,0	183	216	8,90	23,40	0,149
ПОССу-40-0,5	40,0	183	235	9,30	25,00	0,169
ПОССу-30-0,5	36,0	183	255	9,70	-	0,179
ПОССу-40-2	43,0	185	229	9,20	-	0,172
ПСр-2,5	36,0	295	305	11,00	-	0,220
ПСр-2	-	225	235	9,60	-	0,170
ПСр-1,5	-	265	270	10,40	-	0,200
ПСрОС-3,5-95	-	220	220	7,40	-	-
ПСрОС-3-58	-	183	190	8,90	-	-
ПОСВ-33	60,0	120	130	9,30	15,00-17,00	0,350
Сплав Розе	51,0	93	96	9,90	-	-
Сплав Вуда	61,0	68	70	9,50	9,00	0,460
ПС-70КВ	46,0	218	220	10,20	-	0,478
ПСрОС Нн-3-56	-	175	175	8,89	-	-
ПСр-3І	-	141	141	7,36	-	-
ПОІ-50	22,3	117	117	7,45	-	0,280
ІН-2	-	156	156	7,31	-	-
П300А	85,0	260	310	7,73	-	0,067
П150А	65,0	150	165	8,04	-	0,092
П250А	45,0-50,0	200	250	7,30	-	0,106

П200А	40,0	199	210	7,32	-	0,110
П200Г	81,2	200	200	7,32	-	-
ПГМ65	33,0	-	-	5,50	-	0,360
ПГН54	29,0	-	-	5,85	-	0,190

Фізико-механічні й електричні властивості припоїв ПОС залежать від процентного співвідношення компонентів, які входять до складу.

Так, серед дуже розповсюджених припоїв системи Sn-Pb максимальну міцність має припій з 73 % Sn.

На міцність припоїв впливає сурма. Введення до припою сурми не більш 7% підвищує механічну міцність з'єднання і знижує схильність до старіння.

Уведення сурми до припою ПОС більш 7 % веде до крихкості паяного з'єднання.

Домішки цинку, алюмінію, заліза і міді негативно позначаються на властивостях ПОС. При змісті цинку й алюмінію понад 0,005 % знижується здатність припоїв до розтікання, погіршується взаємодія з металом, який паяється, з'являється схильність до утворення тріщин при затвердінні. При змісті в припої понад 0,1 % заліза і понад 0,15 % міді помітно підвищується температура його плавлення.

Високу міцність і технологічність мають припої ПОС-61 і ПОС-40. Початкова температура плавлення у всіх промислових ПОС однакова і складає 183,3 °С (лінія солідус на діаграмі стану системи Sn-Pb, рис. 3.19).

Добавки срібла (Ag) у припій підвищують механічну міцність з'єднання. Крім цього, срібло затримує зниження міцності при старінні.

Електропровідність залежить від змісту олова в сплаві. Чим вище відсоток олова в сплаві, тим вище електропровідність, але при цьому знижується теплопровідність. При підвищенні змісту олова в сплаві зростає корозійна стійкість, підвищується механічна міцність.

При зниженні температури в межах від 30 °С до 60 °С спостерігається різке падіння ударної в'язкості припоїв ПОС, особливо при підвищеному змісті олова.

Для зниження температури плавлення припоїв ПОС у їхній состав вводять кадмій, вісмут, індій.

При механізованому паянні доцільні евтектичні сплави. Евтектичний сплав – це сплав, температура плавлення якого менше температури плавлення кожного з компонентів даного сплаву. Наприклад, евтектичний сплав Sn-Pb (припій ПОС-61). Температура плавлення свинцю 327 °С, олова 232 °С. Припій ПОС-61, який складається з 61 % олова та 39 % свинцю, має температуру плавлення 183,3 °С.

Евтектичні припої мають найкращі капілярні властивості, мають малий інтервал кристалізації (наприклад, припій ПОС-61 – близько 7 °С), це сприяє зменшенню тривалості паяння. Однак застосування евтектичного припою, у якого точки плавлення і затвердіння збігаються, утруднює отримання гладких швів.

Безсвинцеві технології. У Євросоюзі з 2006 року згідно прийнятої Директиви 2002/95/ЄС RoHS (Restriction of Hazardous Substances – заборона шкідливих речовин) почали діяти обмеження на використання в промисловій електронній продукції та в новій електронній техніці деяких хімічних матеріалів, небезпечних для здоров'я та навколишнього середовища. Серед інших, вимоги Директиви ЄС поширюються і на сполуки свинцю.

Аналогічні RoHS директиви прийняли Китай, Японія і деякі штати США.

Перш за все, ці директиви стосуються в першу чергу тих розробників і виробників електронної техніки, які експортують продукцію в вище перелічені країни.

Безсвинцеве паяння зазвичай має більш високу робочу температуру паяння у порівнянні з традиційною Sn/Pb-технологією. Тому для її впровадження на приладобудівних підприємствах необхідні деякі зміни на низці операцій технологічного процесу складання друкованих модулів. Так, наприклад, нові типи припоїв і флюсів можуть вплинути на характеристики припійних паст. Можуть змінитися такі властивості паст, як термін служби та зберігання, текучість, що потребує зміни конструкції ракеля та режимів оплавлення.

При впливі підвищеної температури паяння може статися деформація корпусів мікросхем, розтріскування кристалів, порушення функціонування схем. Схожі ефекти виникають і в ДП: під дією температури відбувається розшарування основи, погіршується площинність, що негативно позначається на точності установки ІС, особливо у корпусах великих розмірів.

Основними причинами переходу до нового типу припоїв (окрім екологічної безпеки) є більш високі їхні експлуатаційні характеристики:

- міцність у поєднанні з пластичністю;
- високий коефіцієнт теплопровідності;
- стійкість до корозії.

Однак існує ряд причин, за якими промислове застосування такого типу припоїв досі обмежена. Оскільки безсвинцеві припої здебільшого мають більш високу температуру паяння, це позначається на складності паяльного обладнання: доводиться витримувати більш вузький кордон термопрофілю. Обладнання повинно мати термодатчики, розташовані по всій площі нагрівання ДП і контролювати термопрофіль у режимі реального часу.

Безсвинцеві припої використовують для з'єднання деталей практично з усіх металів, і чим більше у складі припою чистого олова, тим якіснішим буде отримане з'єднання.

Припої на основі сплаву олова, срібла та міді, відомі як припої SAC, широко використовуються як для паяння оплавленням, так і для паяння хвилею. Олов'яно-мідні припої використовуються у хвильовому паянні. Температури плавлення цих припоїв лежать у діапазоні 215...220 °С.

Існує 5 основних груп безсвинцевих припоїв:

– SnCu, які містять мідь. Недоліком цього типу є висока температура плавлення та гірші механічні властивості в порівнянні з іншими безсвинцевими припоями;

– SnAg – срібловмісні припої, котрі використовуються вже багато років. Вони мають гарні механічні властивості та краще паяються, ніж мідьвмісні припої;

– SnAgCu – сплави олова, срібла та міді, які є трикомпонентними евтектичними припоями. Перевага такого

типу полягає в більш низькій температурі розплавлення (217 °C).

– SnAgBi (Cu) (Ge). Низька температура плавлення такого сплаву сильно підвищує надійність паяння. Температура розплавлення такого типу припою в різних поєднаннях співвідношень металів коливається у діапазоні 200-210 °C. Дослідження підтвердили, що додавання міді та/або германію до сплаву покращує міцність паяного з'єднання, а також змочуваність з'єднаних припоєм поверхонь. Значна тенденція такого типу припоїв утворювати припійні перемички у порівнянні з іншими безсвинцевими припоями може бути зменшена додаванням інших домішок;

– SnZnBi – цей тип припоїв має температуру розплавлення близьку до евтектичних припоїв на основі свинцю, однак наявність цинку призводить до багатьох проблем, пов'язаних з їх хімічною активністю, зокрема таких, як: малий час зберігання припійної пасти, необхідність використання активних флюсів, надмірне шлакування й оксидування, потенційні проблеми корозії при складанні. Використання такого типу припоїв рекомендується для паяння в середовищі захисного газу.

Для складання особливо важливих пристроїв (оборонна промисловість, автономні пристрої) рекомендується використання високоякісних SnAgCu припоїв з додаванням (за необхідності) свинцю.

Для професійної техніки (промисловість, системи зв'язку) рекомендується використання SnAgCu або SnAg двохкомпонентних евтектичних припоїв.

Сьогодні видано безліч патентів на сплави різних складів для заміни свинцевих припоїв. Не всі сплави комерційні, але вибір досить широкий. Сплави відрізняються як за температурою плавлення, так і за змочуваністю, міцністю та вартістю. Кожен припій володіє унікальним поєднанням властивостей. При переході виробів на безсвинцеве паяння доводиться враховувати цілу низку факторів. Припої підбирають, виходячи з особливостей конструкції пристрою, топології ДП, механічних і електричних характеристик блоку, умов його експлуатації тощо.

При виборі враховують також температуру плавлення припою, надійність паяних з'єднань, стійкість монтованих компонентів до температури паяння, відмінності режимів паяння оплавленням і хвилею припою.

Основний критерій при виборі припою – це температура плавлення. Всі припої за цією ознакою можна розділити на чотири групи: низькотемпературні (температура плавлення нижче 180 °С), з температурою плавлення, яка дорівнює евтектиці Sn63/Pb37 (180...200 °С), з середньою температурою плавлення (200...230 °С) і високотемпературні 230...350 °С).

Флюси. Процес взаємодії основного металу і розплавленого припою може протікати активно тільки після видалення з їх поверхні окисної плівки, яка перешкоджає виникненню між ними металевого зв'язку. Флюси, застосовувані при паянні, призначені для розчинення, руйнування і видалення окисної плівки з поверхонь, які паяються.

Флюси повинні задовольняти наступним вимогам:

а) температура плавлення флюсу повинна бути нижчою, ніж температура плавлення припою;

б) флюс при температурі паяння повинен бути рідким і досить рухливим, легко і рівномірно розтікатися по поверхні основного металу, добре проникати в зазори;

в) флюс повинен вчасно і цілком розчиняти окисли основного металу;

г) залишок флюсу і продукти його розкладання повинні виступати на поверхню припою при його кристалізації;

д) флюс не повинен викликати корозію металів, які з'єднуються;

е) флюс повинен легко і добре віддалятися після паяння;

ж) флюс не повинен бути гігроскопічним;

з) залишок флюсу повинен мати властивості діелектрика;

и) флюс повинен бути нетоксичний.

Однією з важливих характеристик флюсу є температурний інтервал активності (ТІА). Нижній рівень інтервалу або мінімальна температура дії флюсу – температура, за якої флюс починає взаємодіяти з окисною плівкою або

безпосередньо з основним металом, забезпечуючи змочування поверхні, яка паяється.

Верхньою межею ТІА флюсу є температура, за якої різко знижується його активність у результаті випарювання окремих компонентів і починається окислювання основного металу і припою під шаром флюсу.

Через розмаїття составу флюсів хімізм їхньої дії в процесі флюсування різний. Відповідно до існуючих представлень механізм взаємодії активних компонентів флюсів у процесі паяння зводиться до наступного:

а) має місце взаємодія з активною фіксувочною речовиною і окісною плівкою, у результаті чого плівка зв'язується в з'єднання, розчинне у флюсі, утворює легкоплавкий шлак;

б) у результаті хімічної взаємодії з окісною плівкою, відбувається руйнування і поступовий відрив плівки від основного металу, і перехід її в шлак;

в) адсорбційне зниження міцності окісної плівки під дією розплаву припою і диспергування її на частки колоїдних розмірів;

г) розчинення окісної плівки основного металу і припою у флюсі.

В умовах флюсового паяння всі ці механізми дії флюсу можуть виявлятися одночасно.

На процес флюсування впливають такі фактори, як:

а) температура нагрівання;

б) склад основного металу та припою;

в) склад флюсу.

Виходячи з механізму флюсування, флюс – речовина, здатна при певній температурі вступати в хімічну взаємодію з окісною плівкою або безпосередньо з металом, розчиняти окісну плівку і забезпечувати змочування припоєм поверхонь, які паяються.

Усе різноманіття застосовуваних флюсів за хімічною активністю можна розділити на наступні групи:

а) активні (кислотні) – активно взаємодіють з окислами і металами. Добре розчиняють окисли, забезпечують добре змочування поверхонь припоєм, забезпечують високу міцність

шва. Однак унаслідок високої активності викликають згодом корозію металів, які паяються. Тому усі вироби, що паяються, повинні піддаватися ретельному промиванню лужними составами для видалення залишків флюсу. У монтажному паянні застосування активних флюсів обмежено. Наприклад, флюси марок ФФ, ФС, Прима-3 і ін. $T_{ПА}=(225-400) \text{ }^{\circ}\text{C}$;

б) антикорозійні флюси – флюси, що не викликають корозії виробів (наприклад, флюс марки ФІМ, ВТС, ФПЕт і ін.). $T_{ПА}=(225-375) \text{ }^{\circ}\text{C}$;

в) безкислотні флюси – флюси на основі каніфолі (флюс марки ФКСп, В, КЕ, ФКЕт і ін.). $T_{ПА}=(225-300) \text{ }^{\circ}\text{C}$;

г) активовані флюси – флюси, до складу яких включають добавки для підвищення активності (наприклад, флюси марки ЛТІ-120, КЕЦ, Паста 4, ФГСП, ФКТс та ін.). $T_{ПА}=(225-400) \text{ }^{\circ}\text{C}$.

У таблиці 3.7 наведено найбільш застосовувані марки флюсів, їхній склад і призначення.

Таблиця 3.7 – Марки флюсів, їх склад і призначення

Марка флюсу	Складові флюсу та їх зміст, %	Паяний метал або металеве покриття	Припої, які застосовуються	Область застосування
1	2	3	4	5
Каніфоль марок А,В КСП, ФКЕт	Соснова каніфоль, 10-60; етиловий спирт, 90-40	Мідь, срібло, олово, цинк, олово-свинець, золото, олово-вісмут	Олов'яно-свинцеві, Олов'яно-свинцево-кадмієві, срібляні	Паяння та лу-діння деталей і провідників у виробках спеціального призначення. Консервація в умовах складського збереження
ФКТ	Соснова каніфоль, 10-40; тетрабромідіпсітена, 0,05-0,1; етиловий спирт, 89,95-59,9	Мідь, срібло, олово, кадмій, цинк, олово-свинець, олово-вісмут, золото	Олов'яно-свинцеві, олов'яно-свинцево-вісмутові	Паяння та лу-діння кон-тактних з'єд-нань та повер-хонь у виробках спеціального призначення

Продовження табл. 3.7

1	2	3	4	5
ФКТС	Соснова каніфоль, 15-30; саліцилова кислота, 3-3,5; триетаноламін, 1-1,5; етиловий спирт, 81-65	Мідь, срібло, олово, кадмій, цинк, олово-свинець, олово-вісмут	Олов'яно-свинцеві, олов'яно-свинцево-вісмутіві, срібляні	Те ж саме, але при умові повного вилучання залишків флюсу після паяння
ЛТИ-120	Соснова каніфоль, 20-25; солянокислий діетіламін, 3-5; триетаноламін, 1-2; етиловий спирт, 76-68	Сталь, мідь, нікель и його сплави, олово, срібло, кадмій, цинк, олово-свинець, олово-вісмут	Олов'яно-свинцеві, срібляні	Паяння та лу-діння деталей і провідників у виробках широкого spoжи-вання
ФГСп	Солянокислий гідрозін, 2-4; етиленгліколь, 25-50; етиловий спирт, 73-46	Мідь та її сплави, нікель та його сплави, олово, срібло, кадмій, цинк, олово-свинець, олово-вісмут	Олов'яно-свинцеві, олов'яно-свинцево-вісмутіві, олов'яно-свинцево-кадмієві	Паяння та лу-діння деталей і провідників у виробках широкого spoжи-вання. Попереднє лудіння виводів у виробках спеціального призначення
ФТС	Саліцилова кислота, 4-4,5; тріетаноламін, 1-1,5; етиловий спирт, 95-94	Мідь, олово, срібло, кадмій, цинк, олово-свинець, олово-вісмут	Олов'яно-свинцеві, олов'яно-свинцеві-вісмутіві	Паяння та лу-діння кон-тактних з'єд-нань та повер-хонь у виробках широкого spoживання
ФДГл	Солянокислий діетіламін, 4-6; гліцерин, 96-94	Мідь, олово, срібло, кадмій, цинк, олово-свинець, олово-вісмут	Олов'яно-свинцеві	Те ж саме, а також групове паяння деталей и оплавлення після гальванічного лудіння

Продовження табл. 3.7

1	2	3	4	5
ФЦА	Хлористий цинк, 45,5; хлористий амоній, 9,0; вода, 45,5	Сталь, мідь та їх сплави, нікель та його сплави	Олов'яно-свинцеві, срібляні	Попереднє лу-діння поверх-хонь за умови повного вилу-чання залиш-ків флюсу після паяння
ЖЗ-1-АП	Циліндрове масло 52, 79-81; кремнійорганічне зв'язувальне ПФМС-6, 16-17; олеїнова кислота, 4,9-1,8; антиоксидант; НГ-2246, 0,1-02		Олов'яно-свинцеві	Захист дзеркала розплав-леного припою від окислення в механізова-них установ-ках для паяння

Найбільше застосування в монтажному паянні знаходять флюси на основі каніфолі (ФКСп, КЕ). Флюсова дія каніфолі і флюсів на її основі пояснюється здатністю органічних кислот, зокрема, абієтинової кислоти ($C_{20}H_{30}O_2$) розчиняти окисли. За температури 125 °С каніфоль переходить у рідкий стан, а при 330 °С розкладається. Нагрівання понад 330 °С призводить до обвуглювання каніфолі та втраті нею властивостей, що флюсують, ТІА=(225-300) °С.

Рідини для очищення паяних виробів. Паяні вироби підлягають ретельному очищенню від залишків флюсу і продуктів його розкладання оскільки вони викликають корозію виробів. При виборі очисної рідини варто враховувати: склад флюсу; матеріал виробів, які підлягають очищенню; розчинюючу здатність миючої рідини; робочу температуру; час і умови очищення; токсичність і пожежонебезпеку; вплив очисної рідини на матеріал виробів; екологічні вимоги та ін.

У промисловості для очищення паяних виробів знаходить застосування велика кількість різноманітних рідин. На практиці склався певний підхід у виборі очисних рідин. Так, флюси марок ФГСп, ФТБф, ФДФс, Ф-55 добре віддаляються (відмиваються) гарячою (60-80 °С) водою з наступним

відмиванням холодною проточною водою за допомогою м'яких щіток.

Флюси марок ФКСп, ФКЕТ, ФКТ, ФПЕТ добре відмиває метилен хлористий.

Етиловий спирт застосовують при відмиванні виробів від флюсів ФКСп, ФКЕТ, ФКТ.

Суміш бензину марки БР-1 з етиловим спиртом у відношенні 1/1 чи 2/1 успішно застосовують при використанні флюсів ФТС, ФКСп, ФКЕТ, ФКТ, ФДФс, ФГСп.

Трихлоретілен застосовують для відмивання виробів від флюсів ФКСп, ФКЕТ, ФКТ, ФПЕТ.

Однак варто мати на увазі, що чимало рідин або пожежонебезпечні (спирто-бензинові, спирто-бензино-ацетонові), або токсичні (розчинники, що містять хлор і фтор). Крім того рідини, які містять хлор і фтор, екологічно небезпечні.

У промисловості все більшу увагу приділяють більш безпечним очисним середовищам, так названим технологічним миючим засобам. Існують практичні рекомендації з більш досконалих способів очищення виробів на основі використання особливо чистої води в суміші з азотом, водно-терпенової емульсії, водно-спиртового розчину, полісахаридів, які виключають токсичність, пожежонебезпеку, екологічно чисті і добре відмивають вироби від більшості флюсів.

3.8 Способи та технологія монтажного паяння ЕК на ДП

У виробництві ТЗА електричний монтаж виконується або вручну або механізованим способом у залежності від масштабу виробництва.

В одиничному та дрібносерійному виробництвах ширше застосовується ручне паяння.

Ручне монтажне паяння. Для отримання якісних з'єднань, необхідно обов'язкове дотримання ряду організаційних і технологічних вимог, зокрема:

а) складання та монтаж ТЗА повинні здійснюватися відповідно до вимог стандартів, конструкторської та технологічної документації;

б) виробничі приміщення складання і монтажу повинні відповідати вимогам діючих технологічних і санітарних норм;

в) виконавці технологічних операцій повинні бути атестовані, і мати посвідчення на право їхнього виконання;

г) устаткування й оснащення повинні відповідати технічній документації, бути в робочому стані і виключати травмування працюючих;

д) електроустаткування й електроінструмент повинні бути надійно заземлені, і виключати поразку електричним струмом;

е) перевірку температури стрижня електропаяльника, що має терморегулятор, варто робити не менш двох разів у зміну. Крім того, необхідно перевіряти температуру стрижня електропаяльника при його заміні або заточенні;

ж) робоча поверхня монтажного столу повинна бути покрита антистатичним матеріалом, монтажний стіл і стрижень електропаяльника повинні бути заземлені, виконавець монтажу повинен бути з'єднаний з ланцюгом заземлення за допомогою антистатичного браслета, закріпленого на руці;

з) перед початком роботи виконавці зобов'язані вивчити технологічний процес на виконувану роботу і до роботи приступати в технологічному одязі;

і) технологічні матеріали (припій, флюс, рідина для очищення), застосовувані при монтажі вузлів на ДП, повинні бути з числа дозволених до застосування;

к) флюси, клеї, маркувальні фарби, лаки (далі матеріали) повинні мати сертифікати (етикетки) і надходити на робоче місце в закритій тарі в необхідній кількості, яка забезпечує роботу протягом зміни. На сертифікаті повинні бути зазначені найменування і позначення матеріалу, підпис виконавця. Сертифікат варто зберігати протягом усього часу роботи з матеріалами;

л) комплектуючі вироби в процесі виробництва ТЗА варто зберігати та транспортувати в технологічній тарі, що

виключає механічні ушкодження, забруднення, зміну властивостей і характеристик виробів;

м) комплектуючі вироби (покупні і власного виготовлення) повинні відповідати вимогам стандартів, технічних умов на них і мати супровідні документи з вказівкою термінів зберігання (паспорта, сертифікати якості);

н) ДП повинні відповідати вимогам стандартів, технічних умов і конструкторської документації. ДП повинні надходити на монтаж після виготовлення не пізніше термінів, зазначених у технічних умовах на них;

о) збереження флюсів на робочих місцях робити в тарі, яка щільно закривається кришкою, виготовленою з небитких матеріалів, які виключають іскроутворення і нагромадження статичної електрики. Допускається зберігати на робочих місцях не корозійні каніфольні флюси в алюмінієвій тарі терміном не більш однієї зміни;

п) флюси необхідно перевіряти на електричну провідність.

При виконанні усіх вимог можна приступати безпосередньо до монтажу вузлів на ДП.

Паяння навісних елементів здійснюється по мірі їхньої установки в монтажні отвори плати. Кінці виводів навісних елементів перед паянням обрізають гострозубцями таким чином, щоб частина виводу, яка залишилася, виступала на нижній поверхні плати на величину 0,5-0,8 мм, але не більш. Для підвищення продуктивності ручного паяння навісні елементи можуть бути заздалегідь підготовлені і встановлені в монтажні отвори плати і закріплені в них шляхом підгинання виводів.

Основним робочим інструментом ручного паяння є електропаяльник. Типи електропаяльників і їх характеристики наведено в табл. 3.8. Форми заточення паяльних жал (стрижнів) показано на рис. 3.20.

Штирьові виводи мікросхем упуюють у металізовані отвори плати, а планарні виводи з'єднуються з контактними площадками паянням внахлист чи встик. Паяння мікросхем зі штирьовими виводами здійснюється без підгинання виводів.

Паяння мікросхем із планарними виводами – після приклеювання корпусів мікросхем до поверхні плати.

Ручне паяння виконується у певній послідовності з використанням спеціального технологічного оснащення. Плата з розміщеними і закріпленими на ній навісними елементами встановлюється в пристосування в положенні, зручному для паяння.

Таблиця 3.8 – Типи паяльників і їхні характеристики

Найменування, тип електропаяльника	Позначення	Номінальна споживча потужність, Вт	Час розігріву до 250 °С, хв., не більше
Електропаяльники безперервного нагріву	ЕПЦН	10; 16; 25; 40; 65; 80	3,0
	ЕПСН		5,0
	ЕПСНТ		6,0
	ЕПЦН	100	6,0
Електропаяльники безперервного нагріву	ЕПЦНТ	160; 200; 250	10,0
	ЕПСН		
	ЕПСНТ		
Електропаяльники форсованого нагріву	ЕПСФ	40/20; 100/50; 250/125	1,0
Електропаяльники імпульсного нагріву	ЕПСИ	40; 50; 65	0,15

Примітка: У чисельнику зазначено первісну потужність, за якої електропаяльник розігрівається до робочого режиму, цифри в знаменнику – номінальна потужність для підтримки необхідної температури паяльного стрижня.

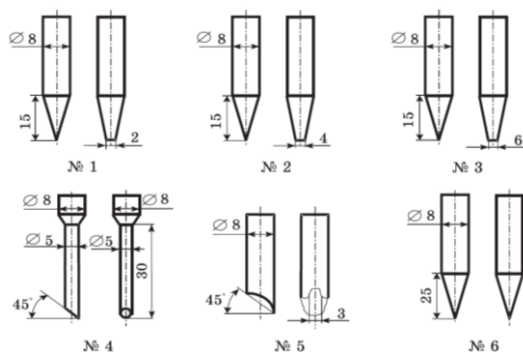
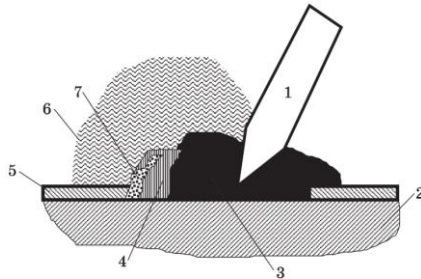


Рисунок 3.20 – Форми заточення паяльних жал уніфікованого ряду

Схему процесу лудіння і паяння електропаяльником наведено на рис. 3.21.



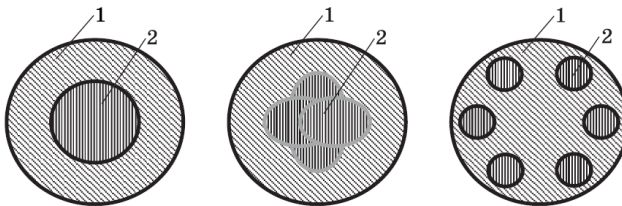
1 – метал; 2 – жало паяльника; 3 – припій; 4 – флюс; 5 – газоподібний флюс;
6 – окисел; 7 – розчинений окисел

Рисунок 3.21 – Схема процесу лудіння та паяння паяльником

Місця паянь обробляються флюсом і дають йому підсохнути.

При цьому виключається попадання флюсу на корпуси мікросхем і ЕК. Місце паяння прогрівають паяльником настільки, щоб припій легко розтікався і заповнював монтажні отвори.

Щоб уникнути здуття і відшаровування друкованих провідників не допускається перегрів місць паяння. В момент паяння припій подають у необхідній дозі в монтажний отвір або на планарні виводи, розташовані на контактних площадках. Припій подається у вигляді дроту або трубок (трубчасті припої). Форми перетинів трубчастих припоїв наведено на рис. 3.22.



1 – тіло припою (трубка); 2 – флюс

Рисунок 3.22 – Форми перетину трубчастих припоїв

Нагрівання місця паяння роблять до повного заповнення металізованого отвору або облуженої контактної площадки. Час нагрівання (паяння) – не більше 3 с. Кількість припою, який вводиться в зону паяння, повинна бути мінімальною, щоб уникнути появи перемичок, бурульок, напливів, але достатньою, щоб забезпечити надійне з'єднання.

На рис. 3.23 і 3.24 представлено форми паяних з'єднань, найбільш характерних для монтажного паяння.

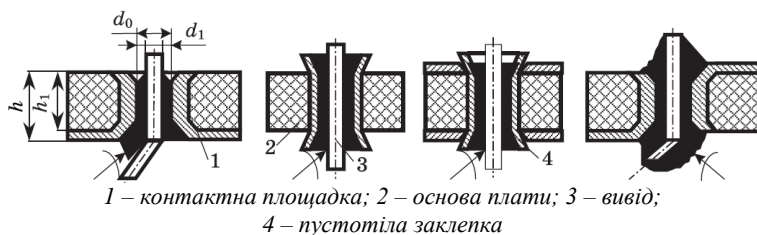


Рисунок 3.23 – Форма паяних з'єднань у металізованих отворах ДП

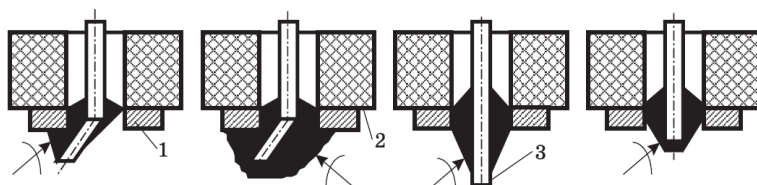


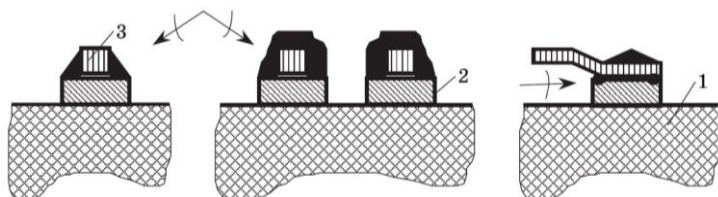
Рисунок 3.24 – Форма паяних з'єднань у неметалізованих отворах ДП

Для монтажного паяння вузлів на ДП найчастіше застосовують електропаяльники потужністю 25-60 Вт. Робоча частина наконечника електропаяльника повинна бути ретельно зачищена і полуджена припоєм.

Температура нагрівання жала паяльника 280-300 °С. Паяння полягає в короткочасному (1-2 с) дотику наконечника до кінця виводу з одночасною подачею дози припою. Паяльник варто

відняти відразу ж після розплавлення припою і заповнення ним монтажного металізованого отвору або зазору між планарним виводом і контактною площадкою плати.

Форми паяних з'єднань планарних виводів навісних елементів з контактними площадками ДП представлено на рис. 3.25.



1 – основа плати; 2 – контактна площадка; 3 – планарний вивід

Рисунок 3.25 – Форми паяних з'єднань планарних виводів навісних елементів з контактними площадками ДП

При паянні електропаяльником дуже важливим є прийняття положення жала паяльника по відношенню до контакту, що паяється (рис. 3.26).

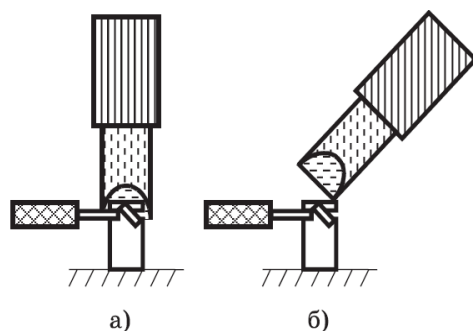


Рисунок 3.26 – Положення паяльника при паянні:
а – правильне; б – неправильне

У процесі монтажу повинна виконуватися температурна умова паяння:

$$t_1 > t_2 > t_3 > t_4, \quad (3.15)$$

де t_1 – температура початку плавлення (точка солідуса) матеріалу деталей, °С;

t_2 – температура нагрівання деталей при паянні чи температура паяння, °С;

t_3 – температура початку плавлення (точки солідуса) припою, °С;

t_4 – робоча температура паяного з'єднання при експлуатації, °С.

Величини, що входять у формулу (3.15) можуть бути визначені за формулами

$$\left. \begin{aligned} t_1 &= t_2 + \Delta t_1; \\ t_2 &= t_3 + \Delta t_2 + \Delta t_3; \\ t_3 &= t_4 + \Delta t_4; \end{aligned} \right\}, \quad (3.16)$$

де Δt_1 – перевищення температури початку плавлення матеріалу над температурою паяння, необхідне з умови збереження форми деталі при нагріванні в процесі паяння, °С;

Δt_2 – технологічний фактор, що враховує необхідність нагрівання розплавленого припою вище точки ліквідусу для кращого змочування металу, який паяється, і затікання в зазори між поверхнями, які з'єднуються, °С;

Δt_3 – інтервал кристалізації припою, тобто різниця між температурами ліквідусу та солідусу припою, °С;

Δt_4 – мінімальний температурний запас працездатності припою, °С.

Після монтажу ЕК на ДП, вироби піддаються очищенню одним з відомих способів, але, як правило, при ручному паянні очищення паяних з'єднань здійснюється протиранням спирто-бензиновою сумішшю.

Якість паяння перевіряють зовнішнім оглядом. Паяні з'єднання повинні відповідати наступним вимогам: припій повинен надійно покривати загнуті кінці виводів і заповнювати металізовані отвори; не допускається утворення перемичок між друкованими провідниками; наплив припою в місцях паяння не повинен перевищувати 1 мм; не повинне мати місце облуження друкованих провідників, спучування й обриви; припій не повинен виступати на верхній стороні плати; паяні з'єднання повинні бути чистими, гладкими і блискучими; на платі не повинно бути залишків флюсу.

Міцність паяних з'єднань перевіряють на відрив за допомогою спеціальних пристроїв.

На міцність паяних з'єднань впливають температура і час паяння.

Графік залежності міцності паяних з'єднань від температури паяння наведено на рис. 3.27.

Характер кривої графіка залежності міцності з'єднання від часу паяння аналогічний графіку залежності міцності від температури.

Максимальна міцність паяного з'єднання має місце при часі паяння 1,5 с.

При ручному паянні напівпровідникових приладів необхідно застосовувати тепловідводи. У якості тепловідвода можна використовувати пінцет або спеціалізований затиск із мідними наконечниками. Тепловідвід знімають через 10-15 с після закінчення паяння.

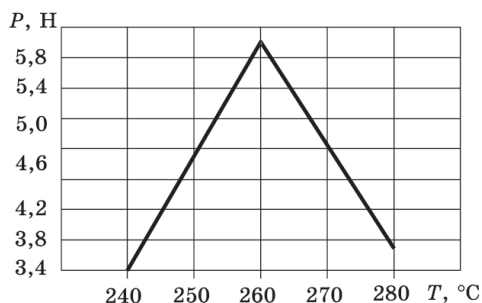


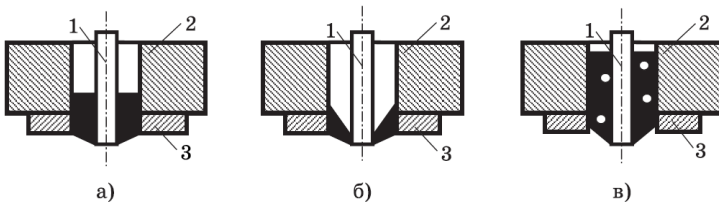
Рисунок 3.27 – Залежність міцності паяних з'єднань від температури паяння

Для паяння мікросхем рекомендують малопотужні електропаяльники 4, 6, 12, 18 Вт, що виключають перегрів ІС; для друкованого монтажу 25, 30, 35, 40, 50 і 60 Вт; при проводовому (джгутовому) монтажі 50, 60, 75, 90, 100 і 120 Вт.

Як матеріал для осердь електропаяльників застосовують мідь через її високу теплопровідність. Однак довговічність таких стрижнів незначна, унаслідок хімічної взаємодії з розплавленим припоєм і флюсом, окислювання киснем повітря і структурних змін (700-1000) пайок, після чого їх перезаточують. Нанесення на жало паяльника шару (≈ 100 мкм) нікелю підвищує їх довговічність (період між заточеннями) до 1500-2000 пайок.

Незважаючи на міри, які здійснюються для забезпечення якості паяних з'єднань, у практиці монтажних робіт мають місце дефекти монтажних з'єднань. Найбільш характерні дефекти паяних з'єднань наведено на рис. 3.28.

Як правило, причинами появи дефектів у паяних з'єднаннях є – порушення технологічної дисципліни, відхилення від вимог технічних умов на складання і монтаж.



*а) – неповне заповнення припоєм; б) – погане змочування припоєм;
в) – великі пори й усадочні раковини; 1 – вивід; 2 – контактний майданчик; 3 – основа друкованої плати*

Рисунок 3.28 – Характерні дефекти паяних з'єднань

3.9 Автоматизовані методи паяння ЕК на ДП

Механізоване паяння застосовується в умовах серійного, багатосерійного та масового виробництва. Для механізованого паяння характерна групова технологія.

До переваг групового механізованого паяння можна віднести:

- високий рівень механізації й автоматизації;
- ідентичність умов монтажу для всіх контактних точок (місць) паяння;
- високу продуктивність;
- стабільність підтримування режимів паяння;
- високу технологічну й експлуатаційну надійність з'єднань.

До недоліків групового паяння варто віднести:

- необхідність розробки комплексу заходів, які виключають вплив термоудару на виріб, який паяється;
- можливість паяння плат тільки з одностороннім розміщенням навісних елементів;
- підвищені вимоги до однорідності підготовки поверхні до паяння виводів ЕК;
- складність відмивання вузлів від більш активного флюсу, ніж під час ручного паяння, особливо вузлів на ДП, виконаних за технологією поверхневого монтажу.

У виробництві знаходять застосування різні способи механізованого паяння, але найбільш широке застосування знайшли:

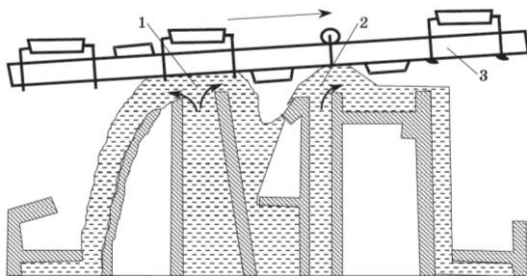
- паяння хвилею припою;
- паяння груповим паяльником;
- лазерне паяння;
- парофазне паяння (для вузлів, виконаних на компонентах поверхневого монтажу).

Паяння хвилею припою полягає в тому, що під час безупинного руху ДП над хвилею розплавленого припою послідовно пропадають всі монтажні з'єднання (рис. 3.29), при цьому одночасно паяється група з'єднань, розміри яких залежать від ширини хвилі припою. Продуктивність процесу залежить від швидкості руху ДП і їх розмірів.

Основними параметрами паяння хвилею припою є:

- швидкість руху конвеєра (0,8-1,2 м/хв);
- швидкість витікання припою із сопла (підбирається дослідним шляхом);
- температура припою;

– ширина смуги розтікання припою по ДП.



1 – турбулентна хвиля; 2 – ламінарна хвиля; 3 – ДП з ЕК

Рисунок 3.29 – Схема паяння хвилею припою

Прикладом обладнання для паяння ЕК на ДП хвилею припою є установка Vitronics Soltec Delta X (рис. 3.30). Її особливостями є:

- використання титанового тигля;
- моторизоване регулювання ширини конвеєра;
- підігрів з примусовою конвекцією знизу та згори;
- подача флюсу з регульованим тиском з кроковим двигуном для точного та відтворюваного нанесення;
- можливість регулювання висоти припою;
- подвійне розпилувальне сопло з можливістю вибору резервуара для флюсу;
- запатентована опція SmartWave, що придатна для паяння як КМП, так і КМО.



Рисунок 3.30 – Установка Vitronics Soltec Delta X для паяння хвилею припою

Установка ПВ-2 (рис. 3.31) являє собою компактну машину хвильового паяння як КМО, так і КМП на одношарові або багатшарові ДП. Її основні характеристики:

- середня продуктивність – 100 плат (розміром 200 × 200 мм) на годину;
- автоматична система пінного флюсування;
- робоча ширина хвилі – 200 мм;
- малий час нагрівання до робочого режиму – 60 хв;
- кількість припою, що завантажується, – 35 кг;



Рисунок 3.31 – Установка для паяння хвилею припою ПВ-2

- регульовані висота припою, кут і швидкість конвеєра;
- керування та програмування режимів роботи здійснюється з електронної панелі керування з екраном тачскрін;
- контроль режимів роботи, захист і блокування від некоректних дій;
- зберігання в пам'яті до 10 різних програм паяння;
- зручне технічне обслуговування завдяки доступу з чотирьох сторін;

Системи паяння хвилею припою ATF 13, ATF 23, ATF 33, ATF 43 компанії ДИПОЛЬ (рис. 3.32) є конвеєрними системами та можуть швидко вбудовуватися в конвеєрні лінії. Тим самим, забезпечується висока гнучкість виробничого процесу.

Усі установки ATF для паяння хвилею оснащено двома типами хвиль: чип-хвиля та лямбда-хвиля, – з мінімальною відстанню для зменшення шлакоутворення й остигання плат у

процесі паяння. Попередній підігрів здійснюється за допомогою ІЧ-нагрівачів із можливістю додавання модуля конвекції. Зона флюсувача являє собою пінний флюсувач із можливістю заміни на спрей-флюсувач з одною або двома головками розпилення.



Рисунок 3.32 – Установка для паяння хвилею припою ATF

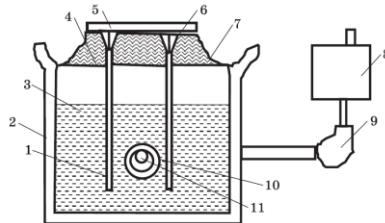
У зв'язку з переходом на безсвинцову технологію паяння устаткування ATF о оснащено новими технологічними рішеннями для усунення негативних аспектів використання безсвинцових матеріалів: спрей-флюсувач, потужніше попереднє нагрівання, спеціальне керамічне покриття ванни, насосів і сполучних шлангів, підведення азоту в область паяння.

Керування устаткуванням здійснюється за допомогою мікропроцесорної системи. Головний дисплей має основні функціональні клавіші із графічним позначенням, що робить керування системою інтуїтивно зрозумілим. Основна та поточна інформація висвічується на РК-моніторі. Існує можливість збереження до 99 профілів паяння та можливість керування робочими процесами за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, а також збереження та виведення на друк документації технологічного процесу.

Під час паяння хвилею припою флюси застосовують тільки рідкі, активовані. Флюсування при цьому є більш рясним, ніж у процесі ручного паяння, і воно може бути виконане одним з наступних способів: пінним, хвильовим і струминним.

Піна створюється під час пропускання через рідкий флюс стисненого повітря (барботування). Висота піни сягає до 15 мм. Схему пінного флюсування наведено на рис. 3.33. Спосіб знаходить широке застосування внаслідок простоти створення хмари піни.

Недолік способу – швидке загустіння флюсів унаслідок зникнення розчинника з піни та повільне заповнення ним отворів ДП на швидкості руху конвеєра більше 3 м/хв.

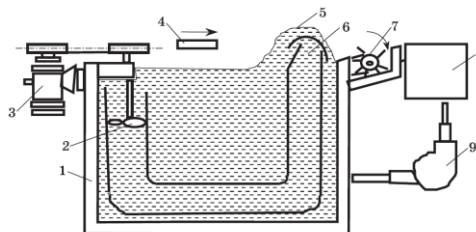


1 – внутрішній резервуар; 2 – зовнішній резервуар; 3 – флюс; 4 – сітка;
5 – ДП; 6 – вертикальні щітки; 7 – піна флюсу; 8 – бак; 9 – насос;
10 – спінувальний елемент; 11 – магістраль стисненого повітря

Рисунок 3.33 – Схема устаткування для нанесення флюсів спінюванням

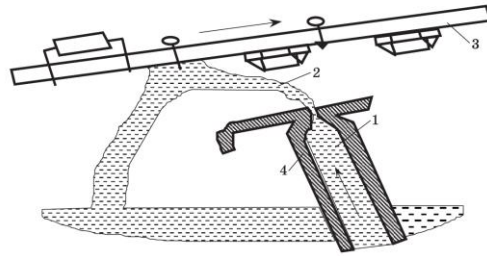
Схему устаткування хвильового флюсування наведено на рис. 3.34. Ця установка забезпечує більш якісне флюсування за рахунок тиску хвилі флюсу на ДП і сприяє кращому проникненню флюсу у монтажні отвори.

На рис. 3.35 наведено схему устаткування струминної подачі флюсу до ДП. Устаткування забезпечує високу продуктивність, регулювання тиску та висоту підйому струменя, краще проникнення флюсу в отвори ДП і паяні зазори. Недолік – напливи та великі витрати флюсу.



1 – ванна; 2 – крильчатка; 3 – електродвигун; 4 – ДП; 5 – хвиля флюсу; 6 – хвилювальний апарат; 7 – щітки; 8 – резервуар; 9 – насос

Рисунок 3.34 – Схема устаткування хвильового флюсування



1 – флюс; 2 – реактивний струмінь флюсу;
3 – ДП з ЕК; 4 – форсунка

Рисунок 3.35 – Схема устаткування струминного флюсування

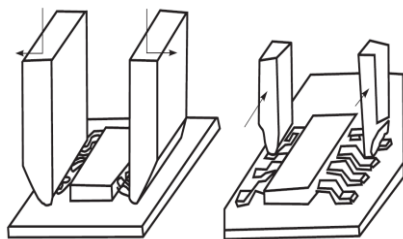
Підсушування флюсу перед паянням у сполученні з попереднім підігрівом багато в чому визначають якість паяних з'єднань. До складу флюсу, крім активних речовин, входить який-небудь розчинник. Найчастіше це спирт або вода, температура кипіння відповідно 80 °С і 100 °С. Якщо флюсувальний склад знаходиться на поверхні ДП у рідкому стані, то під час зіткнення з розплавленим припоєм за температури 230-250 °С відбувається його бурхливе кипіння з утворенням значної кількості газів і парів. Останні відтискають рідкий припій від місць паяння або утворюють парові пухирі, які призводять до пористості з'єднань. Тому у процесі підсушування флюсу необхідно домагатися повного випарювання розчинника із флюсувального складу. Таке завдання вирішується нагріванням нижньої поверхні плат до температури 85 °С, якщо розчинником є спирт, і до 100 °С, якщо розчинником слугує вода.

Крім того, у результаті попереднього нагрівання ДП перед паянням (до 90-100 °С) зменшується тепловий удар у момент зіткнення з розплавленим припоєм.

Підігрів може здійснюватися різними способами, але найбільш ефективним є нагрівання ІЧ-випромінюванням.

Паяння груповим паяльником інтегральних схем із планарними виводами є найбільш ефективним способом, як за продуктивністю, так і за якістю паяних з'єднань. При цьому

способі один чи два паяльники паяють одночасно усі виводи мікросхеми (рис. 3.36).



а – одночасно усі виводи; б – послідовно групами виводів

Рисунок 3.36 – Схема паяння планарних виводів ІС груповими паяльниками

Подача припою під час паяння планарних виводів забезпечується якісним лудінням, як виводів, так і контактних площинок; автоматизованою подачею в зону паяння трубчастого припою чи напресовуванням смужок припою на виводи перед встановленням ІС на ДП.

За умови використання цього способу паяння потрібно мати на увазі, що збільшення кількості виводів, які одночасно паяються, до 16-20 призводить до зниження якості паяних з'єднань, через різну товщину планарних виводів.

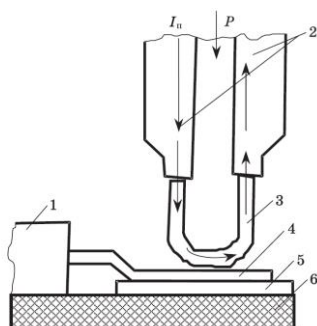
Для монтажу ІС із планарними виводами застосовують також паяння імпульсними груповими паяльниками. Паяльники виготовляють з матеріалу, що не змочується, і нагрівають пропусканням через них імпульсів струму. Необхідна доза припою наноситься на контактні площинки заздалегідь. Основна перевага цього способу – це швидке нагрівання місця паяння. Час паяння – 0,1-0,4 с.

Схему імпульсного паяння наведено на рис. 3.37.

Лазерне паяння. Паяння розплавлюванням дози припою (нанесеного заздалегідь) за допомогою лазерного променя має певні особливості. Так, усі місця з'єднань виводів ІС із ДП прогріваються послідовно. Перевагою лазерного паяння є те, що пучок лазерної енергії добре фокусується (діаметр плями 25 мкм), тому даний спосіб є особливо

ефективним для паяння термочутливих елементів і елементів із малим кроком виводів (0,635; 1,27 мм).

Безконтактність прикладання теплової енергії дозволяє підвищити швидкість монтажу до 10 з'єднань на секунду та наблизитися за продуктивністю до групового паяння, наприклад до паяння в паровій фазі та ІЧ-випромінюванням. Під час паяння ДП та корпуси ЕК практично не нагріваються. У зв'язку зі швидкоплинністю процесу паяння та локалізації теплової енергії різко знижуються температурні впливи на основу ДП і виводи ЕК. Вибір матеріалу основи плати не є критичним.



1 – мікросхема; 2 – утримувач електродів; 3 – U-образний електрод;
4 – вивід інтегральної мікросхеми; 5 – друкований провідник;
6 – матеріал основи. I_n – струм паяння, P – тиск електродів

Рисунок 3.37 – Схема паяння плавленням за допомогою U-подібного електрода

За умови використання лазерного паяння відпадає необхідність у попередньому нагріванні ДП.

Сучасне лазерне устаткування складається з випромінювальної голівки (ВГ), блоку живлення, системи охолодження, системи керування та пристроїв, що забезпечують безпеку роботи. Схему устаткування лазерного паяння наведено на рис. 3.38.

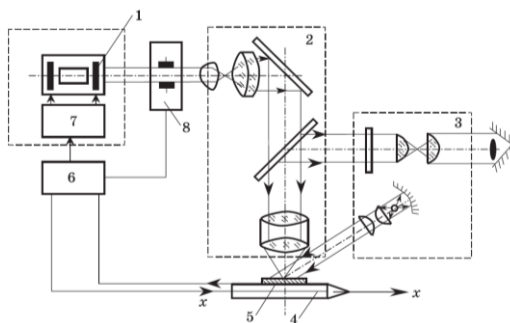
Паяння може виконуватися як із застосуванням флюсу, так і без нього, що важливо для ДП, оскільки виключається шкідливий вплив очисних рідин.

Устаткування для лазерного паяння має відповідати наступним вимогам:

– устаткування має забезпечувати монтаж компонентів різних видів, незалежно від їхніх розмірів, маси, форми та кута встановлення на ДП;

– паяння має вестися одночасно двома променями для запобігання зсуву ЕК відносно контактної площинки;

– кожен промінь має програмуватися незалежно один від одного, що забезпечує паяння асиметричних ЕК.



1 – ВГ; 2 – робочий канал; 3 – візуальний канал; 4 – пристрій для закріплення та переміщення об'єкта; 5 – оброблюваний об'єкт; 6 – пристрій керування; 7 – джерело живлення; 8 – система охолодження

Рисунок 3.38 – Схема лазерної технологічної установки паяння

На рис. 3.39 наведено систему лазерного паяння FireFly B60 NEXT, яка призначена для селективного паяння компонентів, чутливих до температури, паяння КМО, КМП, планарних мікросхем виробництва, компонентів нестандартної форми, з'єднувачів на гнучких платах.



*Рисунок 3.39 – Лазерна технологічна установка паяння
FireFly B60 NEXT*

В установці FireFly B60 NEXT процес паяння здійснюється за допомогою лазера. Нагрівання області паяного з'єднання здійснюється локально з регульованою інтенсивністю, що запобігає пошкодженню як паяного компонента, так і сусідніх чутливих до температури ЕК. Паяння відбувається з нижньої сторони плати.

Особливостями такої установки є:

- безперервний контроль температури у точці паяння на базі високошвидкісного пірометра зі зворотним зв'язком;
- точне відстеження температури в області паяного з'єднання забезпечує високу якість паяння та повторюваність процесу;
- відсутність потреби у маскуванні ЕК і застосуванні азотної атмосфери;
- програмно регульована орієнтація робочих органів забезпечує високу гнучкість для роботи з будь-якими додатками;
- конвеєрна система, може вбудовуватися в технологічну лінію;
- швидке технологічне перемикання між свинцевою та безсвинцевою технологіями;
- контроль кривизни ДП;
- конвекційне попереднє нагрівання;
- середня швидкість переміщення паяльної головки: 500 см/с;
- роздільна здатність позиціонування: $\pm 3,5$ мкм;

- оптоволоконний лазер із діодним накачуванням, розмір плями: від 0,4 до 4,5 мм, максимальна потужність: 60 Вт;
- швидкість паяння: 0,8-1,2 с/точка;
- дротяний припій діаметром 0,5 мм, 0,75 мм, 1 мм.

Парофазне паяння. Цей спосіб паяння базується на використанні для нагрівання виробів, що паяються, схованої теплоти конденсації парів інертної термостійкої рідини. Спосіб дозволяє здійснювати групове паяння елементів у безкисневому, непальному середовищі, з контрольованими умовами нагрівання. Важливою особливістю способу є практично повна незалежність нагрівання від геометричної форми та розмірів виробу. Спосіб дозволяє здійснювати паяння ДП із двостороннім встановленням ЕК.

Паяння в паровій фазі набуло широкого застосування у виробництві засобів ТКРТ, створюваних із використанням елементної бази та технології поверхневого монтажу.

Основні переваги способу:

- температура паяння контролюється самим процесом і є найбільш прийнятною для ДП з ЕК для поверхневого монтажу;
- процес паяння є чистим, оскільки у взаємодію з елементами вступає дистильована рідина;
- рідина під час випарювання не залишає слідів на ДП;
- рідина та її пари не викликають ушкоджень ЕК;
- не спостерігається окислювання паяних з'єднань.

Процес паяння полягає у пропусненні ДП з ЕК через зону насиченої пари з певною температурою. Насичена пара виходить під час кипіння фторорганічних рідин за температурі, що перевищує температуру плавлення припою на декілька десятків градусів.

На ДП, призначені для паяння в парофазних установках, попередньо наносять припій у вигляді паяльної пасти.

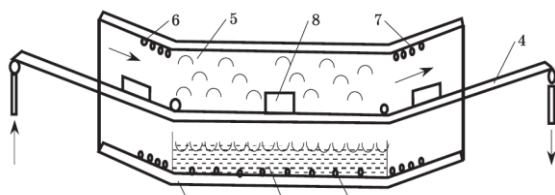
У парофазних установках основним носієм тепла є рідини-теплоносії. До рідин висувають такі вимоги: хімічна інертність; температурна стабільність; стійкість до окислювання; низька в'язкість; гарне змочування; низький поверхневий натяг; негорючість; легка випаровуваність та ін.

Зазначеним вимогам задовольняють фторорганічні рідини на основі з'єднань: перфторовуглеродних, перфтортріаміламінічних, перфторфенатрених, фторполіефірних.

На практиці розроблено велику кількість типів рідин-теплоносіїв. Рідину-теплоносієм характеризують три параметри: теплота пароутворення, питома теплоємність і теплопровідність, з урахуванням яких вибирається тип рідини.

Для паяння виробів у паровій фазі застосовуються два типи устаткування: періодичної та безперервної дії.

На рис. 3.40 наведено схему устаткування безперервної дії. ДП за допомогою конвеєра проходить через робочу зону устаткування з певною швидкістю (підбирається досліdnим шляхом), що забезпечує прогрівання плати та повне розплавлення паяльної пасти.



- 1 – корпус; 2 – нагрівач; 3 – рідкий теплоносієм; 4 – стрічка конвеєра;
5 – робоча пара; 6 – контур охолодження;
7 – контур охолодження; 8 – ДП

Рисунок 3.40 – Схема устаткування паяння в паровій фазі безперервної дії

Після введення ДП у робочу зону відбувається швидке (протягом декількох секунд), зростання температури з 25 °С до точки кипіння рідини-теплоносія. Швидкість зростання температури досягає 20-25 °С/с, що становить певну небезпеку для керамічних конденсаторів (розтріскування корпусів). Це викликає необхідність попереднього прогрівання плат до 80-120 °С.

Під час роботи на устаткуванні парофазного паяння необхідно дотримуватися прийнятих вимог техніки безпеки, передбачених санітарними нормами.

На рис. 3.41 наведено систему парофазного паяння Asscon VP1000. Такі установки застосовуються для оплавлення паяльної пасти на ДП в паровій фазі в умовах дрібносерійного виробництва.



Рисунок 3.41 – Установка Asscon VP800 для парофазного паяння

Усі системи компанії Asscon мають такі відмінні риси:

- паяння в інертному середовищі: відсутність кисню в зоні попереднього нагрівання та в зоні оплавлення;
- повна придатність для роботи за безсвинцевою технологією;
- переналагодження з виробу на виріб без необхідності зміни робочої рідини-теплоносія;
- управління градієнтом температури;
- автоматичне визначення закінчення процесу паяння;
- можливість візуального спостереження за процесом оплавлення припою;
- автоматична ідентифікація рідини.

Використання цих систем виключає можливість перегріву компонентів, забезпечує високу якість паяних з'єднань.

Поряд з парофазним паянням знаходить широке застосування паяння ІЧ-випромінюванням. Цей спосіб є продуктивним, економічним, не забруднює навколишнє середовище. Оплавлення паяльної пасти здійснюється кварцовими лампами або терморадіаційними панелями.

3.10 Технологія поверхневого монтажу

З аналізу стану і перспектив розвитку ТЗА випливає, що найбільш перспективним напрямком за останні роки стало виробництво електронних засобів за технологією **поверхневого монтажу** (ПМ). Цей напрямок виник завдяки появі принципово нових видів компонентів, що монтуються на поверхню друкованої плати. Поверхневий монтаж вирішує багато проблем в області конструювання і технології виготовлення ТЗА, але, поряд з цим, і сам створює ряд специфічних проблем, рішенням яких зайняті провідні закордонні і вітчизняні фірми і підприємства.

Найважливішою перевагою ПМ є те, що він дозволяє більш повно автоматизувати процес складання і монтажу (ступінь автоматизації всього процесу досягає 95 %). У конструктивному плані також мають місце ряд переваг, характерних для технології поверхневого монтажу (ТПМ), таких як: економія площі монтажної підкладки на 30-40 %; підвищення щільності компонування в 10-20 разів; зниження масогабаритних параметрів у 2-3 рази; підвищення завадозахищеності від електромагнітних завад (через зменшення довжини сигнальних шин).

У технологічному плані переваги ТПМ виявляються в наступному: можливість широкого використання автоматизованого й автоматичного устаткування для виробництва виробів; підвищення ефективності використання виробничих площ; зниження капітальних витрат; зниження витрат на матеріали; зменшення трудових витрат; виключення попередньої підготовки компонентів і відповідного устаткування; підвищення якості виробів; підвищення продуктивності праці.

Усе це обумовлює одне з ведучих місць ТПМ у загальному виробництві ТЗА і підтверджує важливість значення всебічного освоєння ТПМ.

Однак слід зазначити, що не усі з цих переваг можуть бути реалізовані сьогодні. Частина з них може виявитися досяжною тільки при наявності достатнього рівня

технологічного оснащення і це потрібно мати на увазі фахівцям при освоєнні ТПМ.

Фахівці ряду провідних фірм відзначають перше і найбільш важливе, що потрібно зробити при освоєнні ТПМ – це провести структурну реорганізацію підрозділів, перебороти бар'єри між розроблювачами і виготовлювачами (підрозділи повинні співробітничати один з одним і прямувати до єдиної мети – створення високоякісного, технологічного виробу).

Принципово важливою особливістю ПМ є облік вимог технології на етапі проектування.

Поверхневий монтаж має свої певні конструктивно-технологічні особливості, що і визначають його як новий напрямок у виробництві ТЗА.

До числа конструктивних особливостей належать:

- а) використання безвивідних компонентів (чіп-компонентів) чи ЕК з малими виводами;
- б) використання спеціальних комутаційних плат;
- в) малі масогабаритні показники, що беруть участь у складанні компонентів, плат, усіх допоміжних елементів;
- г) висока щільність компонування КПМ на платі;
- д) тверді допуски на всі геометричні параметри;
- е) висока технологічність всіх елементів зборок;
- ж) конструктивне забезпечення можливості застосувати єдину технологію складання на платі;
- з) функціонально-вузловий принцип конструювання.

Технологічними особливостями ПМ є: групова технологія виробництва виробів; високий рівень автоматизації процесу виготовлення виробів; висока продуктивність праці; висока якість продукції.

Конструктивні і технологічні особливості, як пристроїв, так і самого поверхневого монтажу, взаємозалежні і взаємовпливові і тому основні задачі виробництва ТЗА можуть бути сформульовані тільки на основі їх конструктивно-технологічного аналізу.

При конструкторсько-технологічному аналізі пристроїв на основі технології ПМ необхідно приділяти особливу увагу їхньому безпосередньому призначенню й умовам експлуатації. Розмаїтість і складність виконуваних ТЗА функцій і умов їхньої

роботи, у значній мірі визначають вимоги конструкції пристроїв і істотно впливають на вибір технології виготовлення елементів і складальних одиниць.

При проектуванні технологічних процесів варто передбачати скорочення тривалості і трудомісткості етапу підготовки виробництва, капітальних витрат, чисельності складних і трудомістких операцій, використання мінімальної кількості одиниць устаткування, максимальної кількості стандартних, уніфікованих і типових складальних одиниць і процесів їхнього виготовлення.

Для успішного впровадження технології ПМ необхідна наявність трьох складових: компонентів, придатних для ПМ; автоматів, здатних виконувати поверхневий монтаж; і досвід застосування даної технології.

Економічна доцільність реалізації технології виробництва виробів з поверхневим монтажем залежить від вибору технологічного процесу ТП, технологічного устаткування і якості проектування виробів. У зв'язку з цим рекомендується при освоєнні нової техніки:

а) тісне співробітництво конструкторів, технологів і виготовлювачів з метою найбільш повного обліку особливостей технології на етапі проектування і виготовлення;

б) для виконання складально-монтажних операцій необхідно вибирати кращі технологічні прийоми і режими;

в) здійснювати автоматизацію в розумних межах (тільки на основі техніко-економічних розрахунків) і не забувати про ергономічні фактори;

г) проектовані вироби повинні бути високотехнологічними.

3.11 Технології нанесення паяльних паст

Для нанесення паяльних (припійних) матеріалів методом трафаретного друку через металевий трафарет або для нанесення дозатором розробляються різні варіанти паяльних паст. Паяльні пасти застосовують для паяння компонентів із використанням групових методів нагрівання: інфрачервоного, конвекційного, конденсаційного.

Характеристики паяльних паст у першу чергу визначаються їхнім складом. Паяльні пасти являють собою однорідну суміш дрібнодисперсного порошку матеріалу припою зі сполучною рідкою основою, до якої входить флюс. Вміст порошку припою становить приблизно 88 % від ваги пасти. Склад паст виражають через співвідношення інгредієнтів матеріалу припою.

Висувають такі вимоги до паяльних паст:

- відсутність ефекту комкування припою, який характеризується розбризуванням окремих нерозплавлених часток припою у процесі паяння;
- здатність до капілярного підйому та розтікання;
- відсутність небезпеки корозії за рахунок окислення часток припою;
- нескладне промивання, яке в основному залежить від флюсу;
- однорідність і зручність нанесення;
- гарна тиксотропна характеристика, тобто гарна текучість у процесі трафаретного друку, гарна формостійкість після нанесення;
- достатня клейкість, тобто запобігання сповзанню конструктивних компонентів;
- достатня здатність до зберігання: згущення, втрата в'язкості, можливе окислення;
- постійна підтримка високої якості у процесі постачання.

Іншими параметрами, які можуть вибиратися у відповідності зі специфічними умовами паяння та які частково залежать від постачальників, є: склад припою, флюс, форма та розмір часток, в'язкість, частка вмісту металу, час сушіння.

Американським інститутом друкованих плат (IPC) розроблено стандарт IPC-HDBK-005 (Guide to Solder Paste Assessment) – керівництво з оцінки та застосування паяльних паст. У цьому документі наводяться тестові методи, спрямовані на допомогу у виборі та випробуваннях паяльної пасти, відомості про паяння матеріалів, рекомендації з вибору параметрів процесу нанесення паяльної пасти, результати тестів із виявлення причин появи дефектів під час монтажу компонентів.

Процес нанесення паяльної пасти залежить від великої кількості складових:

- від характеристик устаткування – принтерів, тримачів плат тощо;

- від трафаретів – форми та розмірів отворів, якості стінок отворів, товщини трафарету;

- від параметрів процесу нанесення пасти – швидкості, кута, тиску та твердості ракеля, швидкості відділення трафарету, зазору між трафаретом і платою;

- від властивостей паяльної пасти – розміру часток, об'ємного вмісту металу, в'язкості пасти, рухливості флюсу;

- від параметрів робочого приміщення – температури, вологості, запиленості.

Для додавання потрібних реологічних властивостей до пасти вводять спеціальні в'язкі домішки (тиксотропні агенти, загусники), а для забезпечення потрібної в'язкості вводять розчинники. Комбінація всіх компонентів паст має гарантувати чіткість друку, паяльність, змочуваність, клейкість. У процесі виробництва паяльної пасти спочатку роздільно виготовляються флюс і порошкоподібний припій. Потім обидва компонента змішуються один з одним для утворення паяльної пасти. Залежно від щільності монтажу до складу паяльної пасти може бути введений той чи інший гранулянт припою.

Об'ємна частка припою суттєво впливає на в'язкість, тиксотропність, клейкість, дефектність відбитків у процесі трафаретного друку та утворення кульок припою. Збільшення частки припою у пасті призводить до збільшення її в'язкості.

В'язкість паяльних паст загального призначення лежить у межах 1000...2000 Пс (пуаз). В'язкість паяльної пасти позначається, зокрема, на її розтіканні.

Домішки, які вводять у пасту для додавання їй певної тиксотропності, забезпечують стійкість форм видавлених порцій пасти на контактних майданчиках, що підлягають паянню. Як правило, для цього використовуються воски. Вони також знижують абразивне зношування трафаретів.

Клейкість – здатність пасти втримувати компоненти, навіть якщо вони перебувають на нижній стороні плати. Особливо важливо, щоб компонент утримувався на місці під час переходу пасти у розплавлений стан за рахунок сил поверхневого натягу. На час збереження клейкості в основному впливають розчинники. У зв'язку із цим у пастах можуть використовуватися комбінації з великої різноманітності (до 20) розчинників.

Характеристики часток матеріалу припою у пасті впливають на якість паяного з'єднання. Найбільш важливим параметром є розмір часток припою. Якщо припійна паста наноситься на ДП через сітковий трафарет, рекомендується застосовувати пасту, у якої максимальний розмір часток припою дорівнює половині розміру гнізда трафарету. Так, для шаблонів трафаретного друку з 80 гніздами на дюйм використовують в основному розмір часток 45-75 мкм, а для нанесення найтонших друкованих провідників із використанням тканини з 120 гніздами на дюйм – 20-45 мкм. Для пристрою нанесення дозованого припою за допомогою голки ця величина становить 75-120 мкм.

Розподіл розміру часток прямо впливає на реологію паяльних паст, на друк, на їх розтікання, характер відділення від шаблону, на показники осаду паст і т. д. Потрібний розмір часток слід підбирати за мінімальним кроком між контактними майданчиками та за щільністю компонування.

Форма часток матеріалу припою також впливає на процес трафаретного друку. Частки припою сферичної форми полегшують процес трафаретного друку та дозволяють одержувати гарну відтворюваність ТП від однієї партії виробів до іншої під час формування рисунка паяльної пасти. Сферичні

частки більшого розміру відрізняються кращими співвідношеннями у порівнянні з меншими частками.

Наявність у пасти часток іншої форми може сприяти появі забруднень, що ускладнюють процес друку, і прискоренню процесів окислення матеріалів припою. Пульверизація розплавленого припою, за допомогою якої найбільш просто одержати порошкоподібні припої, утворює частки переважно сферичної форми.

Під в'язкістю розуміють в'язкотекучість пасти. Вона залежить від різних факторів, наприклад, вмісту твердих часток у флюсі, вмісту паяльного порошку, розміру зерен і форми паяльного порошку. Частка вмісту натуральної каніфолі основоположним чином визначає пастоподібний стан паяльної пасти й одночасно відповідає за склеювальну здатність, за рахунок якої компонент утримується на платі до моменту паяння. У тісному взаємозв'язку з в'язкістю перебуває тиксотропна характеристика, це означає, що паста під впливом тиску має характеризуватися більшою текучістю, а після усунення тиску знову має ставати в'язкою та твердою. Таким чином, паста не має розповзатися після завершення трафаретного друку та потрапляти на схему, а зберігатися із чіткими контурами. В'язкість може бути зменшена за допомогою розчинника, який має додаватися по краплях і відповідати рекомендованому виробником типу.

Якщо паяльна паста має недостатню в'язкість, то паста буде розтікатися або «розповзатися», що призведе до втрати точності рисунка, а це, у свою чергу, може послужити причиною утворення кульок припою або перемичок у процесі паяння або крапання на плату з голки дозатора за умови використання дозованого способу нанесення припою. Для зменшення розтікання паяльної пасти по платі рекомендується збільшити процентний вміст порошку припою або змінити хімічний склад флюсу шляхом введення до нього спеціальних в'язких домішок (загущувачів). Але тут потрібно знати міру, оскільки в іншому разі може відбутися закупорювання сопла дозатора або гнізд трафарету.

Характеристики якості паяльних паст проявляються на різних етапах виробництва, як показано у табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Контрольовані характеристики паяльних паст

Етапи ТП	Контрольовані характеристики
1	2
Зберігання	Стабільність властивостей (в'язкість, паяльність тощо)
Друк	<ul style="list-style-type: none"> – тонкий друк із кроком 0,5 мм і надтонкий із кроком 0,4 мм; – час життя після нанесення; – розтікання пасти; – відокремлюваність шаблону; – швидкість друку (нормальна 20-40 мм/с, швидкісна 200 мм/с); – тиксотропний індекс (зміна в'язкості); – заповнення перфорацій у трафаретній формі; – розмазування пасти по шаблону.
Монтаж	<ul style="list-style-type: none"> – час збереження липкості; – клейкість; – стійкість пасти до осідання (розтікання).
Паяння оплавленням	<ul style="list-style-type: none"> – утворення перемичок (короткі замикання); – наявність часток припою у залишках флюсу; – наявність окиснених часток припою у залишках флюсу; – відрив чіп-компонентів (tombstoning); – змочування.
Контроль якості	<ul style="list-style-type: none"> – візуальний контроль чистоти (на залишок флюсу); – контролепридатність.
Чистота відмивання (відмивочні пасти)	<ul style="list-style-type: none"> – візуальний контроль чистоти (на залишок флюсу); – іонне забруднення.

Види паяльних паст. На ринку наявне велике різноманіття паяльних паст, серед них пасти таких виробників як Qualitek, UNIVERSAL, Felder, HERAEUS, ALPHA і т. д. Склад основних компонентів паст – припою та флюсу – повністю відповідає стандартним складам припоїв і флюсів.

Для реалізації складання у технології поверхневого монтажу випускають різні пасти: водорозчинні пасти (ПЛ-111) та спирторозчинні пасти (ПЛ-112, П-312). Крім того, існує багато різновидів паст із різними сполучними складами та з різною температурою паяння.

Ринок пропонує безвідмивочні паяльні пасти, галогеновмісткі паяльні пасти та безгалогенні пасти. У міру

підвищення вимог до технологічності та надійності відбувається відповідна модифікація безвідмивочних паяльних паст, які випускаються.

Галогеномісткі пасти широко застосовуються, наприклад, у Японії. Це обумовлене тим, що ці пасти є більш технологічними у процесі паяння за рахунок більш високої активуючої здатності, але натомість вони поступаються безгалогенним пастам за надійністю ізоляції.

Щоб компенсувати зменшення активуючої здатності через відсутність галогенів у більшості безгалогенних паст як активатор використовують органічні кислоти. Більш слабкі активуючі здатності органічних кислот у порівнянні з галогенами зазвичай компенсують їхньою більшою кількістю у складі паст.

Флюс у складі паяльних паст слугує не тільки для активації металевих поверхонь, видалення з них оксидних плівок і запобігання окисленню припою у процесі паяння, але й забезпечує необхідне розтікання та зміну в'язкості з часом під час нанесення паяльної пасти на ДП.

Флюс має видаляти оксидні плівки з контактуючих металевих поверхонь у процесі паяння. Для ефективного протікання цього процесу дуже важливо правильно вибрати необхідний температурно-часовий режим паяння (температурний профіль). Якщо під час розігрівання плати температура підвищується занадто швидко, то розчинник, який входить до паяльної пасти у складі флюсу, швидко випаровується, що призводить до втрати активності флюсу, нерівномірного розплавлення припою, розкладання або вигорання його компонентів. При цьому розплавлення припою здійснюється нерівномірно, а процес і результат паяння є непередбачуваними. Якщо ж нагрівальний цикл завершений передчасно, то оксидні плівки у місцях паяних з'єднань можуть бути не повністю вилучені, що згодом призведе до руйнування паяного з'єднання.

Більшість паяльних паст базується на флюсі у вигляді смоли, яка підрозділяється на окремі класи:

– чиста натуральна каніфоль із органічними активуючими домішками, що не містять галогенів;

– чиста натуральна каніфоль із домішками органічних активаторів, що забезпечують гарну можливість промивання у спирті або у суміші води та мильного засобу;

– флюс без каніфолі. Залишки можуть розчинятися у воді та мають обов'язково змиватися.

Також приладобудівним підприємствам необхідно враховувати і вимоги екології, сприяючи впровадженню процесів, чистих від шкідливих викидів.

Оскільки основною світовою тенденцією в удосконаленні процесів паяння є відмова від припоїв на основі свинцю, з'являється все більше нових безсвинцевих паяльних паст, прикладами яких можуть бути такі:

– безсвинцева паяльна паста SPu-97/3, призначена для паяння будь-яких металів. До її складу входить універсальний флюс AF-29 (10-15 %), який дозволяє паяти будь-які метали: алюміній, мідь, залізо, нікель, нержавіючу сталь, оцинковані елементи, бронзу, латунь та інші сплави. Під час паяння флюс переходить в електроізоляційний водорозчинний лак, який не потребує змивання. Температура паяння 217-221 °С;

– паяльна паста NEVO PF606 для безсвинцевого паяння, що не потребує відмивання. Залишки флюсу після оплавлення не потребують відмивання. Склад припою: SAC305 (96,5Sn/3,0Ag/0,5Cu);

– паяльна паста Indium 8.9, розроблена спеціально для забезпечення якісного паяння за підвищеної температури такими припоями, як Sn/Ag/Cu, Sn/Ag та іншими сплавами, сумісними з безсвинцевою технологією.

Технології нанесення паяльної паст

Паяльна паста може наноситися за допомогою механічних пристроїв для трафаретного друку (ручний спосіб), за допомогою автоматичних принтерів або ж за допомогою дозаторів.

Дозатори для нанесення паяльних паст. Дозатори – пристрої послідовної обробки, паста наноситься за програмою у певному обсязі на задані ділянки ДП. Дозатори існують як ручні, так і автоматичні.

Прикладом ручного дозатору паяльної пасти може бути дозатор моделі QK982B (фірма SMTmax, США) – диспенсер, сконструйований для нанесення паяльної пасти на контактні майданчики, призначений для використання у дрібносерійному виробництві і для проведення ремонту друкованих модулів (рис. 3.42).

Дозований обсяг паяльної пасти може регулюватися за допомогою встановлення тиску повітря, часу дозування та застосування необхідної насадки. Точність дозування становить $\pm 0,5 \%$.



Рисунок 3.42 – Дозатор паяльної пасти моделі QK982B

Автоматичний дозатор являє собою робочий стіл, на якому кріпиться оброблювана плата. Над робочою зоною переміщується дозатор, який здійснює нанесення матеріалів на плату, для керування використовується персональний комп'ютер.

Ключові параметри дозаторів: швидкість дозування (до 15 тис. точок на годину) і максимальний формат оброблюваної плати (до 450×450 мм). Як і будь-який послідовний процес, такий спосіб нанесення пасти займає набагато більше часу, ніж трафаретний друк. Однак для дозатора не потрібно розробляти та виготовляти трафарет. За малих обсягів виробництва (одиничні плати) для нанесення матеріалів можна застосовувати й ручне дозування.

На рис. 3.43 наведено настільний автоматичний дозатор серії ZXC-DJ300, який призначений для нанесення паяльної пасти, клею, компаунда методом дозування. Для дозування установка використовує пневматичну систему, що дозволяє здійснювати

точне дозування на контактні майданчики шириною 0,6 і більше мм. Виробник пропонує два варіанти виконання: з ремінним приводом і сервоприводом. Останній призначений для більш точного позиціонування дозуючої голівки.

Якщо на виробництві виготовляється велика кількість конструкцій плат за малої їх кількості, то доцільно застосовувати метод дозування, особливо у лабораторному виробництві, оскільки вартість виготовлення трафаретів (по одному на кожену сторону кожного різновиду плат) може виявитися більшою за вартість виготовлення самих плат. У випадку промислового виробництва, навпаки, нанесення матеріалів методом дозування є небажаним через низьку швидкість процесу у порівнянні із трафаретним друком. На багатосерійних виробництвах вартість трафаретів не впливає суттєво на загальні витрати.



Рисунок 3.43 – Автоматичний дозатор ZXC-DJ300

Процес трафаретного друку. У загальному випадку, незалежно від застосовуваного виду обладнання, процес трафаретного друку складається з наступних основних етапів:

- фіксація ДП у робочій зоні (на базові штирі або по торцях), забезпечення підтримки ДП знизу (за допомогою стійок);
- точне суміщення ДП і трафарету;
- видавлювання/нанесення необхідного обсягу паяльної пасти на трафарет;
- нанесення пасти на контактні майданчики (КМ) плати через трафарет за допомогою ракеля;
- контроль якості нанесення пасти;

- зняття ДП;
- очищення трафарету.

Для нанесення паяльної пасти можуть використовуватися ракелі різних конструкцій та з різних матеріалів, у тому числі сталеві або поліуретанові.

Завдання притискання ракеля – забезпечити розподіл пасти уздовж всієї області друку трафарету, правильне кочення валика пасти перед робочою поверхнею ракеля, повне заповнення апертур трафарету, чисту поверхню трафарету після проходження ракеля.

Кут нахилу робочої поверхні ракеля (так званий «кут атаки») знаходиться у діапазоні від 45° до 80° і зазвичай підбирається експериментальним шляхом.

Як правило, металеві ракелі мають кут атаки 60° , полімерні – $45-50^\circ$.

Кут нахилу ракеля 45° застосовують, як правило, для компонентів із кроком меншим за 0,4 мм, при цьому сили, що діють у вертикальному та горизонтальному напрямках, розподіляються рівномірно під час проходження ракеля над трафаретом. Великий кут полегшує кочення валика пасти, малий кут забезпечує більший тиск. Пристрої трафаретного друку забезпечують додаткові налаштування кута нахилу.

Для контактних майданчиків прямокутної форми має значення напрямок руху ракеля: уздовж довгої або короткої сторони, оскільки через захоплення пасти ракелем уздовж однієї зі стінок трафарету залишаються невеликі порожнини. Різний обсяг пасти на різних КМ може призводити до різної висоти припійних стовпчиків після оплавлення паяльної пасти. Це може призводити до дефектів типу «відкрите з'єднання» і як наслідок – відсутності електричного контакту. Для запобігання таким дефектам ракель рухається під кутом 45° до найбільш критичних посадкових місць компонентів.

Тиск ракеля підбирається дослідним шляхом з урахуванням рекомендацій виробника пасти, товщини трафарету та швидкості переміщення ракеля.

Після проходження ракеля трафарет потрібно повністю очищати від залишків паяльної пасти. Наприклад, значення первісного встановлення тиску металевого ракеля становлять

від 0,12 кг (на кожний см довжини ракеля) за швидкості переміщення 50 мм/с до 0,32 кг за швидкості 150 мм/с за температури +23 °С. Збільшення або зменшення робочої температури на 1 °С вимагає пропорційної зміни тиску ракеля на 5 %. Швидкість розділення трафарету із друкованою платою після нанесення паяльної пасти є досить високою – 20 мм/с; для компонентів із малим кроком рекомендується зменшити швидкість до 10 мм/с.

Зазвичай швидкість нанесення пасти знаходиться у діапазоні від 25 до 150 мм/с, хоча багато які з сучасних установок трафаретного друку дозволяють регулювати цю швидкість у діапазоні 5-250 мм/с. Швидкість переміщення ракеля та його зусилля притискання безпосередньо пов'язані між собою. Чим більшою є швидкість, тим вищим має бути зусилля для того, щоб після проходження ракеля на верхній стороні трафарету не залишалося слідів пасти.

Висота розділення трафарету від ДП – відстань, на яку трафарет відводиться від ДП із певною швидкістю після завершення процесу друку. Необхідно витримувати цей параметр із метою формування чітких, непошкоджених відбитків пасти на КМ плати. Початкову висоту відділення рекомендується приймати на рівні 2,5 мм і далі, якщо це потрібно з точки зору часу циклу, зменшувати її, переконуючись у повному відділенні пасти від апертур трафарету. Необхідно враховувати всі можливі чинники, що збільшують це значення, наприклад, прогин плати, її неплотність.

Швидкість розділення трафарету від ДП виставляється одночасно з висотою. В цілому, чим нижчою є швидкість відділення, тим більш якісними та відтворюваними будуть результати нанесення пасти. Рекомендована початкова швидкість становить від 0,25 до 0,50 мм/с, або 10-20 % від максимальної швидкості даної осі обладнання для ЕК із малим кроком виводів і мікроВGA-компонентів; для менш критичних процесів друку – від 0,75 до 1,25 мм/с або 30-50 % від максимальної швидкості даної осі обладнання.

Діапазони допустимих параметрів висоти та швидкості розділення вказуються виробниками паяльних паст у технічних характеристиках.

Після нанесення паяльної пасти на 15-20 друкованих плат рекомендується зробити очищення трафарету з нижньої сторони для запобігання утворенню перемичок і кульок припою у процесі паяння. Для очищення трафарету необхідно використовувати тільки спеціальні матеріали (папір і промивні рідини). Звичайні матеріали гірше вбирають вологу та залишають пил, нитки та ворсинки, які можуть забивати вікна у трафареті та утворювати «містки» між сусідніми контактними майданчиками, утворюючи перемички припою у процесі паяння.

Устаткування для трафаретного друку. Пристрої трафаретного друку можуть бути ручними, напіваавтоматичними та автоматичними. Ручний принтер являє собою порівняно простий пристрій: на металевій рамі закріплюється трафарет, після чого раму кріплять до робочого стола, на якому розташована плата, тиск на ракель здійснюється оператором вручну (рис. 3.44).

Напіваавтоматичні системи розроблені для потреб дрібно- та середньосерійного виробництва. Вони забезпечують рівномірне зусилля притискання ракеля, кут його нахилу, рух ракеля може здійснюватися оператором вручну за напрямними або за допомогою приводу (за допомогою пневмоциліндра або електродвигуна).

Плата може встановлюватися як на базові штирі, так і закріплюватися по торцях, здійснюється вакуумне притискання ДП, для її підтримки використовуються магнітні стійки. Найчастіше операції розподілу пасти шпателем і очищення трафарету також виконуються вручну. Існують моделі напіваавтоматів, оснащених системою технічного зору (СТЗ) для полегшення точного суміщення трафарету та ДП, а також з функцією автоматизованого суміщення по двох осях і куту.



Рисунок 3.44 – Ручний трафаретний принтер SR-2000KM

На рис. 3.45 наведено приклад напівавтоматичного трафаретного принтера – модель SR-2720 фірми TWS Automation.

Принтер SR-2720 має вбудовану систему натягу трафарету, відеосистему суміщення трафарету та плати, а також автоматичний привід ракулів. Управління робочими режимами здійснюється за допомогою сенсорного монітора. Система забезпечує можливість регулювання тиску кожного ракуля, а також швидкості їхнього переміщення. Також у принтері SR-2720 виконується вертикальне роз'єднання трафарету та плати (пневмо-ліфт робочого столу), а також регулювання швидкості цього процесу.



Рисунок 3.45 – Напівавтоматичний трафаретний принтер SR-2720

Багато автоматів оснащені додатковими функціями, такими, як 2D-контроль нанесеної на ДП пасти, контроль закупорювання апертур трафарету, контроль витрати

матеріалів, вакуумне очищення трафаретів тощо. Найбільш точні автомати дозволяють працювати з платами та підкладками для встановлення компонентів CSP, Flip-Chip, мікро-BGA, включаючи встановлення кульок припою. Нанесення пасти у багатьох моделях проводиться у середовищі з контролем температури та вологості, для чого вони оснащені пристроєм охолодження та нагрівачем.

Автоматичний трафаретний принтер повинен мати потужні та жорсткі шасі, стійкі до дії вібрації та коливань температури, оскільки процес нанесення пасти є вельми критичним до непаральності розташування трафарету і ДП, а також траєкторії руху робочої кромки ракеля.

Автомати, як правило, забезпечуються двома ракелями й інструментом для розподілу пасти («flood bar»), мають два вузла кріплення інструменту та, відповідно, мають можливість роботи з установками «ракель/ракель» і «пристрій заповнення/ракель», забезпечуючи режими друк («print»), друк/друк («print/print»), заповнення/друк («flood/print»); друк/заповнення («print / flood»).

Режим «друк» – найбільш поширений спосіб, за якого для нанесення пасти на кожному ДП використовується один прохід ракеля (у прямому напрямку – для першої ДП, у зворотному – для наступної і т. д.). У режимі «друк/друк» і прямий, і зворотний хід ракеля використовується для кожної ДП. У результаті підвищується ймовірність повного заповнення апертур трафарету.

Режим «заповнення/друк» рідко застосовується для поверхневого монтажу (застосовується виключно для трафаретів із частково відкритими апертурами) та знаходить переважне застосування у гібридній плівковій технології. У такому режимі під час першого проходу за допомогою інструменту «flood bar», який рухається на висоті 0,125-0,040 мм над трафаретом, паста розподіляється по трафарету, заповнюючи частково відкриті апертури; під час другого проходу (з додаванням тиску) – продавлюється ракелем через них на поверхню ДП.

У деяких моделях обладнання для першого та другого проходів використовується ідентичне оснащення. Цей режим не

використовується для трафаретів із повністю відкритими апертурами, оскільки у цьому випадку паста після першого проходу потрапляла б через відкриті апертури на поверхню ДП.

У режимі «друк/заповнення» другий прохід використовується для збільшення обсягу пасти, що наноситься на КМ, однак разом із тим створює вакуумний ефект під час подальшого відділення пасти від трафарету, що порушує процес переходу пасти з апертур на КМ плати. Такий режим також переважно використовується для гібридної технології.

Паста надходить на трафарет зі спеціальних картриджів, що мають стандартизовані розміри та об'єм, через визначені користувачем інтервали часу. У деяких моделях реалізується принцип так званої «закритої голівки друку» («enclosed head»), де картридж(і) з пастою, пристрій подачі пасти та ракелі об'єднані в єдиний модуль-голівку.

Завдяки такому об'єднанню паста не взаємодіє з навколишнім середовищем до моменту видавлювання, здійснюється її рівномірне нанесення та дозована витрата, знижуються вимоги до частоти та якості очищення трафаретів. Кожна компанія-виробник обладнання впроваджує свою конструкцію закритої голівки нанесення пасти (наприклад, Rheometric Pump™ від Speedline Technologies (рис. 3.46), ProFlow від DEC Printing Machines Ltd. та ін.).

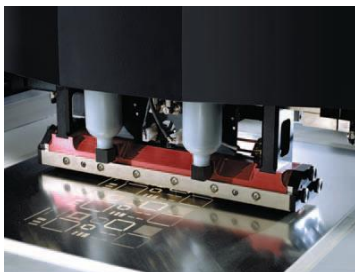


Рисунок 3.46 – Закрита голівка Rheometric Pump™

Для вибору автоматичного обладнання для нанесення пасти слід керуватися нижче вказаними основними параметрами.

З точки зору ДП, електронних компонентів і трафарету це:

- габарити області друку;
- мінімальні та максимальні підтримувані розміри ДП;
- максимальна маса ДП (до 1 кг);
- допустимий зазор між максимально виступаючими ЕК на зворотному боці ДП і елементами конструкції автомата;
- максимальний розмір рами трафарету;
- розміри фіксації ДП за наявності різних пристроїв (вакуумного притискання, базових штирів, притисків по торцях тощо);
- можливість роботи з трафаретами для ЕК з малим кроком виводів, чіп-компонентами малого розміру (0402 і менше), якщо це необхідно;
- наявність СТЗ та її параметри (кількість, розмір і форма знаків суміщення).

З точки зору параметрів процесу друку необхідно враховувати:

- наявність одного/двох ракелів;
- можливість роботи у режимах друк/друк, друк/заповнення; заповнення/друк, якщо є необхідність;
- час циклу друку (як правило, від 4,5 до 14 с плюс час безпосереднього друку);
- довжина робочого ходу ракеля (до 400 мм);
- діапазон швидкостей друку (5-250 мм/с і більше);
- можливість контактного/безконтактного друку, який забезпечував би діапазон зазорів між ДП і трафаретом;
- діапазон задавання зусиль притискання ракеля, крок зміни зусилля;
- точність і повторюваність процесу. Вказуються як величини, що відповідають за суміщення ДП і трафарету, так і за весь процес нанесення пасти – результуючі значення точності суміщення відбитка пасти і КМ. На даний час результуючі значення становлять для більшості автоматів $\pm 12,5-25$ мкм, точність і повторюваність суміщення приблизно $\pm 10-25$ мкм).

Контроль якості нанесення пасти може проводитися за допомогою різних СТЗ як в площині (2D), так і з урахуванням висоти нанесення (3D). 2D-системи призначені для контролю

покривання КМ пастою у відсотках від номінального значення, порівняння із заданими користувачем допустимими межами і виділення КМ із недостатнім або надлишковим покриттям. Також визначається закупорка апертур трафарету, розтікання пасти на нижньому боці трафарету, точність нанесення пасти на КМ, утворення перемичок між сусідніми КМ. 3D-системи аналізують висоту та профіль відбитка пасти на КМ за допомогою лазера.

Прикладом автоматичного трафаретного принтеру може бути трафаретний принтер SPG2 фірми Panasonic (рис. 3.47). Його особливостями є: вбудована 2D-інспекція; змінний кут атаки ракеля; автоматична подача пасти з перфорованої банки; збір і перенесення пасти під час заміни трафарету; вбудований краплеструменевий дозатор і можливість корегування друку.

На рис. 3.48 наведено автоматичний конвеєрний трафаретний принтер G-Titan. Ця модель забезпечує високу точність нанесення паяльної пасти завдяки застосуванню прецизійних приводів ракелів, цифрових відеосистем центрування друкованих плат, вакуумної системи фіксації трафаретів і друкованих плат та нового програмного забезпечення з графічним інтерфейсом. Для підвищення якості нанесення паяльної пасти та виключення дефектів «пропусків» у принтері використовуються системи постійного контролю кількості паяльної пасти на трафареті, система контролю забруднення апертури трафарету перед друком та система 2D-контролю відбитків паяльної пасти. Принтер JUKI G-Titan призначений для використання у конвеєрних лініях в умовах середньо- та багатосерійного виробництва.



Рисунок 3.47 – Автоматичний трафаретний принтер SPG2

Характеристики принтера G-Titan:

- точність нанесення паяльної пасти: ± 18 мкм;
- точність суміщення друкованої плати та трафарету: ± 10 мкм;
- тиск леза ракеля на трафарет: 0,5...10 кг;
- швидкість друку: від 10 до 200 мм/с.

Компанія Milaga має кілька патентів на свої технології в галузі трафаретного друку. Серед них запатентована технологія віброракеля, з функцією контролю тиску зі зворотним зв'язком. Серед переваг застосування технології віброракеля можна виділити: менший тиск ракеля, збільшений термін служби трафарету, щільне нанесення паяльної пасти й усунення ефекту витягування паяльної пасти у процесі відриву друкованої плати від трафарету.

Всі пересування за осями контролюються системою управління сервоприводів зі зворотним зв'язком із застосуванням технології безпазового двигуна. Це дозволяє застосовувати невеликі за розмірами, але потужні серводвигуни. Кожен двигун містить 2 контури зворотного зв'язку: перший контур відповідає за моніторинг крутного моменту для оптимальної продуктивності на високій швидкості, а другий включає в себе встановлений на кожному двигуні оптичний енкодер – для того, щоб гарантувати високу точність позиціонування.



Рисунок 3.48 – Трафаретний принтер G-Titan

Трафаретний принтер Milara TD2929-3D має програмне забезпечення для збору широкого спектра SPC (статистичний контроль процесів) даних, таких як: помилки друку, час завантаження ДП, тривалість циклу, максимальна поправка за X, Y осями та багато іншого. Ці дані згодом можна використовувати для оцінки якості друкованих плат, що дозволить уникнути браку.

Опція автоматичного додавання пасти дозволяє додавати паяльну пасту в область друку. Таким чином, зменшується загальний час циклу, оскільки немає необхідності зупиняти процес для додавання паяльної пасти. Блок з двох дозуючих ємностей знаходиться між ракелями та пересувається за допомогою лінійного двигуна за осями X, Y. Система оснащена датчиками кількості пасти.

На автоматичних принтерах Milara реалізована функція сухого, вологого та вакуумної протирання трафарету. Відмінною особливістю такої системи є запатентована технологія очищення з використанням ультразвуку.

Характеристики системи:

- час циклу: 5 с;
- точність друку: $\pm 12,5$ мкм;
- швидкість переміщення ракеля: від 2,54 до 39,7 мм/с;
- тиск ракеля: від 0,45 до 31,75 кг.

Очищення плат після паяння. Звичайна ДП містить багато внутрішніх порожнин (у тому числі і під компонентами), що мають вихід на поверхню через вузькі вертикальні зазори між компонентами або їх виводами. Ці порожнини здатні

втримувати продукти розкладання флюсу й інші забруднення, які можуть стати джерелами корозії або причиною проникнення всередину корпусів електронних компонентів речовин, які викликають підвищені струми витоку. Посилені спроби очистити плату, наприклад, за допомогою органічних розчинників, самі по собі можуть викликати механічні ушкодження або корозію.

Як правило, забруднення бувають або полярними (іони), або неполярними. Вільні іони, особливо електронегативні, що мають високу хімічну активність, швидко вступають у реакцію з металом комутаційних доріжок і викликають корозію. Неполярні забруднення погіршують адгезію припою, властивості захисного покриття й електричний контакт для функціонального випробування мікрозбірки.

Органічні розчинники відповідно до їхньої очисної здатності можна розділити на три групи:

- гідрофобні – не змішуються з водою, використовуються для розчинення органічних забруднень, наприклад канифолі та жирів;

- гідрофільні – змішуються з водою, розчиняють полярні та неполярні з'єднання, причому останні меншою мірою, ніж гідрофобні розчинники;

- азеотропні – являють собою в основному суміш вищевказаних типів розчинників. До їхнього складу обов'язково входять такі інгредієнти, як фреон-113 або тетрахлордифторетан з домішками спиртів і стабілізуючих інгредієнтів.

Очищення виробів із застосуванням розчинників може бути реалізоване за допомогою занурення плат у ванну із розчинником, рівномірного по полю плати або спрямованого у вигляді струменів обприскування, або комбінацією обох методів. Може застосовуватися ультразвукове перемішування у процесі очищення плат у ванні із розчинником. На ефективність очищення може вплинути низка факторів, у тому числі розташування компонентів. Компоненти мають розміщуватися на поверхні плати таким чином, щоб їхні корпуси не загороджували один одного під час руху потоку розчинника. Переривання руху плати та зупинки під час паяння хвилиною

припою мають бути зведені до мінімуму, щоб флюс ніде не затримувався у порожнинах плати. Якщо використовуються чутливі компоненти, рекомендується обробляти мікробірки у потоці розчинника. При цьому необхідно забезпечити максимальну однорідність потоку розчинника, а інтервал часу між паянням та очищенням зменшити до мінімуму.

Залишки флюс-зв'язки після оплавлення слід видаляти за допомогою одного з наступних способів:

- ультразвукове очищення у діапазоні частот 18-50 кГц, потужністю 0,4-0,6 Вт/см², з амплітудою 0,4-0,6 мкм, розчинником метилен хлористий і хладон 114 у співвідношенні 55 % і 45 % відповідно послідовно у двох ваннах протягом 2 хвилин;

- очищення у киплячих розчинниках (метилен хлористий і хладон 114 у співвідношенні 55 % і 45 %) послідовно у трьох ваннах по 3 хвилини у кожній;

- ручне очищення розчинниками (метилен хлористий і хладон 114 у співвідношенні 55 % і 45 % або трихлоретилен) за допомогою пензля, щітки або тампону протягом 2-4 хвилин;

- ретельне очищення у спиртоацетоновій суміші (1:1) або у спиртобензиновій суміші (1:1) за допомогою пензля, щітки або тампону протягом 4 хвилин.

Рекомендації із застосування паяльних паст. Для уникнення окислення припою формування шару паяльної пасти рекомендується виконувати у хімічно інертній атмосфері. Зберігання пасти рекомендується здійснювати у прохолодному місці із температурою від +5 до +10 °С. Мінімальний строк зберігання паяльної пасти із флюсом за такої температури становить 6 місяців із дати виробництва. Перед застосуванням ємність із пастою необхідно витримати за кімнатної температури до повної стабілізації протягом 2-8 годин. Не рекомендується відкривати холодну ємність, це може викликати конденсацію вологи та погіршення параметрів паяльної пасти. Категорично не допускається підігрівання пасти нагрівальними приладами.

Як правило, паяльні пасти із флюсом повністю готові до застосування та не потребують додаткових розріджувачів.

Паяльна паста, яка не була використана протягом робочої зміни, не має змішуватися зі свіжою пастою. Залишки пасти рекомендується складати в окрему тару та використовувати на початку наступної зміни. Не рекомендується використовувати пасту, яка перебувала на трафареті дві робочі зміни. Якщо пристрій трафаретного друку не використовувався протягом чотирьох годин, рекомендується зробити повне очищення трафарету від залишків паяльної пасти.

Розповсюдженими матеріалами виводів і зовнішніх контактів електронних компонентів є золото, срібло, палладій-срібло, мідь, луджена мідь, і паяльна паста має вибиратися таким чином, щоб виключити лудіння цих матеріалів. Більшість паяльних паст із флюсом мають гарні склеювальні властивості, достатні для втримання компонентів після встановлення до паяння протягом до 8 годин. Склеювальні властивості пасти залежать від температури та вологості, тому рекомендується зробити випробування для визначення максимального часу втримання пастою компонентів в умовах реального виробництва. Друковані плати можуть бути запаяні протягом 24 годин після нанесення паяльної пасти без погіршення якості паяння, висока температура та вологість можуть скорочувати цей час.

Більш тривалий час стадії паяння може поліпшити якість паяного з'єднання, зменшити кількість і зробити більш інертними залишки флюсу після паяння. Більш короткий час паяння може також дати гарні результати, однак у цьому випадку можливе збільшення кількості залишків флюсу після паяння. Рекомендується забезпечити час витримки вище температури плавлення пасти у межах від 30 с до 60 с. Збільшення швидкості підвищення температури на стадії попереднього нагрівання може призвести до збільшення залишків флюсу після паяння та погіршення зовнішнього вигляду паяного з'єднання. Цей косметичний дефект повністю усувається під час відмивання залишків флюсу.

Вищевказані рекомендації слугують для первісного встановлення режимів паяння. Конкретні режими паяння визначаються технологом виходячи з конструкції друкованої плати й устаткування для паяння.

3.12 Способи та технології монтажного зварювання

Монтажне зварювання. Зварювання – процес отримання нероз’ємного з’єднання твердих матеріалів шляхом їх місцевого оплавлення або спільного деформування, у результаті чого виникають міцні зв’язки між атомами матеріалів, які зварюються.

Зварювання, як процес отримання електричного з’єднання задовольняє багатьом вимогам, які пред’являються до монтажних з’єднань, зокрема:

а) малий перехідний електричний опір звареного з’єднання (практично рівний питомому опору металів, які зварюються);

б) висока механічна міцність звареного з’єднання;

в) висока надійність зварених електромонтажних з’єднань.

Позитивним є і те, що зварені з’єднання не піддаються корозійній дії залишків флюсу і розчинників, що характерно для паяних з’єднань, а також не зазнають суцільного термоудару в момент зварювання.

Необхідною умовою утворення з’єднання при зварюванні є активування поверхні матеріалів, які зварюються.

Найбільш розповсюдженим способом активування є введення теплової енергії – на цьому основано всі способи зварювання плавленням (Т-процеси).

Поряд з цим знаходиться застосування активування за допомогою енергії деформування під тиском (Р-процеси). Спільне активування за допомогою теплової і деформаційної енергії у виробництві виробів дає нову групу процесів (Р, Т-процесів), наприклад, компресійне і контактне зварювання.

Використовується широке активування за допомогою ультразвукової енергії (Р, Т, f-процеси).

Зональна структура звареного з’єднання є результатом протікаючих у зоні зварювання фізико-хімічних процесів. Для процесу зварювання (отримання з’єднання) характерна наявність двох стадій: стадія фізичної адсорбції і стадія хемосорбції.

На першій стадії при зближенні активованих поверхонь на відстань декількох десятків нанометрів відбувається поляризація їхніх атомів на поверхні сполучення з появою ван-дер-ваальсових сил притягання між атомами.

На другій стадії відбувається утворення металевого зв'язку за рахунок хімічної реакції і взаємного поглинання рідкої і твердої фаз металів, які з'єднуються.

На рис. 3.49 наведено схему зонної структури звареного з'єднання.

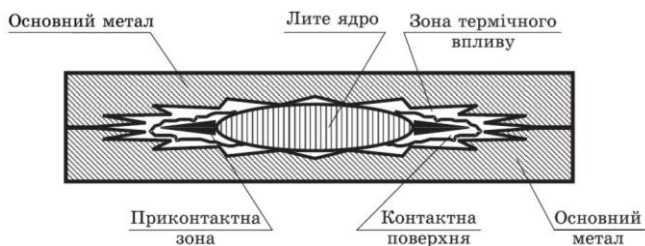


Рисунок 3.49 – Схема зон мікроструктури звареного з'єднання

Перша зона – шов (лите ядро) має місце при зварюванні плавленням і являє собою закристалізовану рідку фазу.

Друга зона – контактна поверхня, тобто границя розділу між фазами, які з'єднуються. Її довжина від 30 до 90 нм.

Третя зона – приконтактна зона, це область дифузійного легування, розміром від декількох до десятків мікрометрів.

Четверта зона – зона термічного впливу, її розміри залежать від температури зварювання, тривалості процесу зварювання і теплопровідності металів, які зварюються.

Специфічними видами зварених монтажних з'єднань є: приварювання виводів до напівпровідникових матеріалів; зварювання мікропроводів між собою; приварювання планарних виводів мікросхем до контактних площадок і друкованих провідників ДП.

Зварні монтажні з'єднання оцінюються в основному перехідним електричним опором і механічною міцністю.

У структурному плані ТП отримання зварених з'єднань складається з наступних основних операцій:

- а) підготовка зварюваних поверхонь;
- б) взаємна орієнтація і попередня фіксація (притиск) зварюваних деталей;
- в) підведення джерела активації процесу зварювання (тепло, деформація, ультразвук).

Способи зварювання. Для отримання монтажних з'єднань у виробництві ТЗА найбільш широко застосовуються наступні способи:

- термокомпресійне зварювання;
- лазерне монтажне зварювання;
- ультразвукове зварювання;
- мікрозварювання розщепленим електродом;
- точкове електродугове зварювання;
- зварювання мікрополум'ям;
- променеве мікрозварювання.

Термокомпресійне зварювання – спосіб отримання з'єднання тиском у твердій фазі елементів, які нагріваються від стороннього джерела тепла з локальною пластичною деформацією в зоні зварювання цих елементів.

Параметрами режиму зварювання є: температура нагрівання (предметного столика або інструмента), тиск і тривалість процесу зварювання.

Підготовка елементів перед зварюванням полягає в знежиренні в спирті (для золотих елементів), у киплячому чотирьох хлористому вугледоді (для алюмінієвих елементів) і сушінню. Робочий інструмент і підкладка протираються спиртом.

Різновидом термокомпресійного зварювання є зварювання тиском з непрямым імпульсним нагріванням.

Робочим інструментом є пуансон, який нагрівається імпульсом змінного струму від силового трансформатора чи від батарей конденсаторів.

Матеріал пуансона – тверді сплави, окис берилія, ниобієві й інші сплави, які поєднують високу зносостійкість з достатньою теплопровідністю.

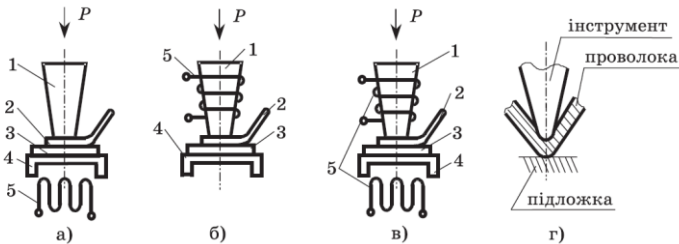
У зону зварювання подається осушений захисний газ – аргон, азот чи ін.

Переваги термокомпресійного зварювання: можливість зварювання прецизійних елементів з мінімальною товщиною до 5 мкм; відносно невисока температура процесу; нечутливість до незначних змін параметрів режимів зварювання (до $\pm 10\%$); можливість ґрунтової технології.

Недоліки даного способу зварювання: невелика кількість гарна зварюваних матеріалів; обмеження за товщиною зварюваних елементів (до 0,2 мм); значна залежність якості з'єднання від стану поверхні і неможливість зварювання проводу в ізоляції.

Область застосування термокомпресійного зварювання є досить широкою.

Схему термокомпресійного зварювання наведено на рис. 3.50.



1 – пуансон; 2 – деталь; 3 – деталь; 4 – столик; 5 – нагрівач

Рисунок 3.50 – Термокомпресійне зварювання: а – із загальним нагріванням; б – з імпульсним нагріванням; в – з комбінованим нагріванням; г – зварювання клином

Під час прикладення температури та тиску в момент осадки у результаті протікання пластичного матеріалу вздовж поверхні іншого матеріалу відбувається очищення місця з'єднання від оксидних плівок, зближення поверхонь і утворення між ними щільного контакту. Після зварювання за рахунок розвитку процесу дифузії між зварюваними матеріалами отримане з'єднання стає більш міцним.

За способом з'єднання термокомпресія виконується внахлист і встик (рис. 3.51).

На рис. 3.52 показана фотографія формоутворення зварювання встик з утворенням кульки.

Температура нагрівання не має перевищувати температуру утворення евтектики матеріалів, які з'єднуються, і коливається для різних матеріалів від 240 °С до 450 °С.

Тривалість витримки визначається експериментальним шляхом з урахуванням властивостей зварюваних матеріалів за параметром міцності з'єднання.

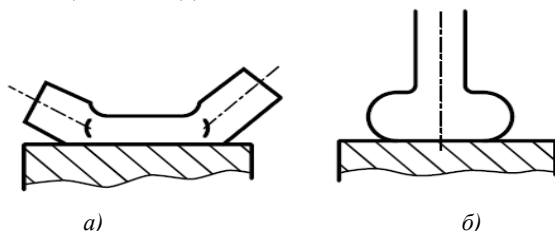


Рисунок 3.51 – Зварні з'єднання: внахлист (а) та встик з утворенням кульки (б)



Рисунок 3.52 – Кулька зварного з'єднання встик

Найбільш часто застосовуються такі режими зварювання:

- температура нагрівання 250-450 °С;
- тиск 40-100 МПа;
- час зварювання 1-10 с.

Для відтворюваності температури інструменту у процесі виконання великого числа зварювань, які виконуються одне за

одним, необхідно, щоб інструмент встигав остигати до моменту виконання наступного зварювання. Інакше тепло, що накопичується в інструменті від попередніх зварювань, буде приводити до його поступового перегрівання та порушення режиму операції зварювання.

На рис. 3.53 наведено автоматизовану установку для термокомпресійного зварювання УМС-1ТК, яка використовується для виготовлення інтегральних мікросхем типу пін-діодів і чіп-конденсаторів. Зокрема вона призначена для приєднання золотих дротяних виводів діаметром від 20 до 50 мкм до КМ напівпровідникового кристала методом термокомпресії.

Технологічні можливості даної моделі:

- управління установкою відбувається за допомогою пульта з виведенням інформації на рідкокристалічний дисплей;
- програмування довжини виводів від 6 до 16 мм;
- автоматична обрізка виводів на необхідній довжині від кристала;
- можливість утворення зварних з'єднань на КМ кристала з мінімальним розміром 30×30 мкм;
- автоматичне визначення рівня зварювання, що зменшує механічне ударну дію на кристал.



Рисунок 3.53 – Автоматизована установка для зварювання УМС-1ТК

Установка AVIO TCW-315 (рис. 3.54) є універсальною установкою для паяння та термокомпресійного монтажу різних ЕК. Вона оснащена багатфункціональною системою цифрового управління та системою контролю, яка контролює 15

параметрів процесу, в тому числі швидкість нагрівання та охолодження нагрівального інструменту, амплітуду підтримки температури та зусилля притискання приводу зварювальної головки у процесі зварювання, що забезпечує високу повторюваність і якість монтажу.

Лазерне монтажне зварювання. Даний спосіб зварювання оснований на використанні монохроматичного когерентного світлового променя, створюваного лазером, з високою щільністю енергії. Промінь при зіткненні з матеріалом приводить до оплавлення локальної площі, яка залежить від діаметра і потужності променя.

Промінь може бути сфокусований лінзою в пляму діаметром 0,01 мм, що дозволяє зварювати матеріали на обмеженій площі. Лазери, застосовувані для монтажного зварювання, можуть бути як газові (на CO₂), так і твердотільні (на АГ).

Режим зварювання визначається потужністю променю і його тривалістю, діаметром плями нагрівання.



Рисунок 3.54 – Установка для термокомпресійного зварювання AVIO TCW-315 із зображенням термопрофілю на дисплеї

Перевагами лазерного зварювання є:

- а) мала площа плями нагрівання і зони термічного впливу, що дозволяє виконувати прецизійні з'єднання;
- б) висока швидкість охолодження, завдяки чому можна зварювати різні метали без утворення інтерметалідів;
- в) можливість зварювання проводів без зняття ізоляції;
- г) висока якість монтажних з'єднань;

д) висока продуктивність процесу зварювання.

Недоліки лазерного зварювання:

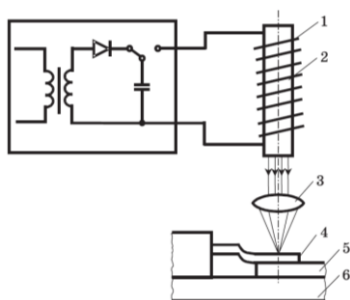
а) складність юстування оптичної системи при профілактиці устаткування;

б) складність охолодження активного елемента в устаткуванні підвищеної потужності.

Зварювання планарних виводів мікросхем з контактними площадками ДП здійснюються на устаткуванні з програмним керуванням з високою точністю позиціювання.

Схему лазерного зварювання наведено на рис. 3.55.

На рис. 3.56 наведено установка лазерного зварювання ML-8150A, що призначена для створення надійних зварних з'єднань матеріалів із золота та міді та може бути застосована у напівпровідниковій і електронній промисловості.



1 – джерело світла; 2 – кристал лазера; 3 – система лінз; 4 – вивід мікросхеми; 5 – друкований провідник; 6 – підкладка плати

Рисунок 3.55 – Схема лазерного зварювання



Рисунок 3.56 – Установка ML-8150A

Характеристики даної моделі:

- максимальна потужність 5 Вт;
- збільшена добротність променя;
- висока швидкість роботи, вкорочений час циклу зварювання;
- контроль потужності у режимі реального часу забезпечує стабільність процесу;
- використовується повітряне охолодження, немає необхідності додавання додаткових джерел охолодження;
- комбінація YAG-лазера і SHG-лазера дозволяє зварювати товсті мідні пластини, що важко реалізується стандартним лазером. Лазери SHG є гарним рішенням для зварювання міді та золота. Ці матеріали мають дуже високим коефіцієнтом відображення та відомі як погано зварювані матеріали;

– довжина хвилі SHG-лазера становить 532 нм, що вдвічі менше від стандартної довжини хвилі лазера (1064 нм). Ефективність лазера є вищою у 4,5-20 разів у порівнянні зі стандартними лазерами для зварювання міді та золота.

Приклади застосування установки ML-8150A:

- точкове зварювання міді;
- зварювання струмопровідної шини;
- розварювання мідним дротом на ДП;
- зварювання на ДП без використання припою.

Форму з'єднань при лазерному зварюванні наведено на рис. 3.57.

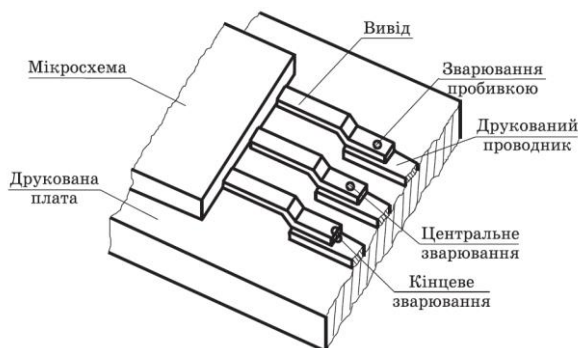


Рисунок 3.57 – Форма з'єднання при лазерному зварюванні

Різновиди форм з'єднань під час зварювання планарних виводів на контактні майданчики друкованих плат:

- кінцеве зварювання – лазерний промінь розплавляє кінець виводу та частково контактний майданчик;
- центральне зварювання – лазерний промінь спрямований тільки на вивід і має його проплавити;
- зварювання із пробиванням отворів – лазерний промінь проплавляє отвір і через нього – частину контактного майданчика.

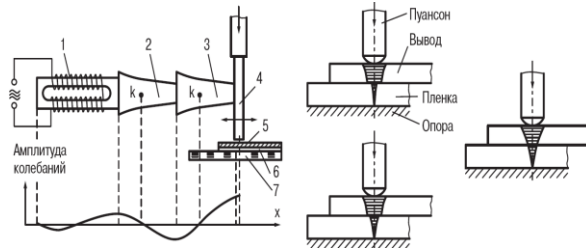
Ремонтно-придатним є кінцеве зварювання, для цього воно і призначене. Але потрапити променем на край виводу дуже складно. Позиціонування легше здійснити під час центрального зварювання.

- Типові режими лазерного зварювання:
- енергія імпульсу: 1...2 Вт/с;
 - тривалість імпульсу: 4...8 мс;
 - діаметр плями нагрівання: ~ 200 мкм.

Ультразвукове зварювання. Ультразвукове зварювання застосовується для з'єднання деталей, нагрівання яких є утрудненим, або за умови з'єднання різнорідних металів або металів із міцними окисними плівками (алюміній, нержавіючі сталі, магнітопроводи з пермалою тощо).

Нерознімні з'єднання утворюються під час спільного впливу на інструмент механічних коливань високої частоти та відносно невеликих стискальних зусиль. Поєднання цих впливів призводить до виділення тепла за рахунок тертя поверхонь, стирання окисних плівок і згладжування нерівностей зі створенням чистих поверхонь, що інтенсифікує процес утворення активних центрів і призводить до утворення з'єднання. Акустичної енергії, як правило, достатньо для утворення зварного з'єднання. Однак надійніше до деформаційного активування тертям додавати термічне активування.

За допомогою пуансона вивід ЕК притискається до контактного майданчика, прикладаються ультразвукові коливання перпендикулярно до напрямку прикладання тиску з частотою 20...60 кГц. Для отримання коливань застосовують магнітострикційний (до 20 кГц) або п'єзоелектричний (40...60 кГц) генератор коливань, від якого кінетична енергія через концентратор передається до місця зварювання (рис. 3.58).



*1 – магнітострикційний перетворювач; 2 і 3 – концентратори
ультразвукових коливань; 4 – пуансон; 5 – вивід; 6 – плівка алюмінію;
7 – підкладка; k – вузли коливань*

Рисунок 3.58 – Принцип ультразвукового зварювання

У результаті високочастотного тертя дотичні поверхні не тільки розігріваються, але і звільняються від поверхневих плівок, оголюючи свіжі активовані поверхні. Доторкання поверхонь, звільнених від цих плівок, призводить до міцного їх з'єднання на атомарному рівні.

Основні параметри ультразвукового зварювання: амплітуда та частота коливання інструменту, зовнішній тиск і температура, якщо використовується зовнішнє нагрівання. Нагрівання до 150...200 °С скорочує час і покращує якість зварювання. Час зварювання підбирається експериментально в діапазоні 0,3...0,5 с.

Зварювання мікрополум'ям. Зварювання мікрополум'ям засноване на подачі в зону зварюваного шва гостронаправленого полум'я з діаметром менше 0,5 мм, що викликає розплавлення з'єднуваних поверхонь. Найбільш зручно використовувати полум'я горіння водню в кисні, температура якого близько 3400 °С. Стехіометричне співвідношення цих газів забезпечують за допомогою електролітичного розкладання дистильованої води у газоутворювачі, що входить до складу устаткування для зварювання. Для збільшення продуктивності газовиділення (розкладання води) у воду додають гідроксид калію.

Пальник являє собою тонке сопло у вигляді мідної трубки із внутрішнім діаметром 0,3...0,4 мм.

Оскільки водень і кисень утворюються з води у точному хімічному співвідношенні, відбувається повне згоряння водню у кисні. Продуктом реакції є тільки вода.

Газ можна збагачувати парами метанолу для підвищення теплотворної здатності полум'я.

Максимальна щільність потужності становить 10^4 Вт/см².

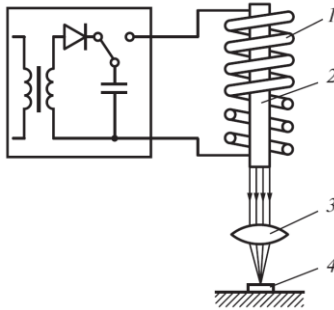
Променеве мікрозварювання. Променеве мікрозварювання засноване на сильному локальному нагріванні з'єднуваних матеріалів із використанням або сфокусованого променя лазера (лазерне зварювання), або пучка електронів (електронно-променеве зварювання), або потоку іонів (плазмове зварювання). За цих способів зварювання плавленням бажаний лише теплофізичний контакт між деталями у зоні зварювання.

Як джерела випромінювання використовують газорозрядні лампи високого тиску, що відрізняються близькою до точкової зоною горіння, яку зручно фокусувати на малорозмірний об'єкт зварювання (рис. 3.59).

Разом з тим їхній спектр випромінення добре узгоджується зі спектром поглинання більшості металів і розходиться зі спектром поглинання діелектриків, що є дуже зручним для паяння компонентів на друкованих платах.

Дозування енергії здійснюють за допомогою фотозатворів. Важливими перевагами променевого мікрозварювання є:

- відсутність безпосереднього контакту із зоною паяння;
- досить велика відстань до об'єкта паяння;



1 – джерело світла; 2 – активне тіло лазера;
3 – система лінз; 4 – вивід мікросхеми

Рисунок 3.59 – Принцип лазерного зварювання

– можливість зварювання через прозорі стінки та середовища, що є необхідним для забезпечення умов вакуумної гігієни.

Промєневе зварювання лазерним променем відрізняється набагато більшою щільністю енергії – до 10^9 Вт/см². За цієї щільності енергії випаровуються всі застосовувані для з'єднань метали.

Завдяки незначній дивергенції (розбіжності) лазерного променя його енергію можна сконцентрувати у пляму з діаметром до 10 мкм. Оскільки імпульс лазера можна зробити дуже коротким, процес нагрівання елементів зварювання зводиться до адіабатичного, тобто втрати на тепловіддачу у зовнішнє середовище під час зварювання відсутні.

Енергія світлового променя адсорбується на поверхні зварюваних деталей і переходить у тепло. Глибина, у якій поглинається енергія, є невеликою – усього 5...50 нм. У процесі інтенсивного нагрівання виділяються пари сублімуючих металів, які затіняють промінь для подальшого розплавлення з'єднання. Тому часто випромінювання лазера модулюють, створюючи паузи для розсмоктування парів.

Серйозним недоліком промєневого зварювання та паяння є недоступність нагрівання J-виводів і BGA-компонентів.

Інші способи монтажного зварювання описано в спеціальній літературі.

3.13 Монтаж способом накручування

Монтаж накруткою – процес отримання електричного з'єднання шляхом навивання неізолюваного проводу на штиревий вивід з гострими кромками. Провід навивається на металевий вивід (штир) з певним зусиллям, яке залежить від діаметра проводу і його стану. Загальний вид з'єднання накруткою показано на рис. 3.60.

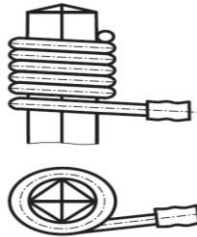


Рисунок 3.60 – Загальний вид з'єднання накруткою

Монтаж накруткою (рис. 3.61) призначений для електричного монтажу модулів другого, третього і четвертого рівнів, тобто блоків, панелей і рам.

Для з'єднання накруткою характерна наявність щільних газонепроникних зон у місцях контакту гострої кромки виводу з тілом проводу.

Монтаж накручуванням:

- виключає застосування припоїв і флюсів;
- підвищує надійність з'єднань у порівнянні з паяними з'єднаннями за механічних і кліматичних впливів;
- прискорює процес електричного монтажу апаратури;
- створює умови для його автоматизації.



Рисунок 3.61 – Приклад виконання монтажних з'єднань накручуванням

На сьогодні накручування широко використовується для реалізації змінної частини монтажу на уніфікованих ДП, коли потрібно створювати модифікації виробів за рахунок додавання зв'язків до загальної для всіх модифікацій маси з'єднань. Частка з'єднань, що додаються методом накручування, у цьому випадку не перевищує 10 %.

З'єднання накручуванням можуть також успішно застосовуватися і для виготовлення паяних з'єднань, тобто паянням накрученого проводу. На одному щиті можна також розташувати і паяні з'єднання багатожильного проводу, і накручений одножильний провід (рис. 3.62). Паяння зі зрозумілих міркувань має передувати накручуванню.

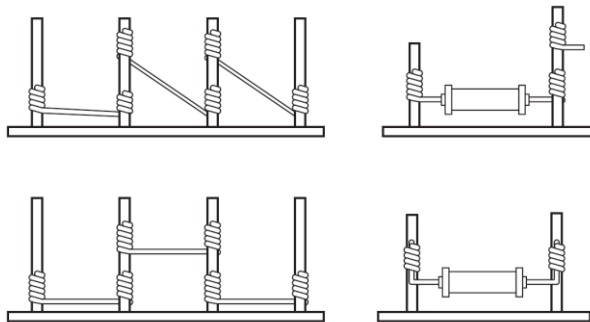


Рисунок 3.62 – Різновиди розведення проводів за умови виконання з'єднань накручуванням

З'єднання накручуванням добре поєднуються з технологією впресовування штирів у отвори. Тоді монтаж взагалі обходиться без процесів паяння або зварювання. Великі комутаційні блоки та стійки апаратури зв'язку монтуються саме таким чином.

Умови отримання з'єднань накручуванням.

З'єднання «вивід-провід-вивід» утримується разом завдяки пружним напруженням, що виникають у цих двох елементах, які з'єднуються. Гострі кромки виводу утворюють точки високого тиску, які приводять до появи виїмок, як на проводі, так і на виводі (рис. 3.63).

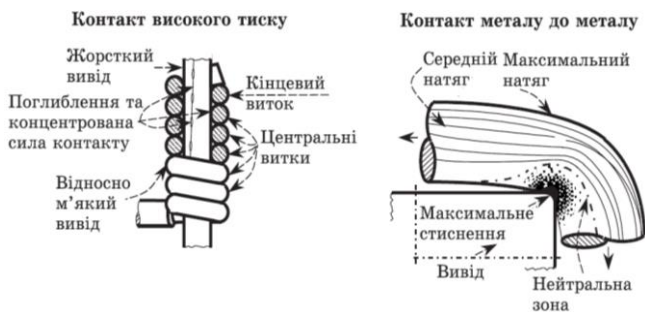


Рисунок 3.63 – Схема зон контакту проводу та виводу

Результуюче газонепроникне з'єднання двох елементів з великим натягом забезпечує добрий електричний контакт і механічну стабільність.

При розвиванні проводу добре видно своєрідні світлі точки, як на проводі, так і на виводі. Вони представляють собою сліди контактуючих поверхонь проводу з виводом.

У місцях високого тиску відбувається врізання гострих крайок виводу (при цьому вони самі трохи деформуються) у тіло проводу з руйнуванням окисної плівки. Унаслідок наявності високого тиску і чистої поверхні контакту в точці високого тиску відбувається взаємна дифузія атомів металу на незначну глибину (процес аналогічний холодному контактному зварюванню).

Середній тиск у точках контакту складає 15-20 МПа. Оскільки при кімнатній температурі з'єднання «старіє», воно завдяки триваючій дифузії в місці стику стає механічно більш міцним.

Навиті з'єднання можуть протягом 3 годин витримувати температуру до 175 °С зі зниженням напруги до 50 %, що відповідає терміну служби порядку 40 років за температури ≈ 57 °С.

Мінімальні фізичні вимоги до з'єднань:

а) щільний контакт між виводом і проводом;
б) точки контакту повинні бути газонепроникними для виключення корозії;

в) мінімальна площа газонепроникної поверхні повинна бути максимально можливою, для того, щоб попередити помітне її зменшення, викликане корозією чи ослабленням внутрішнього напруження в проводі або виводі;

г) з'єднання повинні бути механічно стабільними, щоб під впливом дестабілізуючих факторів не змінювалися їхні параметри;

д) та частина проводу, що звільнена від ізоляції і не бере участь у з'єднанні (навиванні) не повинна мати слідів ушкодження (подряпин, надрізів, зменшення діаметра та ін.) щоб уникнути порушення цілісності проводу при вібрації.

Первісний натяг проводу діаметром 0,5 мм складає 15-35 Н, проводу діаметром 0,25 мм – 5-10 Н.

Натяг проводу при навиванні повинен бути достатнім для того, щоб, по-перше, зруйнувати окісну плівку в місці контакту і, по-друге, удавити кромку виводу в тіло проводу для утворення газонепроникного контакту.

При навиванні певної кількості витків проводу на вивід повинна виконуватися умова

$$\sum_{i=1}^n S_i \geq S_{nep}, \quad (3.17)$$

де S_i – газонепроникна площа і-го контакту, мм²;

$S_{пер}$ – площа поперечного перерізу проводу, що навивається, мм²;

n – кількість контактів у з'єднанні.

Виконання даної умови забезпечує мінімальний перехідний електричний опір у з'єднанні.

Як показує практика, два перших і два останніх кути накрутки можуть не давати щільного контакту, тому для забезпечення надійного з'єднання кількість ефективних контактів визначають як суму всіх контактів зіткнення проводу з кромками виводу з відрахуванням чотирьох. Таким чином, при навиванні проводу на вивід квадратного перетину в кількості 6 витків, отримуємо загальну кількість контактів, що дорівнює $6 \times 4 = 24$.

Кількість ефективних контактів буде рівною $24 - 4 = 20$.

Для забезпечення нормального з'єднання, як правило, досить 6-8 витків.

Рекомендується, щоб витки на виводі щільно прилягали один до одного і кінець (хвіст) останнього витка був як можна щільніше притиснутий до виводу.

Види з'єднань накручуванням. Для підвищення вібростійкості з'єднання накруткою застосовують так назване «модифіковане» з'єднання. Модифіковане з'єднання відрізняється від звичайного тем, що до витків з неізольованого додають один – два витки ізольованого проводу.

Бандажне з'єднання характеризується тим, що до широкої грані виводу прикладається провід чи дротовий вивід ЕК і кріпиться декількома витками бандажного дроту з міді, яка навивається на вивід з певним зусиллям. Кожен виток бандажного дроту контактує з проводом деформуєчи його, і тим самим забезпечує щільний контакт.

За допомогою бандажного дроту можна отримати електричне з'єднання багатожильного проводу з виводом. Для цього необхідно з проводу зняти ізоляцію на певній довжині, потім звити жили й облудити. Після цього, відігнувши кінець облуженого багатожильного проводу на заданий кут, прикласти

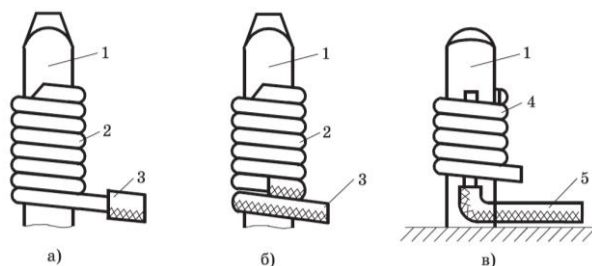
до широкої грані виводу і навити декілька (6-8) витків бандажного дроту.

На рис. 3.64 наведено види з'єднань накруткою.

Найбільше застосування знайшло модифіковане з'єднання, особливо в апаратурі, яка зазнає механічних впливів. За малого кроку між виводами та великих перетинів монтажного проводу застосовують звичайне з'єднання.

Бандажне з'єднання рекомендується для утворення контактних з'єднань з виводами навісних елементів, шинами живлення та за умови використання для монтажу багатожильних проводів, не придатних до накручування.

З'єднання, що складаються з 6-7 витків мідного проводу, навитого на позолочений чи посріблений вивід з фосфористої бронзи, має номінальний опір 0,001-0,003 Ом.



1 – вивід з'єднувача, 2 – частина проводу неізолювана, 3 – частина проводу ізолювана, 4 – дріт бандажний, 5 – провід

Рисунок 3.64 – Електричне з'єднання методом накрутки:
а – немодифіковане; б – модифіковане; в – бандажне

Якість з'єднання накруткою у великому ступені залежить від матеріалу, конструктивної форми, розмірів виводу і стану його кромки.

При виборі матеріалу виводу необхідно враховувати цілий ряд вимог. Для виготовлення виводів придатний такий матеріал, який має високий модуль пружності, коефіцієнти теплового розширення виводу і проводи повинні бути однакові, твердість матеріалу повинна бути допустимою для забезпечення врізання кромки виводу в тіло проводу.

Як матеріал для виводів застосовують мідь, бронзу, плаковану сталь, латунь, сплави на основі нікелю і срібла та ін.

З усіх можливих до застосування матеріалів, найбільше застосування отримали бронзи фосфориста і берилієва, які мають високий модуль пружності, низьку залишкову напругу, високу корозійну стійкість.

Виводи отримують штампуванням або з прокатного матеріалу потрібного перетину. Для запобігання поверхні виводів від окислювання (для матеріалів з невисокою корозійною стійкістю) і для кращого електричного контакту виводи піддають гальванічному покриттю сплавом олово-свинець, золоченню, срібленню на нікелевій підкладці.

Товщина покриття сплавом на основі олова і свинцю повинна бути не більш 37 мкм. Товщина срібного покриття порядку 9-12 мкм, золотого покриття 3-6 мкм.

Конструктивні форми виводів наведено на рис. 3.65.

Найбільше часто застосовують виводи квадратної і прямокутної форми, що забезпечують велику рівномірність концентрації напруг за кромками внаслідок конструктивної ідентичності.

Габаритні розміри виводів залежать від багатьох факторів, зокрема: діаметра проводу, що навивається, виду з'єднання, кількості витків, твердості проводу, необхідної механічної і віброміцності та ін.

Так, підвищені габаритні розміри поліпшують механічні й електричні властивості з'єднання. Підвищується механічна міцність і твердість виводу.

Чим більше діаметр проводу, який навивається, кількість витків і твердість проводу, тим більшими повинні бути габаритні розміри виводу, щоб протистояти деформації на скручування.

Для забезпечення опору скручуванню при навиванні довжина виводу не повинна перевищувати 45-50 мм, а площа його поперечного перетину повинна бути в 1,5-1,7 рази більше площі перетину проводу, що навивається. Співвідношення вузької і широкої граней виводу 1:3 (для прямокутного перетину).

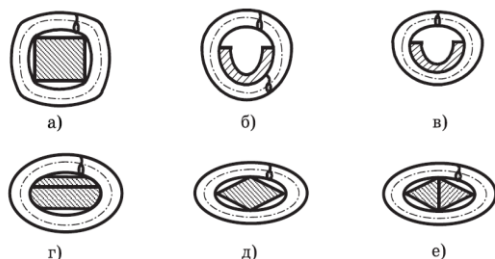


Рисунок 3.65 – Конструктивні форми виводів

Радіус скруглення кромки виводів повинний дорівнювати приблизно 0,045 мм.

Довжина виводу визначається діаметром проводу, кількістю витків у з'єднанні і кількістю з'єднань на виводі.

Мінімальна довжина ділянки накрутки L (рис. 3.66), необхідна для отримання простих (стандартних) з'єднань, розраховується за формулою

$$L_s = N[(n_1 + 1)d_1 + S_n \cdot n_1] + (N - 1)S. \quad (3.18)$$

Мінімальна довжина ділянки накрутки L_m , необхідна для отримання модифікованих (вібростійких) з'єднань визначається за формулою

$$L_m = N[n_1 d_1 + (n_2 + 1)d_2 + S_n(n_1 + n_2)] + (N - 1)S, \quad (3.19)$$

де N – кількість передбачуваних для накрутки з'єднань на виводі;

n_1 – кількість витків неізолюваного проводу на кожному з'єднанні;

n_2 – кількість витків ізолюваного проводу на кожному з'єднанні;

d_1 – номінальний діаметр неізолюваного сполучного проводу, мм;

d_2 – номінальний діаметр ізольованого сполучного проводу, мм;

S_n – припустимий зазор між витками, що знаходяться поруч, однієї накрутки, мм;

S – припустима відстань між двома сусідніми з'єднаннями, мм.

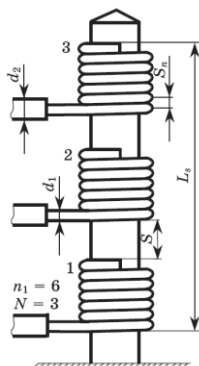


Рисунок 3.66 – З'єднання проводів накруткою на трьох рівнях (1,2,3)

При якісному навиванні відстань (зазор) між витками однієї накрутки повинний бути $S_n = 0$. Допускається $S_n \leq 0,1$ мм, якщо $d_1 \geq 0,3$ мм, і $S_n \leq 0,05$ мм, якщо $d_{1 < 0,3}$ мм.

Вільна довжина, що залишається на кінці виводу (з рівнобіжними гранями), повинна бути не меншою, ніж 1,0 мм.

Проводи для накрутки. Для одержання надійних з'єднань накруткою, як правило, застосовують ізольовані проводи (але зі знятою на кінці ізоляцією)- одно-дротові круглого перетину. В окремих випадках можна застосовувати багатодотові проводи.

Основний матеріал проводів – метал чи металевий сплав. Переважна більшість з'єднань виготовляється з мідного

дроту чи дроту з мідного сплаву. Мідний дріт повинен мати міцність на розтягання 200-250 МПа і питому провідність близько 100 %. Подовження мідного дроту повинне бути, якщо $d_1 \leq 0,5$ мм, $\delta_{100} = 15$ %, а якщо $d_1 > 0,5$ мм, $\delta_{100} = 20$ % .

Застосування алюмінієвого дроту недоцільне через його твердий оксидний шар і погану провідність.

Діаметр проводу змінюється в залежності від поперечного перетину виводу. Найбільше часто використовувані діаметри проводів: 0,20, 0,25, 0,32, 0,40, 0,50, 0,80, 1,00, 1,02 мм (мається на увазі діаметр неізолюваної частини проводу).

Ізоляція проводів. У більшості випадків ізоляція проводів – пластмаса (наприклад, ПВХ, тефлон, мілен, кінар та ін.) Для другорядних з'єднань підходить провід з поліетиленою ізоляцією.

Зняття ізоляції з проводів. Основними стадіями підготовки проводів є нарізання проводів мірної довжини та зняття ізоляції. Ці дві операції можуть виконуватися окремо чи за один робочий процес. Виконуються або вручну, або автоматизованим способом.

Довжина зняття ізоляції залежить від виду з'єднання (стандартні (звичайні) чи модифіковані), а також від кількості витків (від 25 до 35 мм).

Зняти ізоляцію можна різними способами в залежності від типу ізоляційного матеріалу: механічним (стягування, зрізання, скребління, стирання); термічним впливом (спалювання, плавлення); хімічним способом (підбурення, розчинення); глибоким охолодженням.

Технологія накручування. Накручування проводу на штир виконують у такій послідовності (рис. 3.67):

- обирають оправку, що відповідає конфігурації штиря та розміру проводу;
- нарізають проводи заданих довжин;

– укладають проводи різної довжини у відповідні комірки каси;

– очищують проводи від ізоляції на заданій довжині;

– вставляють проводи в отвір оправки на глибину, яка визначається довжиною очищеного від ізоляції проводу (поки краї ізоляційної оболонки не наткнуться на вхід отвору, куди вставляється провід);

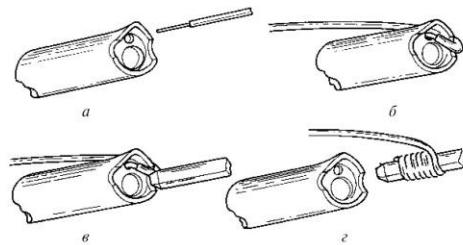
– загинають провід навколо втулки оправки, так щоб він не закривав отвір, призначений для штиря. Вільний кінець проводу притримують;

– за таблицею з'єднань знаходять адреса штиря, з якого починається ланцюг з'єднань;

– оправка з проводом насаджується на штир, що відповідає початку ланцюга, і вмикається обертання оправки;

– знаходиться друга адреса ланцюга, прокладається провід між штирями за напрямом до другої адреси, і повторюються операції накручування.

Час власне накручування становить близько 1 с, після чого оправку знімають зі штиря. Тривалість всієї операції (введення проводу, його вигин, насадження на штир, увімкнення обертання, зупинка, зняття інструменту) становить близько 2,5 с. Тому якщо проводи для накручування вже підготовлені та розкладені по комірках каси, продуктивність накручування становить 1000-1400 з'єднань на годину. Ручна підготовка проводів навіть за наявності відповідних інструментів для зняття ізоляції та нарізання на потрібну довжину є менш продуктивною (у 3-4 рази). Підготовка проводів на автоматах збігається за продуктивністю з ручним накручуванням (1500 проводів на годину).



а – оправка та зачищений провід; б – провід введений у захоплювальний отвір і фіксується в оправці; в – оправка з проводом насувається на штир, вмикається обертання оправки; г – накручування виконане

Рисунок 3.67 – Послідовність операцій накручування

Під час автоматичного монтажу на автоматичних лініях проводиться нарізання проводів, очищення від ізоляції та накручування штирів за заданою програмою. У сучасному виробництві необхідність у великих обсягах з'єднань накручуванням зникла, тому автоматичні лінії з'єднань накручуванням поступово виводяться з виробництва.

Інструменти для монтажу накруткою. Усі переваги монтажу накручуванням повною мірою реалізуються за умови оснащення робочого місця спеціальними пристосуваннями й інструментом:

- пристосування для контролю зусилля стягування;
- пристосування для зачищення проводів;
- інструмент для розкручування накручених з'єднань та ін.

Комплект інструментів, застосовуваних для монтажу накручуванням за умови використання напівавтоматичного способу виробництва, складається з:

- пістолета з блоком живлення та комплекту кінцевих частин для різних з'єднань;
- розкручувача – знімача для демонтажу з'єднань;
- пристосування для видалення ізоляції з проводів;
- гострозубців;
- вимірювальних інструментів;
- тари та ін.

Накручувальчик може бути олівцевого виконання та з пістолетною рукояткою (рис. 3.68). Живиться накручувальник або від системи стисненого повітря або від електромережі.



Рисунок 3.68 – Пістолет Jonard Tools (OK Industries) G200/R3278 для накручування проводів діаметром 0,2-1 мм на штирьові виводи

Електронакручувальник, як правило, складається з таких частин, як:

- двигун типу ДК-11, що працює на постійному струмі з напругою 24 В;
- одноступінчатий планетарний редуктор;
- шпindelний вузол;
- муфта з накидною гайкою для встановлення та кріплення кінцевих насадок.

Пістолет має пускову кнопку, розташовану на рукоятці (рис. 3.69).

Основним вузлом пістолета є шпindel 1, у якому є канали А (для закладки проводу) і В (для вставляння штиря роз'єму).

Зачищений від ізоляції кінець проводу вводиться у канал А (меншого діаметра), у той час як провід з ізоляцією залишається у частині каналу більшого діаметра. У каналі В є виточка, форма якої забезпечує укладання витків із заданим кроком, а також обтискання останнього витка. Зі зміною кроку намотування (перетину проводу) необхідно змінювати розмір цієї виточки. Накручування виконують примусовим обертанням

шпинделя, при цьому провід поступово виходить з каналу А і навивається на штир.

Шпиндель вставлений у втулку 2, прикріплену накидною гайкою 4 до з'єднувального фланця 6 (з різьбою), який кріпиться за допомогою гвинтів до каркасу редуктора 8, з'єданого з двигуном 9. Вихідний вал 7 редуктора з'єднується зі шпинделем 1 за допомогою шпильки 5.

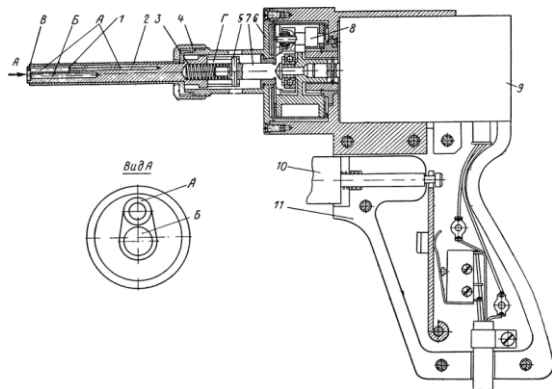


Рисунок 3.69 – Загальний вигляд пістолета для накручування

Шпиндель має у місці з'єднання з валом 7 подовжній проріз Г, у який входить шпилька 5. Таким чином, одночасно забезпечується обертання шпинделя та його переміщення уздовж поздовжньої осі на довжину прорізу Г. У шпинделі є виточка для укладання пружини 3, яка одним кінцем впирається у тіло шпинделя, а іншим – у торець валу редуктора, віджимаючи шпиндель від валу. Пружина слугує для створення певного тиску на шпинделі під час намотування, чим визначається щільність накручування, тобто її якість.

Отже, однорідне та щільне накручування забезпечується формою кінцевої частини шпинделя та зв'язком шпинделя із валом редуктора як за допомогою шпильки 5, так і за допомогою пружини 3, а число витків незалежно від оператора – за допомогою реле часу, що задає час обертання шпинделя.

«Розкрутка» являє собою порожній циліндр із гвинтовою нарізкою на зовнішній поверхні. Торець циліндра

заправлений таким чином, що при надяганні розкрути на вивід і обертання його убік, зворотній накручуванню, відбувається підняття кінця проводу на гвинтову поверхню і розкрутка як би угвинчується між виводом і проводом. Після 3-4 оборотів розкрутка знімається з виводу і звільняється від нагвинченого на неї проводу.

«Укладка» являє собою металевий стрижень з виїмкою на кінці для укладання проводу між монтажними виводами. Укладка має риси для вимірювання довжини проводу, необхідної для виконання накрутки при приєднанні другого кону перемички до монтажного виводу.

Кінцева частина накручувальника (насадка) є важливим елементом, що обумовлює формування з'єднання. До насадки пред'являються особливі вимоги в часті конструктивного виконання матеріалу, шорсткості робочої поверхні і зносостійкості.

Насадка виготовляється з інструментальної сталі марок У8, У10 та ін. з наступною термообробкою і поліруванням робочої поверхні. Канал, у який установлюється провід, має східчасту форму, що забезпечує отримання модифікованих з'єднань.

Технологічний процес накрутки може бути реалізований ручним способом, напівавтоматичним і автоматичним.

При ручному способі монтажу накруткою всі основні і допоміжні операції виконує сам виконавець (монтажник) і якість монтажу цілком залежить від кваліфікації, уміння і відповідальності монтажника.

Напівавтоматичний монтаж здійснюється з використанням позиційних машин, керованих програмою. Це дозволяє знаходити виводи за допомогою сигнальних ламп, числових індикаторів чи позиціонуванням, тобто підведенням потрібного виводу до інструмента (накручувальника). Після автоматичного пошуку потрібного виводу, монтажник робить з'єднання ручним інструментом.

Автоматичний монтаж накруткою виконується на спеціальному устаткуванні з повним комплексом основних і допоміжних операцій за програмою, записаною на програмноносії, чи у керуючу ЕОМ.

Робота монтажника (оператора) зводиться до установки утримувача зі з'єднувачами на стіл, заправлення монтажного проводу в спеціальну голівку, пуску автомата і контролю за його роботою.

У промисловості для монтажу накруткою застосовується таке устаткування, як: гнучкий перепрограмувальний технологічний модуль та ін.

Автоматичний монтаж характерний для великосерійного і масового виробництва. Забезпечує високу продуктивність і якість монтажу.

Контроль якості з'єднань. Оскільки монтаж способом накрутки припускає отримання високоякісних з'єднань, особливе значення має оперативний контроль, проведений у процесі монтажу.

Контроль включає: контроль роботи оператора; контроль інструмента; контроль використовуваних матеріалів.

Контроль роботи оператора полягає у визначенні оптимального зворотного зусилля для накручувальника, що забезпечує правильну форму з'єднання; проходження оператором інструктажу з накручення; правильне зняття ізоляції з проводу; наявність обов'язкового виконання контрольних накруток (порядку 5-10 шт.) з наступним визначенням зусилля стягування витків з виводу.

Контроль інструмента (накручувальника) полягає в перевірці його працездатності, відповідності насадок діаметру застосовуваного проводу, перевірці часу спрацьовування реле, у проведенні (10-15) накруток з наступним контролем правильності і кількості навитих витків.

Контроль використовуваних матеріалів – проводів і виводів виконується відповідно до інструкції з контролю матеріалів. Перевіряється марка проводу, його діаметр (зовнішній і внутрішній), якість і цілісність ізоляції, цілісність жил проводу й ін.

При контролі виводів перевіряється марка матеріалу, покриття поверхні, радіус скруглення кромки, геометричні розміри виводу, твердість виводу при скручуванні та ін.

Типові іспити з'єднань проводяться на декількох зразках з метою визначення придатності матеріалів, інструмента і пристосувань для виконання якісних з'єднань.

Типові іспити включають електричні, механічні і кліматичні іспити.

До електричних іспитів відносяться іспити на перехідний опір і на струмові перевантаження.

До механічних іспитів відносяться іспити на механічну міцність, вібростійкість і віброміцність.

До кліматичних іспитів відносяться іспити на прискорене старіння, в атмосфері підвищеної вологості, на газонепроникність.

Усі види іспитів проводяться за відповідними технологічними інструкціями.

Накрутка – процес швидкоплинний. Час власне накрутки складає 0,3-0,8 с. Тривалість всієї операції (введення проводу, його вигин, насадження на вивід, включення, дія, зупинка, зняття інструмента) близько 2,5 с.

Якість з'єднання оцінюється двома основними параметрами – перехідним опором і механічною міцністю.

Перехідний опір з'єднання накруткою складає 0,0004-0,0008 Ом.

Міцність з'єднання оцінюється зусиллям стягування витків з виводу. У залежності від діаметра проводу воно змінюється в межах 50-200 Н.

За даними іспитів і розрахунків надійність з'єднань накруткою приблизно в 10 разів вище, ніж паяних.

$$\text{Інтенсивність відмов } \lambda = \frac{0,0001 \%}{1000} \text{ год.}$$

Монтаж накруткою – це високопродуктивний і економічний спосіб виконання з'єднань, сфери застосування якого усе більш розширюються.

3.14 Особливості побудови та дослідження просторово-часової структури складання та монтажу технічних засобів автоматизації

Технологічний процес розробляється для виготовлення або ремонту виробу або удосконалення діючого технологічного процесу відповідно до досягнень науки і техніки.

Розробка технологічних процесів проводиться для виготовлення або ремонту виробів, конструкції яких відпрацьовані на технологічність.

Розроблювальний технологічний процес повинен бути прогресивним і забезпечувати підвищення продуктивності праці і якості виробів, скорочення трудових і матеріальних витрат на його реалізацію, зменшення шкідливих впливів на навколишнє середовище.

Прогресивність технологічного процесу оцінюється за показниками, установленими галузевою системою атестації технологічних процесів.

Технологічний процес повинен забезпечувати реалізацію значень базових показників технологічності конструкцій виробу, який виготовляється або ремонтується.

Технологічний процес розробляють на основі наявного типового чи групового технологічного процесу. При відсутності типового чи групового технологічного процесу виготовлення виробу, який відноситься до певної класифікаційної групи, технологічний процес повинен розроблятися на основі використання раніше прийнятих прогресивних рішень, які містяться в діючих одиничних технологічних процесах виготовлення аналогічних виробів.

Технологічний процес повинен відповідати вимогам техніки безпеки і промислової санітарії, викладеним у системі стандартів безпеки праці (ССБП), стандартах на типові і групові технологічні процеси, інструкціях і інших нормативних документах з техніки безпеки і промислової санітарії.

Вихідна інформація для проектування технологічних процесів. Вихідну інформацію для розробки технологічних процесів підрозділяють на базову, керівну і довідкову.

Базова інформація включає дані, які містяться в конструкторській документації на виріб, і програму випуску цього виробу.

Керівна інформація включає дані, які містяться в наступних документах:

- галузевих стандартах, які установлюють вимоги до технологічних процесів і методів керування ними, а також стандартах на устаткування й оснащення;

- документації на діючі одиничні, типові і групові технологічні процеси;

- класифікаторах техніко-економічної інформації;

- виробничих інструкціях;

- матеріалах з вибору технологічних нормативів (режимів обробки, припусків, норм витрати матеріалів та ін.);

- документації з техніки безпеки і промислової санітарії.

- Довідкова інформація включає дані, що містяться в наступних документах:

- технологічній документації дослідного виробництва;

- описах прогресивних методів виготовлення і ремонту;

- каталогах, паспортах, довідниках, альбомах компонувань прогресивних засобів технологічного оснащення;

- плануваннях виробничих ділянок;

- методичних матеріалах з керування технологічними процесами.

Особливості проектування технологічних процесів складання та монтажу. Проектування ТП складання та монтажу ТЗА починається з ретельного вивчення на усіх виробничих рівнях вихідних даних, до яких відносяться: короткий опис функціонального призначення виробу, технічні умови і вимоги, комплект конструкторської документації, програма і планові терміни випуску, керуючий технічний, нормативний і довідковий матеріал. До цих даних додаються умови, у яких передбачається виготовляти виріб: нове чи діюче підприємство, його місцезнаходження, устаткування, яке на ньому є і можливості придбання нового, кооперування з іншими підприємствами, забезпечення матеріалами і комплектуючими

виробами. У результаті проведеного аналізу розробляється план технологічної підготовки і запуску виробу.

У розробку ТП складання і монтажу входить наступний комплекс взаємозалежних робіт:

а) вибір можливого типового чи групового ТП і його доробка відповідно до вимог, приведених у вихідних даних; комплексну схему типового ТП складання вузла ТЗА на друкованій платі представлено на рис. 3.70;

б) складання маршруту одиничного ТП загального складання та встановлення технологічних вимог до конструкції блоків і складальних одиниць, що до них входять;

в) складання маршрутів одиничних ТП складання блоків (складальних одиниць) і встановлення технологічних вимог до складальних одиниць і деталей;

г) визначення необхідного технологічного устаткування, оснащення, засобів механізації й автоматизації;

д) моделювання й оптимізація ТП за продуктивністю;

є) розбивка ТП на елементи;

ж) розрахунок і призначення технологічних режимів, технічне нормування робіт і визначення кваліфікації робітників;

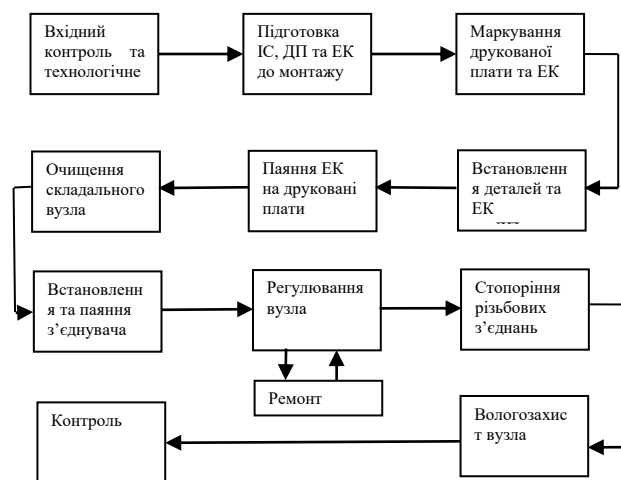


Рисунок 3.70 – Комплексна система типового технологічного процесу складання вузла ТЗА на друкованій платі

з) розробка ТП і вибір засобів контролю, настроювання і регулювання;

і) видача технічного завдання на проектування і виготовлення спеціального технологічного оснащення;

к) розрахунок і проектування потокової лінії, ділянки серійного складання або гнучкої виробничої системи, складання планувань і розробка операцій переміщення виробів і відходів виробництва;

л) вибір і призначення внутрішньоцехових підйимально-транспортних засобів, організація комплектувальної площадки;

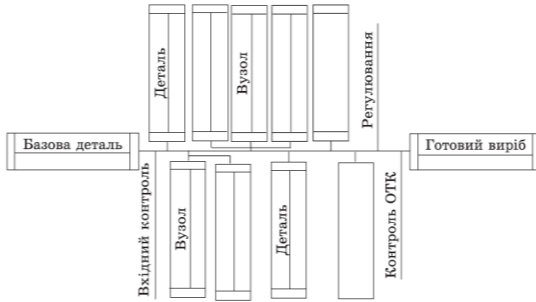
м) оформлення технологічної документації на процес, і її затвердження;

н) випуск дослідної партії;

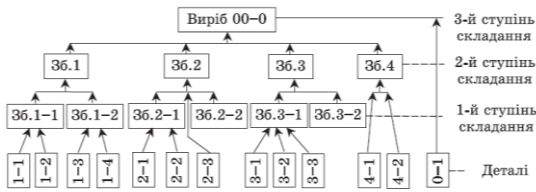
о) корегування документації за результатами іспитів дослідної партії.

Розробка технологічного маршруту складання та монтажу ТЗА починається з розчленовування виробу або його частини на складові елементи шляхом побудови схем складального складу і технологічних схем складання. Елементами складально-монтажного виробництва є деталі і складальні одиниці різного ступеня складності. Побудова таких схем дозволяє установити послідовність складання, взаємний зв'язок між елементами і наочно представити проект ТП. Спочатку в компактному виді складається схема збірному складу усього виробу, а потім її доповнюють розгорнутими схемами окремих складальних одиниць. Розчленовування виробу на елементи проводиться незалежно від програми його випуску і характеру ТП складання. Схема збірному складу є основою для розробки технологічної схеми складання, у якій формується структура операцій складання, установлюється їх оптимальна послідовність, вносяться вказівки з особливостей виконання операцій.

На практиці широко застосовують два типи схем складання: «віяловий» і з базовою деталлю (рис. 3.71).



а)



б)

*а – з базовою деталлю; б – «віялового» типу
Рисунок 3.71 – Схеми складання*

Складальні елементи на схемах складання представляють прямокутниками, у яких вказують їхню назву, номер за класифікатором ЄСКД, позиційне позначення і кількість. Схема процесу складання з базовою деталлю є більш трудомісткою, але вона наочно відображає тимчасову послідовність процесу складання. За базову деталь приймається шасі, панель, плата або інша деталь, з якої починається складання.

Структурним елементом схеми є прямокутник, розділений на сектори, у яких фіксується відповідна інформація (рис. 3.72).

1	2	4
	3	

1 – сектор, у якому вказується позиція встановлюваного елемента (деталі); 2 – найменування, встановлюваного елемента (деталі); 3 – позначення елемента (деталі); 4 – сектор, у якому вказується кількість, встановлюваних елементів (деталей).

Рисунок 3.72 – Схемне позначення структурного елемента

Порівняння різних варіантів побудови схем складання і їхній аналіз утруднені відсутністю яких-небудь відправних положень для їх побудови. Однак на практиці використовуються відправні рекомендації побудови схем складальних елементів:

а) на початку будуються вихідні схеми, які служать підставою для наступної розробки робочих схем складальних елементів;

б) вихідні схеми будуються за умови їх незалежності від обсягу випуску виробів;

в) складальні одиниці вихідних схем організуються при незалежності їх «технологічного існування», тобто передбачається, що вони можуть окремо збиратися, зберігатися, транспортуватися, контролюватися і т.д.;

г) мінімальна кількість деталей, (тобто елементів виробу, отримуваних без застосування складальних операцій), необхідна для утворення складальної одиниці першої ступіні складання, дорівнює двом;

д) мінімальна кількість деталей, що приєднуються до складальної одиниці даної групи, яка необхідна для утворення складального елемента вищої ступіні, дорівнює одиниці;

е) вихідна схема складальних елементів будується за умови утворення найбільшої кількості складальних одиниць;

ж) вихідна схема складальних елементів має властивість безперервності, тобто передбачається, що кожна наступна ступінь складання не може бути утворена без наявності попередньої ступіні складання.

Якщо, використовуючи теоретичну схему складальних елементів, позначити компонент виробу через S , виріб через

U , то, враховуючи, що перша ступінь схеми не є складальною, можна написати вираз, що встановлює зв'язок між компонентами виробу і самим виробом однієї і тієї ж ступіні:

$$U^n = S_{n+1}, \quad (3.20)$$

де n – показник ступеня складності збірного складу (складальних елементів) виробу.

Ступінь складності відображає кількість ступенів складання у виробі і цим дає перше уявлення про сутність процесу складання. Для характеристики виробу за кількістю компонентів, які входять у кожен ступінь його складання за вихідною схемою, вводиться поняття про середню повноту збірного складу виробу.

Мінімальний збірний склад компонента послідовних ступенів складання містить

$$\left. \begin{aligned} S_2 &= S_1 + S_1 = 2S_1; \\ S_3 &= S_2 + S_1; \\ S_4 &= S_3 + S_1; \\ S_n &= S_{n-1} + S_1. \end{aligned} \right\} \quad (3.21)$$

Середній збірний склад компонентів послідовних ступенів складання містить

$$\left. \begin{aligned} S_2 &= 2S_1 + m_1S_1; \\ S_3 &= m_2S_2 + m_1S_1; \\ S_4 &= m_3S_3 + m_2S_2 + m_1S_1; \\ &\dots\dots\dots \\ S_n &= \sum_{i=1}^{n-1} m_i S_i \text{ у } U^{n-1} = S_n. \end{aligned} \right\} \quad (3.22)$$

Коефіцієнти m_1, m_2, \dots, m_{n-1} назовемо коефіцієнтами кратності. Сума коефіцієнтів кратності, починаючи з першої ступіні складання, дорівнює кількості складальних одиниць вихідної схеми збірного складу, тобто

$$Q = \sum_{i=2}^{n-1} m_i. \quad (3.23)$$

Середня повнота збірного складу виробу може бути виражена наступним співвідношенням

$$P_{cp} = \frac{Q}{n-1} = \frac{\sum_{i=2}^{n-1} m_i}{n-1}, \quad (3.24)$$

де Q – загальна кількість складальних одиниць вихідної схеми збірного складу;

n – кількість ступенів складання тієї ж схеми.

При розробленні схеми складальні одиниці одного і того ж ступеня складності розташовуються в одному горизонтальному ряду. Побудова схеми ведеться знизу нагору, починаючи з ряду деталей. При цьому схема повинна вказувати послідовність складального процесу. Схема спочатку складається для окремих складальних одиниць у вигляді різних варіантів послідовності складання. Після встановлення найбільш придатних варіантів вони компонується в одну загальну схему, яка завершується зібраним виробом. Оскільки схема збірного складу надалі служить підставою для складання технологічної схеми складання, то необхідно в ряд деталей включити основні матеріали (матеріали, які залишаються у виробі після складання – припої, лаки, фарби та ін.), оформлюючи їх на схемі аналогічно деталям.

У зв'язку з тим, що схема збірного складу в основному повинна вказувати послідовність складального процесу, у ній

потрібно виділити базовий елемент, тобто базову деталь, вузол, підгрупу і т. п.

Базовою деталлю називається основна деталь, з якої починається складання виробу чи вузла. Базовою підгрупою будь-якого порядку є основна підгрупа, з якої починається складання виробу. За базову звичайно вибирають ту деталь, поверхні якої будуть використані при установленні готового виробу або при кріпленні вузла до раніше зібраних вузлів. Таким чином, складальний елемент, який є базою при складанні, і буде базовим елементом.

Побудова схем складання у всіх приведених різновидах є доцільною при аналізі і синтезі складальних процесів.

Схемами складання користуються при розробленні технологічних процесів поряд зі складальним кресленням і технічними умовами.

Розрізняють наступні основні організаційні форми складання: стаціонарну і рухому.

Нормування технологічного процесу складання. У залежності від типу виробництва нормативи часу, застосовувані для нормування складальних робіт, відрізняються за ступенем диференціації і масштабам застосування (загальному-шинобудівні, галузеві і заводські).

Чим детальніше розроблено технологічний процес, тим більш точно він може бути пронормований. Структура штучного часу, має вигляд

$$t_{шт} = t_o + t_г + t_{об} + t_ф , \quad (3.25)$$

де t_o – основний (технологічний) час, хв;

$t_г$ – допоміжний час, хв;

$t_{об}$ – час на обслуговування робочого місця, хв;

$t_ф$ – час на відпочинок і фізіологічні потреби, хв.

Оперативний час t_{on} на виконання однієї складальної операції дорівнює сумі основного часу t_o і допоміжного часу t_e :

$$t_{on} = t_o + t_e. \quad (3.26)$$

Час на обслуговування робочого місця приймають у розмірі 2-5 % від оперативного часу. Перерви для відпочинку і на фізіологічні потреби встановлюють у розмірі 2-3 % від оперативного часу. З огляду на вищесказане, норму штучного часу визначають за формулою

$$t_{um} = t_{on} \left(1 + \frac{\beta + \gamma}{100} \right), \quad (3.27)$$

де β – відсоток від оперативного часу, який відповідає часу на обслуговування робочого місця;

γ – відсоток від оперативного часу, який відповідає часу на фізіологічні потреби і відпочинок.

Загальний час на складання усього виробу дорівнює:

$$T_{um} = \sum_1^m t_{um}, \quad (3.28)$$

де m – кількість складальних операцій.

Час на складання серії (партії) виробу:

$$T_n = T_{um}n + T_{n.з.}. \quad (3.29)$$

Штучний калькуляційний час на один виріб:

$$T_k = \frac{T_{шт} + T_{п.з.}}{n}, \quad (3.30)$$

де n – кількість виробів в серії (партії);

$T_{п.з.}$ – підготовчо-заклучний час на всю партію виробів, хв.

При проектуванні технологічних процесів (особливо одиничного та дрібносерійного виробництв) нормування складальних робіт звичайно роблять за практичними даними передових заводів, які випускають аналогічні вироби, причому ці дані корегують з урахуванням застосування більш досконалих технологічних методів і поліпшення організаційних форм виробництва. В умовах багатосерійного та масового виробництв при нормуванні часто прибігають до хронометражу і фотографії робочого дня.

Состав операцій складання визначають, виходячи з оптимальної диференціації монтажно-складального виробництва. Вимоги точності, пропоновані до складання ТЗА, здебільшого ведуть до необхідності концентрації процесу на основі програмувального механізованого й автоматизованого устаткування, що знижує похибки складання при істотному підвищенні продуктивності процесу.

При непотоковому виробництві доцільними технологічними границями диференціації є:

- а) однорідність виконуваних робіт;
- б) отримання в результаті виконання операції закінченої системи поверхонь деталей або закінченого складального елемента;
- в) незалежність складання, збереження і транспортування від інших складальних одиниць;
- г) можливість використання простого (універсального) чи переналаджуваного технологічного оснащення;
- д) зручність планування робочих місць і ділянок;
- е) забезпечення мінімальної питомої ваги допоміжного часу в операції;

ж) сталі на даному виробництві типові і групові операції.

У потоковому виробництві необхідний рівень диференціації операцій в основному визначається ритмом складання.

Оптимальна послідовність технологічних операцій залежить від їхнього змісту, використовуваного устаткування й економічної ефективності. У першу чергу виконуються нерухомі з'єднання, які вимагають значних механічних зусиль. Кожна попередня операція не повинна перешкоджати виконанню наступних. На заключних етапах збираються рухомі частини виробів, роз'ємні з'єднання, установлюються деталі, які було замінено в процесі настроювання.

Розроблена схема складання дозволяє проаналізувати ТП з урахуванням техніко-економічних показників і вибрати оптимальний, як з технічної, так і з організаційної точок зору.

3.15 Організація поточкових ліній складання технічних засобів автоматизації

Потокові лінії складання класифікують за рядом ознак, зокрема: характером виконуваних процесів, структурою, ступенем безперервності, характером ритму, положенням об'єкта виробництва, ступенем автоматизації та ін.

За характером виконуваних ТП потокові лінії підрозділяють на заготівельні, механічної обробки, складання, покриття і т. ін.

За структурою потокові лінії підрозділяються на постійні-поточкові (одно-номенклатурні) і змінно-поточкові (багатономенклатурні).

За ступенем безперервності лінії підрозділяються на безперервно-поточкові і переривано-поточкові (прямоточні).

За характером ритму лінії бувають з регламентованим (примусовим) ритмом і з вільним ритмом.

За положенням об'єкта виробництва потокові лінії підрозділяються на рухомі-поточкові і поточно-стаціонарні. На рухомих-поточкових лініях предмет праці переміщається, а

робітники, залишаючись кожний на закріпленому за ним місці, виконують свої операції. Ці лінії мають найбільше поширення.

На поточно-стаціонарних лініях об'єкт виробництва залишається нерухомим, а переміщуються робітники від одного місця (виробу) до іншого, виконуючи закріплену за ними операцію.

За ступенем автоматизації розрізняють лінії ручні, механізовані, автоматичні.

Розрахунок параметрів поточкових ліній полягає у визначенні: такту (r) – періоду часу, який відокремлює виготовлення одного виробу від іншого, наступного за ним; ритму (R) – періоду часу, який відокремлює виготовлення однієї партії виробів від іншої, наступної за нею; темпу (T) – кількості продукції, яка випускається на лінії в одиницю часу; кількості робочих місць на лінії ($C_{p.m.}$); швидкості руху транспортних засобів (V_k); довжини робочої частини конвеєра (L_k); повної довжини конвеєра (L_{kn}).

Вихідним моментом при розрахунку поточної лінії є розрахунок такту, який визначається за формулою

$$r = \frac{\Phi_c}{N_3}, \quad (3.31)$$

де Φ_c – добовий фонд часу роботи лінії, хвилини;

N_3 – програма запуску виробів на лінії, шт.

Добовий фонд часу роботи лінії дорівнює режимному фонду за винятком часу на регламентовані перерви

$$\Phi_c = T_c \cdot a - b \cdot t_n, \quad (3.32)$$

де T_c – тривалість робочої зміни, хв;

a – кількість змін роботи лінії;

b – кількість регламентованих перерв на лінії для відпочинку;

t_n – тривалість перерви, хв.

Програма запуску N_3 відрізняється від програми випуску N_6 на величину планованого коефіцієнта технологічних втрат (брак), тобто

$$N_3 = N_6 \cdot K_n, \quad (3.33)$$

де K_6 – коефіцієнт технологічних втрат, прийнятий рівним 1,02-1,04.

Ритм визначається за формулою

$$R = r \cdot n_{II}, \quad (3.34)$$

де n_n – величина передаточної партії, шт.

Ритм визначається, якщо розрахований за формулою (3.31) такт занадто малий у порівнянні з часом переміщення виробу від одного робочого місця до іншого, тоді передача виробів здійснюється не поштучно, а транспортними партіями (n_n). Транспортну партію вибирають таким чином, щоб час переміщення виробів складав не більш 5-7 % від часу виконання технологічних операцій.

Темп потокової лінії є величиною, зворотною такту, тобто:

$$T = 1/r. \quad (3.35)$$

Після розрахунку такту лінії проводиться синхронізація технологічного процесу. Синхронізація ТП полягає у вирівнюванні часу тривалості виконання операцій складання по всій лінії.

Допускається відхилення часу на виконання операцій від такту до 15 %.

Кількість робочих місць на потоковій лінії визначається за формулою

$$C_{p.m} = \frac{t_{\text{сум}}}{r}, \quad (3.36)$$

де $t_{\text{сум}}$ – сумарна трудомісткість виготовлення виробу на лінії (по всіх операціях), тобто:

$$t_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n t_i,$$

де n – кількість операцій на лінії;
 t_i – трудомісткість i -ї операції, хв.
Тоді

$$C_{p.m} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{r}. \quad (3.37)$$

Кількість робочих місць на i -ї операції

$$C_{p.m} = t_{on_i} / r, \quad (3.38)$$

де t_{on_i} – трудомісткість i -ї операції, хв.

Кількість резервних робочих місць ($C_{p.m.рез}$)

$$C_{p.m.рез} = (0,1 - 0,15) \cdot C_{p.m}. \quad (3.39)$$

береться в межах 10-15 % від $C_{p.m}$.

Аналогічно визначається кількість робочих місць контролерів ($C_{p.m.k}$), комплектувальників ($C_{p.m.ком}$). У цьому випадку замість трудомісткості t_{oni} у формулу підставляють відповідно трудомісткість контрольної і комплектувальної операції.

Сумарна кількість робочих місць:

$$C_{p.m.сум} = C_{p.m} + C_{p.m.рез} + C_{p.m.k} + C_{p.m.ком}. \quad (3.40)$$

Довжина робочої частини конвеєра (L_k) визначається за формулою

$$L_k = C_{p.m.сум} \cdot l_{p.m}, \quad (3.41)$$

де $l_{p.m}$ – довжина робочого місця по ходу лінії, м.

Довжину робочого місця $l_{p.m}$ вибирають у залежності від характеру ТП, застосовуваного устаткування, форми і розмірів виробу.

При розподільному конвеєрі довжина робочого місця приймається в межах 1,0-1,2 м.

На робочому конвеєрі довжина робочого місця приймається в межах 0,6-0,8 м.

Загальна довжина (повна) конвеєра (L_n) визначається за формулою

$$L_n = L_k + 2(1,5 - 2) \text{ м.} \quad (3.42)$$

Розташування робочих місць на лінії може бути однобічне і двостороннє (у шаховому порядку), тоді довжина робочої частини конвеєра зменшується вдвічі.

Швидкість несучого органу конвеєра при безупинному русі (V_k) визначається за формулою

$$V_k = \frac{l_{p.m}}{r} \text{ (м / хв.)}. \quad (3.43)$$

Якщо конвеєр робочий, то його швидкість не повинна перевищувати 0,8 м/хв. Розподільні конвеєри можуть рухатися зі швидкістю 2-2,5 м/хв.

Такт пульсуючого конвеєра ($r_{пульс}$) визначається за формулою

$$r_{пульс} = t_{ум} + t_{mp}, \quad (3.44)$$

де $t_{ум}$ – норма штучного часу на операцію, хв.;

t_{mp} – час транспортування (переміщення) конвеєра на довжину робочого місця, хв.

Розбіжності в організаційних формах потокового виробництва зводяться до розбіжностей в потокових лініях (за ступенем спеціалізації, ступенем ритмічності, способом підтримки ритму роботи, оснащеністю транспортними засобами, схемами компонування та ін.).

Трудомісткість складальних процесів характеризується коефіцієнтом φ трудомісткості складання. Цей коефіцієнт визначається як відношення часу, затрачуваного на складання даного виробу $T_{сб}$, до часу, затрачуваному на виготовлення (обробку) комплекту деталей T_m цього ж виробу:

$$\varphi = \frac{T_{сб}}{T_m}. \quad (3.45)$$

Чим менше φ , тим більше досконалим є процес складання; звичайно $\varphi = 0,1 \dots 0,4$. Трудомісткість складальних робіт значною мірою залежить від обсягу припасувальних робіт і повторних складань.

Іншим показником технологічного процесу складання є час складання

$$T = t_z + t_p + t_{on}, \quad (3.46)$$

де t_z – час, необхідний на закріплення складальних елементів;

t_p – час, затрачуваний на регулювання чи припасування складальних елементів;

t_{on} – час організаційних втрат.

У кращому випадку $T = t_z$.

Проектування безперервно-потоккових ліній супроводжується синхронізацією технологічних операцій. З цією метою деякі переходи можуть переноситися з однієї операції в іншу, не обов'язково суміжну, але за умови, що це не порушить необхідної технологічної послідовності складання. Операція вважається синхронізованою, якщо коефіцієнт завантаження робочих місць K_z , зайнятих її виконанням, задовольняє умові $0,9 \leq K_z \leq 1,1$. Розраховується коефіцієнт завантаження робочих місць за формулою

$$K_z = C_p / C_n. \quad (3.47)$$

де C_n – прийнята кількість робочих місць на даній операції.

Потокова лінія складання обладнується конвеєром, який підтримує і регламентує ритм роботи, або іншим транспортним засобом. Конвеєри за призначенням поділяються на робочий, розподільний і транспортний. Робочий конвеєр використовується для складання виробів безпосередньо на несучому органі. На розподільних конвеєрах складання здійснюється зі зніманням предмета з несучого органу. Транспортні конвеєри служать для передавання зібраних виробів з однієї ділянки на іншу або для інших аналогічних дій.

Проектування потокової лінії складання також включає:

- а) визначення максимальної чисельності робітників з урахуванням необхідного (10...15 %) резервування, місць комплектувальників і контролерів;
- б) вибір і розрахунок транспортних засобів або конвеєрів;
- в) розрахунок необхідних заділів, тобто виробів, складання яких не закінчене, і формування стандарт-плану роботи лінії;
- г) вибір технологічного оснащення для кожного робочого місця;
- д) раціональне планування робочого місця і всієї ділянки;
- е) організацію подання на лінію деталей, складальних одиниць і матеріалів;
- ж) розробку систем планування і диспетчерського обліку роботи.

3.16 Особливості проектування технологічних процесів складання в автоматизованому виробництві

Автоматизація складання підвищує якість виробів, тому що вплив суб'єктивного фактору частково або цілком усувається: збільшується продуктивність праці (іноді в десятки разів); зменшується собівартість складальних робіт; вивільняються робітники; поліпшуються й оздоровлюються умови праці; зменшується продуктивна площа (особливо при розробленні малогабаритних виробів); знижується травматизм. На автоматах можна збирати вироби, складання яких вручну неможливе (наприклад, складання у вакуумі виробів електронної промисловості, в умовах токсичного, вибухонебезпечного середовища або високої температури; складання мініатюрних виробів).

Перешкодою на шляху автоматизації складальних робіт є технологічна невідпрацьованість конструкцій виробів, які збираються, недостатня уніфікація деталей і складальних одиниць, недолік або відсутність типового автоматичного

складального, спеціалізованого або переналаджуваного устаткування, недостатньо висока якість деталей виробів, що складаються, незабезпеченість технологів і конструкторів необхідними нормативами, розрахунковими і довідковими матеріалами, а також обмежена кількість добре перевірених на виробництві типових рішень.

Розглянемо деякі особливості проектування автоматичного складання. Насамперед, вони стосуються ретельного відпрацьовування конструкцій об'єктів, які збираються, на технологічність. Конструкція виробу повинна бути такою, щоб експлуатаційні якості машини, які залежать від складання, були досяжні при застосуванні найбільш економічного технологічного процесу складання.

Технологічний процес автоматичного складання істотно відрізняється від технологічного процесу ручного і механізованого складання. Якщо при ручному складанні невеликих виробів часто потребуються тільки найпростіші інструменти, то при автоматичному складанні тих же виробів необхідний складний комплекс автоматичних пристроїв, надійно виконуючих всі переходи процесу складання. Так, для виконання складання виробу на автоматичному складальному устаткуванні потрібно мати:

- а) бункерно-орієнтуючі пристрої для деталей;
- б) касети, які завантажуються складними деталями в попередньо орієнтованому вигляді;
- в) нагромаджувачі, які створюють запас деталей в орієнтованому вигляді і вирівнюють продуктивності бункерно-орієнтуючих пристроїв;
- г) постачальники, які забезпечують передавання деталей з нагромаджувача до відсікувача;
- д) відсікувачі, які забезпечують поштучну видачу деталей на «складальну» позицію автомата;
- е) пристрої для скріплення деталей, які з'єднуються, запресовуванням, розвальцьовуванням, склеюванням, згвинченням і іншими методами;
- ж) пристрої, які виконують спеціальні функції (обдування, змащення та ін.);

з) пристрої, які контролюють правильність виконуваних з'єднань;

і) механізми для видалення зібраного виробу з автомата в тару або на транспортер для передачі на наступний автомат без втрати або зі зміною орієнтації.

Складні базові деталі виробу, що складається, установлюють на складальній позиції вручну або механічною рукою з магазину (із транспортера) з наступним її закріпленням (якщо необхідно) і відкріпленням наприкінці складання. Перерахований перелік необхідних пристроїв і механізмів, які у переважній більшості застосовуються в конструкції будь-якого складального автомата, свідчить про необхідність розробки технологічних операцій за всіма переходами. Практично структура кожної технологічної операції відпрацьовується і корегується в процесі проектування автомата. При цьому не виключена можливість, що в процесі проектування автомата виникне необхідність додаткової технологічної доробки конструкцій, як деталей, що складаються, так і всієї складальної одиниці. Проектування автомата супроводжується цілим рядом розрахунків – тимчасових і розрахунків на точність, міцність та надійність.

Автоматичне складання обумовлює необхідність точного і якісного виготовлення деталей, які сполучаються. Автоматичне складання виконують за принципом повної і (рідше) часткової взаємозамінності. Вона виключає пригін і підбор деталей. Неточно виготовлені і неякісно очищені деталі зупиняють складальний автомат. Якщо кількість деталей у виробі велика, то ймовірність відмовлення автомата через низьку якість деталей зростає, що істотно знижується продуктивність автоматичного складання. Практика показує, що близько 80% відмовлень у роботі складальних автоматів відбувається через неякісне виготовлення деталей. Відмовлення самого устаткування з причин його розрегулювання, зносу і конструктивної недосконалості є більш рідкими.

В умовах автоматичного складання особливого значення набуває такт процесу складання на потоці, в який повинна вписуватися тривалість виконання автоматичного складання позиції.

Тривалість складальної позиції

$$t_{зб.н.} = t_n + t_{op} + t_c + t_{н.с.}, \quad (3.48)$$

де t_n – час переміщення деталей, які збираються, до складальної позиції, хв.,

t_{op} – час орієнтації деталей, хв.;

t_c – час сполучення (складання) деталей, хв.;

$t_{н.с.}$ – час переміщення зібраних деталей на наступну складальну позицію, хв.

Складова t_n визначається зі співвідношення

$$t_n = l / v_{\partial}, \quad (3.49)$$

де l – довжина ділянки від лотка магазину до складальної позиції, м,

v_{∂} – швидкість переміщення деталей або швидкість переміщення подавального механізму, м/хв.

За аналогічною залежністю визначається складова $t_{н.с.}$.

Час t_{op} на орієнтацію знаходять за формулою

$$t_{op} = l_M / v_M, \quad (3.50)$$

де l_M – довжина робочого ходу орієнтуючих механізмів, м;

v_M – швидкість руху механізмів, м/хв.

Час t_c необхідний для здійснення сполучення в об'єкті, що збирається, визначається характером сполучення.

При сполученні деталей, які входять одна в іншу вільно (із зазором) під дією власної ваги

$$t_c = \sqrt{2h/g} , \quad (3.51)$$

де h – висота падіння деталі, м; $2g$ – прискорення сили ваги (у технічних розрахунках приймають $9,81 \text{ м/с}^2$).

Якщо сполучення здійснюється з натягом під пресом, то

$$t_c = 1/n_{\partial.x} , \quad (3.52)$$

де $n_{\partial.x}$ – кількість подвійних ходів преса в хвилину.

Час, необхідний на сполучення гвинтового з'єднання

$$t_c = l_p / ns , \quad (3.53)$$

де l_p – довжина нарізного сполучення (загвинчування), мм;

n – частота обертання деталі, що загвинчується, об./хв.;

S – крок різьблення, мм.

Таким чином, тривалість автоматичної складальної позиції визначається швидкостями переміщення різних механізмів, використовуваних в автоматичному процесі складання.

Статистичний аналіз процесів складання і монтажу.

Визначення оптимальної структури ТП складання і монтажу; оцінка основних його техніко-економічних показників проводиться статистичними методами. За основу вибирається одна зі статистичних моделей. Розглянемо методіку 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 a_j , а для відомих

$a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik}$. 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 τ^{np} . Вона з імовірністю P^{bp} 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 τ^G , 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^{cb}_{ij} , а момент її закінчення – τ^k_{ij} . При формалізації її зручно представити в наступному вигляді

$$\tau^{cb}_{ij} = \tau^{\phi}_{ij} + \tau^y_{ij} + \tau^{kp}_{ij}, \quad (3.54)$$

де τ^{ϕ}_{ij} , τ^y_{ij} , τ^{kp}_{ij} – 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) накопичується статистичний матеріал про зміну їхніх тривалостей у часі (наприклад, шляхом хронометражу робочого часу). На підставі наявних дослідних і довідкових даних встановлюються детерміновані в часі показники процесу складання і ймовірних діапазонів їх зміни: тривалість підготовки до операції τ^{G}_{ij} , інтенсивність перевірки якості деталей λ_{np_r} , ймовірність появи браку деталей $P_i^{\bar{b}p}$ та ін. Накопичений статистичний матеріал представляється в компактній, зручній для сприйняття ЕОМ формі: встановлюються закони розподілу (рис. 3.73), визначаються їхні числові характеристики.

Це дозволяє розрахувати за допомогою рівнянь ритм складання

$$\tau^T = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n M(\tau^{c\bar{o}}_{ij}) + \sum_{i=1}^n M(\tau^G_{ij}) + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{n_{ki}} M(\tau^{np_{ki}}) \right], \quad (3.55)$$

кількість деталей, необхідна для складання за аналізований період,

$$n_{ki} = T / \tau^T, \quad (3.56)$$

граничні значення моменту складання i -ї операції

$$t^*_{ij} = t^n_j + 1,1 \left[M(\tau^G_{ij}) + \sum_{k=1}^{n_{ki}} M(\tau^{np_{ki}}) + M(\tau^{c\bar{o}}_{ij}) \right] \quad (3.57)$$

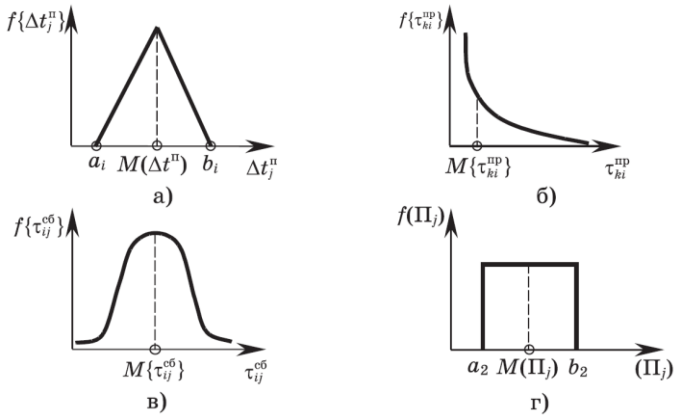


Рисунок 3.73 – Розподіл характеристик процесу складання:
a – інтервалів між моментами надходження ведучого напівфабрикату; *б* – тривалості перевірки якості деталей;
в – тривалості операції складання; *г* – вихідного параметра – маси виробу

i j-го вузла

$$t^*_{ij} = t^n_{ij} + 1,1 \sum_{i=1}^n \left[M(\tau^{\Gamma}_{ij}) + \sum_{k=1}^{n_{ki}} M(\tau^{np}_{ki}) + M(\tau^{cб}_{ij}) \right]. \quad (3.58)$$

Далі в аналітичній формі записуються всі співвідношення, необхідні при моделюванні: момент закінчення операції складання t^k_{ij} і момент часу готовності складального агрегату до виконання наступної операції t^{Γ}_{ij} :

$$t^k_{ij} = t^H_{ij} + \tau^{cб}_{ij}; \quad (3.59)$$

$$t^{\Gamma}_{ij} = t^k_{i-1,j} + \tau^{\Gamma}_{i-1,j}. \quad (3.60)$$

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

$$P_j = f(\alpha_j, \alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{ik}, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m), \quad (3.61)$$

де $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ – параметри, які характеризують складальний агрегат.

У зв'язку з випадковим характером процесів, які протікають при складанні, рівняння (3.61) можна представити у вигляді

$$P_j = P_j^0 \pm \delta(P_j), \quad (3.62)$$

де $\delta(P_j)$ – випадкові відхилення величини P_j , від деякого невідповідного 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 тактом випуску продукції, то її початок визначається наступним виразом

$$t^h = t_0 + (K + 1)\tau^T, \quad (3.63)$$

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

$$t_{ij}^n = \begin{cases} t_{ij}^n, & \text{якщо } t_{i-1,j}^k + \tau_{i-1,j}^F \leq t_{ij}^n; \\ t_{i-1,j}^k + \tau_{i-1,j}^F, & \text{якщо } t_{i-1,j}^k + \tau_{i-1,j}^F > t_{ij}^n. \end{cases} \quad (3.64)$$

Будь-які можливі простоті складального устаткування враховуються при визначенні τ^F .

Якщо операція складання почата при надходженні всіх напівфабрикатів на складання і готовності устаткування, то початок операції визначається за формулою

$$t_j^n \max\{t_j^n, t_1^n, t_2^n, \dots, t_i^n, \dots, t_n^n, t_{j-1}^k + \tau_{j-1}^F\}. \quad (3.65)$$

Операторна схема моделюючого алгоритму для складової операції складання має вигляд

$$\begin{aligned} & {}^8\Phi_1 P_{2\downarrow 21}^{2,18,20} P_{3\downarrow 9} \Phi_4 K_5 K_6 F_7 F_8^{13} F_9^{9,14} P_{10}^{\uparrow 12, 10, 17} \\ & K_{11}^{19,10} K_{12} \Phi_{13} P_{14}^{\uparrow 10} \Phi_{15} A_{16} P_{17\downarrow 11} K_{18}^{3, 11} F_{19} K_{20}^{3, 2} A_{21} Y_{22} \end{aligned} \quad (3.66)$$

Запитання для самоперевірки

1. Які конструктивно-технологічні особливості ДП, виконаних за технологією поверхневого монтажу?
2. Які існують варіанти і технології установки навісних елементів на друкованих платах?
3. Які існують схеми позиціонування елементів на друкованих платах?
4. Яке устаткування застосовується для складання та монтажу ТЗА на ДП? У чому їх особливості?
5. Які способи і технології кріплення елементів знаходять застосування у виробництві ДП?
6. Які методи і технологію отримання електричних з'єднань ви знаєте? Дайте пояснення.

7. У чому особливості монтажного паяння? Основні технологічні режими паяння.

8. Які припої та флюси знаходять застосування при отриманні електричних монтажних з'єднань?

9. У чому особливості групового паяння? Способи і технологія.

10. Які способи і технології монтажного зварювання ви знаєте? Дайте пояснення.

11. У чому особливості накрутки, як способу отримання електричного монтажу?

12. Перелічіть варіанти встановлення ЕК на ДП.

13. Які ви знаєте способи подання компонентів на складання?

14. Які ви знаєте схеми позиціювання компонентів при автоматичному складанні та монтажі?

15. Від чого залежить точність позиціювання?

16. Які вимоги пред'являються до електричних з'єднань?

17. Поясніть, які процеси відбуваються при паянні.

18. Наведіть порівняльні характеристики електричних з'єднань.

19. Поясніть, чому при паянні величина крайового кута θ повинна бути мінімальною?

20. Опишіть технологію нанесення паяльної пасти на ДП.

21. Поясніть сутність діаграми стану припою.

22. Які показники треба визначити для організації потокових ліній складання ТЗА?

4 ОСНОВИ РЕГУЛЮВАЛЬНИХ І КОНТРОЛЬНО-ВІПРОБУВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА ТЗА

4.1 Умови, що визначають необхідність введення в електричну схему (конструкцію) регулювальних елементів

При виробництві ТЗА застосовують велику кількість елементів, що мають значний розкид параметрів: резистори та конденсатори з можливими відхиленнями на 5, 10 і навіть 20 % від номінального значення, транзистори з великим розкидом коефіцієнта підсилення по струму, напівпровідникові діоди з великим розкидом припустимої зворотної напруги і зворотного струму та ін. Разом з тим, часто потрібно отримати дуже високу точність параметрів виробу, зібраного з цих елементів. Досягається це застосуванням технологічних операцій регулювання ТЗА. При виконанні цих операцій змінюють параметри окремих елементів (резисторів, конденсаторів, котушок індуктивності), що дозволяє отримати задані вихідні характеристики виробу.

Часто окремі елементи підбирають при регулюванні, користуючись набором елементів даного типу з різними номінальними значеннями параметрів (наприклад, набором резисторів з різними опорами).

Вироби, що надійшли на регулювання, можуть містити непридатні елементи і несправності, викликані помилками та дефектами складання й електричного монтажу. Буває, що у процесі складання встановлюється елемент іншого номіналу, змінюються параметри транзистора, перегрітого паяльником, зіпсується ізоляція проводів, порушується контакт через погану якість паяння або часом порушується з'єднання в місцях обриву проводів і виникає багато інших дефектів.

Операцію регулювання, при якій виявляються й усуваються несправності та дефекти складання і монтажу, називають **перевіркою функціонування** виробу. Ця операція включає пошук і виявлення несправностей, що вимагають

високої кваліфікації регулювальника і дуже гарного знання їм схеми, принципу дії і конструкції регульованого об'єкта.

Регулювання – це доведення отриманих при складанні параметрів виробу до значень, установлених технічними вимогами.

У ТЗА широко застосовують різні вибірні елементи: коливальні контури, об'ємні резистори, RC-фільтри та ін.

Вибірний елемент раціонально настроювати ще до його встановлення у виріб. Операція регулювання, в процесі якої вибірний пристрій налагоджують на задану частоту чи смугу частот, називається **настроюванням**.

Настроювання може носити попередній характер з наступним уточненням і одержанням заданих параметрів при регулюванні виробу. Необхідність такого уточнення настроювання виникає через те, що після підключення вибірного елемента до його входу і виходу виявляються підключеними додаткові ємності та опори, величина яких у різних виробках може істотно відрізнятись через розкид параметрів їхніх елементів. Може показатися, що в такому випадку попереднє настроювання вибірних елементів узагалі не потрібне. Однак у більшості випадків така думка буде помилковою. Попереднє настроювання елементів складного пристрою дозволяє відразу знайти сигнал на його виході, якщо пристрій справний, чи довідатися, що в ньому є несправність. Це вже саме по собі дає економію часу.

Як показує практика, навіть при ретельному складанні і монтажі та попередньому настроюванні вибірних елементів, виробу, що надходять на регулювання і контроль, мають відхилення вихідних параметрів від заданих.

Сутність регулювальних робіт зводиться до того, щоб при найменших витратах одержати від даної апаратури необхідний ефект; упровадження регулювальних робіт насамперед переслідує економічну мету – зменшення вартості продукції, що випускається.

Для цього потрібно розробити раціональну технологію регулювання ТЗА, яка б передбачала застосування не тільки прогресивних і високопродуктивних методів регулювання, але і відому послідовність операцій, раціональний вибір

устаткування, меж вимірювання регульованого параметра та контрольних точок.

Насамперед, необхідно знати, коли і якою мірою необхідно вводити регулювальні роботи. Критерієм у цьому відношенні також служить економіка виробництва.

Параметри деталей, вузлів, блоків, пристроїв, що випускаються на виробництві, з погляду допусків можуть бути охарактеризовані двома величинами: середнім значенням чи математичними сподіванням і стандартним відхиленням функції.

Якщо вихідні параметри виробу, що нас цікавлять, являють собою функції декількох змінних, тобто

$$f(k) = f(x; y; z; \dots), \quad (4.1)$$

то середнє значення, що характеризує номінал параметру виробу, має вигляд

$$f(\bar{k}) = f(\bar{x}; \bar{y}; \bar{z}; \dots) = f(\overline{x; y; z; \dots}) \quad (4.2)$$

і являє собою середнє арифметичне всіх можливих значень.

Стандартне відхилення функції σ_k характеризує можливі відхилення від номіналу. Значення параметрів основної кількості виробів у партії будуть знаходитися в межах $(\pm 3\sigma)$, які називаються полем розсіювання.

Для того щоб робити складання виробу без наступного регулювання, необхідним є виконання умови

$$\sigma_{vir} \leq \sigma_{prin}, \quad (4.3)$$

чи

$$3\sigma_{vir} \leq 3\sigma_{prin},$$

тобто поле розсіювання параметрів виробу повинне бути меншим чи дорівнювати припустимому за умовами конструкції (схеми) полю розсіювання.

Виконання цієї умови може бути досягнуто різними шляхами:

а) добором деталей із загального поля допуску $(\pm 3\sigma)$, що укладаються в припустиме поле допуску $(\pm 3\sigma_{прин})$;

б) організацією технологічного процесу виробництва виробів, який дозволить виконати умову

$$3\sigma_{прин} = 3\sigma.$$

Добір виробів із загального поля допуску $(\pm 3\sigma)$, що укладаються в припустиме поле допуску $(\pm 3\sigma_{прин})$, зводиться до того, що із загальної кількості виробів, що визначається законом розподілу випадкових величин (рис. 4.1), вибирається частина виробів, розкид параметрів яких відповідає припустимому полю розсіювання.

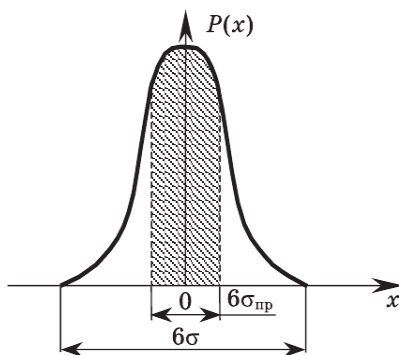


Рисунок 4.1 – Добір виробів із загального поля допуску

Кількість виробів n , що задовольняють заданому полю розсіювання $(\pm 3\sigma_{прин})$, із загальної кількості виробів N , що

задовольняють полю допуску $(\pm 3\sigma)$, визначається наступною залежністю

$$n = N \int_{-3\sigma_{\text{прин}}}^{3\sigma_{\text{прин}}} p(x) dx. \quad (4.4)$$

Позначаючи $\sigma_{\text{прин}}/\sigma = K$ – коефіцієнт жорсткості допуску, одержуємо

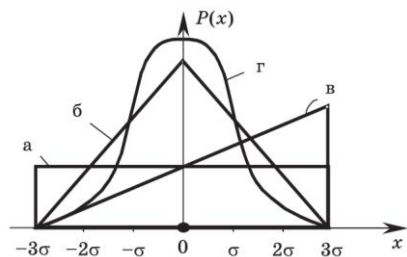
$$n/N = \int_{-3K\sigma}^{3K\sigma} p(x) dx. \quad (4.5)$$

Таким чином, для даної кривої розподілу ми можемо знайти залежність

$$n/N = \varphi(K), \quad (4.6)$$

що дозволяє з'ясувати економічну доцільність даної умови добору виробів.

Найбільш часто при виробництві електронних пристроїв зустрічаються криві розподілу, наведені на рис. 4.2.



- а) рівномірний розподіл; б) розподіл за законом Симпсона;
 в) рівнозростаючий розподіл; г) розподіл Гаусса;
 д) розподіл Максвелла (рис. 4.3).

Рисунок 4.2 – Криві законів розподілу

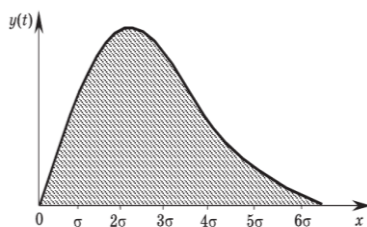


Рисунок 4.3 – Розподіл Максвелла

Користуючись наведеними формулами, можна установити залежність економічних показників від характеру кривої розподілу:

для закону рівноважної імовірності (рис. 4.2, а)

$$n/N = K; \quad (4.7)$$

для розподілу за законом Сімпсона (рис. 4.2, б)

$$n/N = 2K - K^2; \quad (4.8)$$

для рівнозростаючого закону розподілу (рис. 4.2, в) залежність аналогічна попередньому випадку

$$n/N = 2K - K^2;$$

для розподілу Гаусса (рис. 4.2, г)

$$n/N = 2\Phi(3\kappa), \quad (4.9)$$

де $\Phi(3\kappa)$ – нормована функція Лапласа.

Наведена рівність має місце за наступних умов:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}; \quad (4.10)$$

$$n/N = \int_{-3\sigma_{зад}}^{3\sigma_{зад}} p(x) dx = \frac{2}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{3\kappa\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (4.11)$$

Зводячи вираз до нормованих функцій Лапласа, одержуємо

$$n/N = 2 \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{3\kappa\sigma}{\sigma}} e^{-\frac{v^2}{2}} dv = 2\Phi(3\kappa). \quad (4.12)$$

Розподіл Максвелла, чи закон розподілу ексцентриситету, використовується для вивчення розподілів істотно позитивних величин головним чином при контролі якості продукції після складально-монтажних операцій і при оцінюванні параметрів в процесі регулювання виробів. Диференціальний закон розподілу Максвелла має вигляд

$$\varphi(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{t^2}{a} e^{-\frac{t^2}{2}}, \quad (4.13)$$

де a – параметр розподілу, що дорівнює $0,6267 \cdot \bar{x}$;

$$t = \frac{x}{a}; dt = \frac{dx}{a}; \sigma = 0,647a; \sigma^2 = 0,454a^2 .$$

Інтегральний закон розподілу

$$\Phi(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t t^2 e^{-\frac{t^2}{2}} dt = F(t) - 2t \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}, \quad (4.14)$$

$$\Phi(t) = F(t) - 2tf(t),$$

де $\Phi(t)$ – теоретичні накопичені частоти, отримані за розподілом Максвелла;

$F(t)$ – інтегральна функція нормального розподілу,

яка дорівнює $\frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ (табульована);

$f(t)$ – щільність нормального розподілу, що дорівнює

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} \text{ (табульована);}$$

x – випадкова величина.

Графік диференціального закону розподілу Максвелла наведено на рис. 4.3.

Аналіз кривих залежностей добору числа виробів від зменшення допуску показує, що найбільш «зручною» є крива

Максвелла. Але навіть у цьому випадку зменшення допуску призведе до того, що значну частину виробів необхідно буде вилучити з процесу виробництва. Тому вибір величини допуску повинен визначатися з економічних міркувань.

Таким чином, введення до конструкції (схеми) виробу регулювальних елементів, є одним з раціональних шляхів вирішення технічних і економічних проблем.

4.2 Процеси регулювання та налаштування технічних засобів автоматизації

Після складання та електричного монтажу ТЗА надходять на регулювання і настроювання. Цим технологічним процесом завершується виробництво технічних засобів автоматизації.

Основною задачею регулювальних робіт є випуск ТЗА з параметрами, що відповідають параметрам зразка, прийнятого за еталон, чи технічним умовам (ТУ) на вихідні параметри. Під регулювальними процесами розуміють комплекс робіт з доведення параметрів електронного пристрою до величин, які відповідають ТУ, нормалям чи зразкам, прийнятим за еталон. Характер і обсяг регулювальних робіт визначаються їхнім призначенням, конструкцією пристрою, видом і об'єктом виробництва, оснащенням технологічного процесу.

При проведенні того чи іншого заходу щодо регулювання необхідна економічна обґрунтованість прийнятого варіанта регулювання. Основним принципом організації регулювальних робіт є винесення регулювання на ранні операції складання, тобто потрібно заздалегідь відрегулювати окремі складальні одиниці, які пізніше будуть встановлені в пристрій.

Організація процесу регулювання ТЗА значною мірою визначається масштабами виробництва. При масовому виробництві основний обсяг регулювальних робіт падає на попередні регулювальні операції; на складання надходять уже відрегульовані блоки.

Регулювання полягає в тому, щоб, не змінюючи схеми і конструкції, отримати задані параметри. Його здійснюють за

допомогою регулювальних елементів (змінних резисторів, конденсаторів змінної ємності, осердь котушок індуктивності і т. ін.). Крім того, при регулюванні користуються підбором номіналів активних і пасивних елементів, якщо такий підбор передбачено (він повинен бути зазначений в електричній схемі та в інструкції з регулювання).

У практиці виробництва ТЗА розрізняють два види регулювання:

- а) заводське;
- б) експлуатаційне.

У випадку **заводського регулювання** отримують найкращі показники за допомогою усіх наявних регулювальних органів при середньому їхньому положенні.

При експлуатаційному регулюванні домагаються найкращих показників, використовуючи так звані експлуатаційні регулювальні органи, які виносяться на передню панель. При випуску дослідного зразка ТЗА отримання оптимальних параметрів досягається не тільки за допомогою передбачених регулювальних органів, але й шляхом часткової зміни схеми і конструкції зразка.

Для скорочення трудомісткості і підвищення ефективності регулювальних робіт варто передбачати попереднє настроювання окремих складальних одиниць і виробу в цілому. **Настроювання ТЗА** – це комплекс заходів з доведення параметрів виробу до значень, обумовлених ТУ чи інструкцією.

У серійному виробництві оптимальність параметрів досягається за допомогою усіх передбачених в апаратурі регулювальних органів. Процес регулювання розбивають на ряд простих операцій. Крім цього, передбачають попереднє регулювання окремих блоків. Це дозволяє скоротити трудомісткість робіт, оснастити процес регулювання спеціальними регулювальними приладами, які забезпечують ідентичність регулювання всіх зразків. У процесі регулювання можна методом підбору встановлювати заздалегідь передбачені схемою електрорадіоелементи (резистори, конденсатори та ін.).

У масовому виробництві регулювальні роботи розбивають на елементарні операції, які передбачають

одержання одного чи декількох пов'язаних один з одним параметрів із застосуванням мінімальної кількості приладів і інструментів. Заміна встановлених елементів виключається. Процес регулювання здійснюється на спеціалізованому устаткуванні.

Розглянемо загальну схему регулювання ТЗА (рис. 4.4). За цією схемою здійснюються регулювальні роботи стосовно до різних апаратів незалежно від їхньої конструкції, принципу дії і призначення.

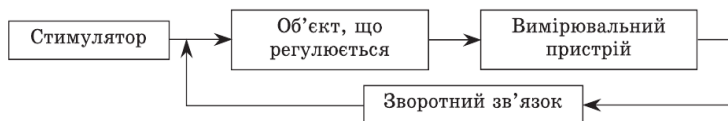


Рисунок 4.4 – Загальна схема регулювання ТЗА

Елементи цієї схеми мають наступне призначення:

– **стимулятор** – пристрій, що формує зовнішній вплив на регульований об'єкт. Під дією цих впливів регульований об'єкт починає функціонувати;

– **вимірювальний пристрій** дозволяє вимірювати різні характеристики регульованого об'єкта;

– **регульований пристрій** – об'єкт, що піддається регулюванню;

– **зворотний зв'язок** – елемент схеми, який дозволяє на підставі показань вимірювального пристрою формувати керуючі сигнали впливу на регульований об'єкт.

До основних характеристик і параметрів регульованих об'єктів у загальному випадку відносяться:

а) амплітудно-частотні характеристики;

б) фазочастотні характеристики;

в) передавальні характеристики;

г) навантажувальні характеристики;

д) чутливість, вибірність та ін.

Вимірюючи відхилення контролюваного параметра від номіналу, оператор вносить певні зміни в регульований об'єкт. Метою цих впливів є отримання необхідної характеристики.

При регулюванні ТЗА використовуються в основному два методи:

- а) регулювання по вимірювальних приладах;
- б) регулювання шляхом порівняння приладу, що настоюється, зі зразком (еталоном) (метод електричного копіювання).

Сутність методу регулювання по вимірювальних приладах зводиться до наступного. На вході регульованого об'єкта створюються певні умови (наприклад, подається необхідна напруга). За допомогою регульовальних елементів домагаються того, щоб на виході об'єкта отримати необхідну величину заданого параметра чи задану характеристику.

Схема регулювання по вимірювальних приладах представлена на рис. 4.5.

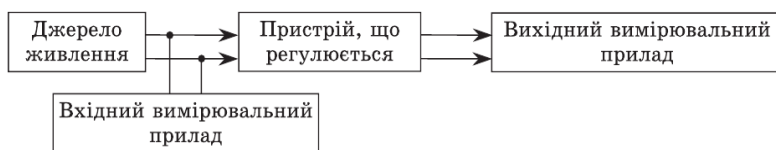


Рисунок 4.5 – Схема регулювання по вимірювальних приладах

Регулювання об'єкта за методом порівняння полягає в тому, що здійснюється порівняння ефекту впливу джерела напруги на регульований об'єкт і на еталон (рис. 4.6).

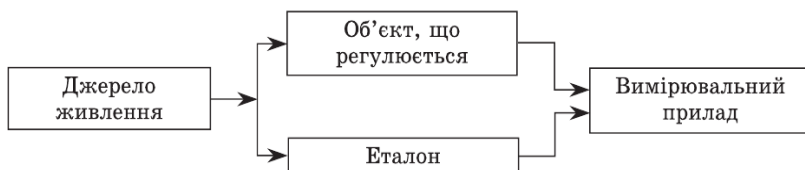


Рисунок 4.6 – Схема регулювання ТЗА методом порівняння

При регулюванні за методом порівняння немає необхідності знати точну величину вхідних і вихідних параметрів об'єкта. Потрібно тільки визначити, відповідає даний пристрій еталону в межах допуску, чи ні.

Застосування методу порівняння передбачає регулювання апаратури, зібраної з елементів, що задовольняють заданим ТУ.

Метод порівняння найбільш доцільний при серійному і масовому виробництві.

Застосування методу порівняння зі зразком звичайно не вимагає великих додаткових витрат на устаткування. В якості еталона при розширенні виробництва може бути використаний серійний прилад, більш ретельно відрегульований.

Таким чином, метод порівняння зі зразком дозволяє розширити фронт регулювальних робіт у тих межах, у яких це необхідно для роботи і виконання плану, без істотного збільшення витрат на вимірювальну апаратуру.

При розгляді будь-якої методики регулювання варто знати, з якою точністю воно здійснюється, які джерела і величини похибок вимірів.

Технологічні операції, на яких параметри ТЗА доводять до значень, установлених технічними вимогами, називають операціями регулювання чи просто регулюванням. Ці операції виконують після складання виробу, вони завершують технологічний процес його виготовлення. Основними документами, якими керується регулювальник, є технологічні карти чи інструкції з регулювання. Ці документи складаються на основі ТУ, але вони можуть містити більш жорсткі допуски на параметри виробів.

Одна з трудомістких задач регулювання – перевірка працездатності виробу, виявлення й усунення несправностей. Щоб полегшити виконання цих операцій, потрібні принципові і монтажні схеми, а також контрольні карти напруг і опорів.

Регулювання апаратури розділяється на ряд операцій. Звичайно виділяють наступні операції:

а) перевірка режимів, виявлення й усунення несправностей;

б) регулювання окремих блоків;

в) загальне регулювання.

Технологічний процес регулювання структурно складається з операцій, переходів, заходів. Розрізняють операції – підготовчі, регулювальні і контрольні.

Підготовчі операції містять у собі всі заходи щодо підготовки регульованого об'єкта і необхідної апаратури. Підготовка полягає у готуванні необхідного інструмента, прогріванні регульованого об'єкта (якщо це обумовлено ТУ) і контрольно-вимірювальної апаратури.

Регулювальні операції передбачають безпосереднє регулювання об'єкта у відповідності з інструкцією чи ТУ.

Контрольні операції здійснюються з метою контролю вихідних параметрів об'єкта після його регулювання.

Розрізняють наступні види регулювання:

- а) вузлове;
- б) блокове;
- в) комплексне.

Вузлове регулювання характерне для самостійних функціональних каскадів, що входять у загальну схему пристрою.

Блокове регулювання характерне для складної апаратури, яка складається з окремих функціональних блоків, кожний з яких має строго визначене призначення (блоки живлення, блок перемотування стрічки, блок підсилювачів та ін.).

Комплексне регулювання передбачає регулювання цілої системи, машини.

Вихідною документацією для регулювання в кожному окремому випадку є ТУ.

Роботи, пов'язані з регулюванням окремих вузлів та блоків, відрізняються особливою складністю і, як правило, виконуються на спеціально обладнаних робочих місцях монтажно-складального цеху. Комплексне регулювання здійснюється в спеціально обладнаних цехах.

При виконанні технологічного регулювання електронного пристрою регульовальнику необхідно мати на робочому місці наступну технічну документацію:

- а) інструкцію з регулювання чи інструкцію з поопераційного настроювання об'єкта;
- б) технічні умови чи стандарт підприємства на технічні вимоги до регульованого об'єкта;

в) описи й інструкції з експлуатації на використовуване нестандартне і стандартне устаткування;

г) спеціальні інструкції з техніки безпеки при використанні на робочих місцях різного високовольтного пробійного обладнання та ін.

Якість технологічної документації для регулювання має дуже велике значення в забезпеченні високої якості виробів. Інструкції з регулювання повинні бути ретельно відпрацьовані разом з розроблювачами виробу. У них чи в технологічних картах повинні бути описані не тільки операції регулювання і схеми вимірювань, але і міститися необхідні попередження з техніки безпеки. Повинні бути також наведені конкретні типи вимірювальних пристроїв і обладнання та ін.

Продуктивність праці регулювальників багато в чому залежить від правильної розробки й організації робочих місць, правильного розміщення устаткування, перевіряльного і регульованого об'єкта, інструмента та інших факторів.

4.2.1 Регулювальна апаратура й устаткування

При виробництві ТЗА використовуються як лабораторна, так і спеціальна вимірювальна апаратура й устаткування. Спеціальне обладнання виготовляється силами спеціальних цехів чи заводів.

Апаратура й устаткування повинні відповідати наступним вимогам:

а) спеціалізація;

б) висока надійність і стабільність роботи;

в) забезпечення заданої точності вимірювань;

г) простота експлуатації і перевірки основних параметрів;

д) низька вартість;

е) висока продуктивність.

В експериментальному та дрібносерійному виробництві вимірювально-регулювальну апаратуру підбирають, як правило, з числа стандартних вимірювальних приладів, з урахуванням їх точності, вартості, продуктивності та габаритів.

У серійному та масовому виробництві застосовується в основному спеціалізована або спеціальна апаратура й устаткування.

У наш час намітилося два напрямки в створенні цехової регулювальної апаратури. Одним з таких напрямків є створення спеціальних регулювальних стендів, другим – створення цехового централізованого обладнання.

Основна мета створення регулювальних стендів – упорядкування робочого місця регулювальника, усунення випадкових помилок, підвищення продуктивності праці. Наявність регулювальних стендів приводить до однаковості регулювання внаслідок однаковості внесених вимірювальною схемою похибок.

При серійному виробництві важливо знати кількість елементарних регулювальних операцій, що приходяться на регульований блок.

Елементарною регулювальною операцією називається така операція, що здійснюється без зміни вимірювальної апаратури чи місць її підключення, а також без зміни положення регульованого пристрою.

Елементарна регулювальна операція є найменшою за складністю і часом. Подальше розчленовування процесу регулювання на потоці нерационально.

Варто мати на увазі, що чим менша кількість елементарних регулювальних операцій, тим більш складною повинна бути вимірювальна апаратура.

Вартість регулювальних робіт на конвеєрі є одним з факторів, які визначають ефективність обраного методу регулювання, і може бути визначена із співвідношення:

$$S \approx (t_{\text{вим}} + t_{\text{дод}})a, \quad (4.15)$$

де S – вартість регулювальних робіт;

$t_{\text{вим}}$ – час вимірів;

$t_{\text{дод}}$ – додатковий час, пов'язаний з транспортуванням об'єкта на робоче місце;

a – вартість однієї години роботи регулювальника даного розряду.

У свою чергу

$$t_{вим} = t_{прил} + t_{відл} + t_{нопр}, \quad (4.16)$$

де $t_{прил}$ – час установлення стаціонарного режиму в приладі;

$t_{відл}$ – час відліку,

$$t_{відл} \approx \frac{t_0}{A_t P}, \quad (4.17)$$

де t_0 – початковий час відліку;

A_t – постійний коефіцієнт;

P – розряд регулювальника.

Час необхідний на внесення поправок

$$t_{нопр} \approx \frac{t_n}{(B + P)^2}, \quad (4.18)$$

де t_n – час внесення початкової поправки;

B – постійний коефіцієнт, що залежить від розряду робітника.

Вартість однієї години роботи регулювальника

$$a = c \cdot K, \quad (4.19)$$

де c – вартість роботи робітника 1-го розряду;

K – тарифний коефіцієнт розряду.

На основі конкретних даних можна визначити умови для вибору методу регулювання і необхідної кваліфікації регулювальника.

При проектуванні ТЗА необхідно враховувати, яку кількість регульованих складальних одиниць повинна мати апаратура, а також наявність виробничої бази і вимірювальної апаратури, призначеної для використання в серійному виробництві.

Виробництво ТЗА характеризується множинністю технологічних схем складання. Це у свою чергу приводить до великої кількості варіантів послідовності настроювання апаратури.

Послідовність і методика регулювання ТЗА залежить від того, випуск якої серії передбачається, на який парк вимірювальної апаратури необхідно орієнтуватися та ін.

Сутність регульовальних робіт зводиться до наступного: є задана функція, здебільшого – функція багатьох змінних

$$f_0(k) = f_0(x; y; z; \dots). \quad (4.20)$$

У результаті регулювання приладу фактично будемо мати

$$f_n(k) = f_n(x; y; z; \dots). \quad (4.21)$$

Потрібно домогтися, щоб

$$f(k) - f_n(k) \leq \Delta, \quad (4.22)$$

де Δ – наперед задана похибка.

Складність процесу регулювання полягає саме в тому, що в силу конструктивних і технологічних особливостей ТЗА кількість рівнянь, які описують процес регулювання, буває меншою, ніж кількість невідомих. Тому деякі з рівнянь вирішуються шляхом «підбору». Цей «підбір» звичайно здійснюється регулювальником, при цьому швидкість «підбору»

визначається його кваліфікацією. Природно, що точний облік таких факторів буває важким, а це у свою чергу призводить до труднощів в організації технологічних процесів.

Тому загальний напрямок вирішення проблеми регулювання повинен бути наступним.

Загальні рівняння для $f_0(k)$ і $f_n(k)$ розбивають на ряд частинних, незалежних рівнянь

$$\begin{aligned}
 f_{01}(k) &= f_{01}(x); \\
 f_{02}(k) &= f_{02}(y); \\
 &\dots\dots\dots \\
 f_{n1}(k) &= f_{n1}(x); \\
 f_{n2}(k) &= f_{n2}(y); \\
 &\dots\dots\dots
 \end{aligned}
 \tag{4.23}$$

і домагаються виконання частинних умов

$$\begin{aligned}
 f_{01}(k) - f_{n1}(k) &\leq \Delta_1, \\
 f_{02}(k) - f_{n2}(k) &\leq \Delta_2, \\
 &\dots\dots\dots
 \end{aligned}
 \tag{4.24}$$

Після того, як виконано частинні умови, здійснюється вирішення загального рівняння для Δ . Після проведення регулювальних робіт, описаних рівняннями $\Delta_1, \Delta_2, \dots$, має місце нерівність

$$f_0(k) - f_{np}(k) \leq \Delta, \tag{4.25}$$

де $f_{np}(k)$ – характеристика приладу, що пройшов цикл незалежних регулювань.

Задача комплексного регулювання зводиться до того, щоб домогтися виконання умови

$$\Delta_1 \leq \Delta. \quad (4.26)$$

У силу того, що

$$\Delta_1 - \Delta = \delta, \quad (4.27)$$

де δ – мала величина зміни окремих змінних загального рівняння.

Змінюючи значення кожної змінної по черзі в невеликих межах, домагаються щоразового зменшення δ . Ця операція відповідає знаходженню рішення рівняння (4.22) методом послідовного наближення.

Таким чином, регулювання виконується в наступному порядку. Спочатку регулюються окремі елементи схеми за умов відсутності взаємного зв'язку між ними, потім здійснюється підрегулювання в зборі. Це означає, що оператор при регулюванні блоку повинен змінювати тільки один його параметр.

4.2.2 Устаткування робочих місць і організація регулювальних робіт

Робочі місця для регулювання повинні задовольняти наступним вимогам:

а) містити вимірювальну апаратуру, що дозволяє перевіряти всі параметри, передбачені ТУ;

б) застосовувана апаратура повинна бути надійною, мати стабільні параметри і забезпечувати високу продуктивність праці; простоту, безпеку й економічність обслуговування;

в) вимірювальна апаратура повинна бути перевірена у встановлений термін і мати паспорт;

г) вимірювальна апаратура повинна мати мінімальну кількість органів настроювання для зниження трудомісткості регулювання;

д) забезпечувати вимоги техніки безпеки;

е) робоче місце повинне бути частиною загального технологічного процесу.

Зазначені вимоги можуть бути виконані найбільш повно при розробці спеціального обладнання, розрахованого на перевірку параметрів певного виробу.

У серійному та масовому виробництві значне зниження трудомісткості регулювання отримують, застосовуючи спеціальне устаткування та стенди, призначені для перевірки одного чи декількох параметрів виробу. Найбільший економічний ефект може бути досягнутий, якщо застосовувати автоматичні стенди для комплексної перевірки виробу за всіма параметрами.

При розробці технології регулювальних робіт і виборі устаткування необхідно керуватися економічною доцільністю.

4.3 Умови, що визначають необхідність контролю у процесі виробництва технічних засобів автоматизації

Відрегульований виріб піддають контролю. Основними умовами, що визначають необхідність і доцільність уведення контролю на тій чи іншій стадії виробництва, а також форми цього контролю, є економічність і ефективність.

Здійснювати контроль на кінцевих операціях виробництва ТЗА можна тільки в найпростіших пристроях.

Якщо вважати, що вихідним моментом для вибору точок контролю і кількості контрольованих виробів є вартість даного виробу й імовірність браку при його виробництві, то імовірність браку змонтованого блоку в цілому визначається в такий спосіб.

Для блоку, що складається з n деталей, з імовірністю браку P_g кожної з них, імовірність браку змонтованого блоку дорівнює

$$P_B = n \cdot P_g . \quad (4.28)$$

Для більш складних випадків, коли блок збирається з m деталей з імовірністю браку p_m , n деталей з імовірністю браку p_n і g деталей з імовірністю браку p_g , імовірність браку змонтованого блоку визначиться співвідношенням

$$P_B = mp_m + np_n + gp_g . \quad (4.29)$$

Крім браку при виробництві деталей можуть бути помилки при складанні.

Помилки при складанні можуть бути враховані в такий спосіб. Якщо, наприклад, вузол збирається з n деталей з імовірністю браку p_n і імовірність помилки складання дорівнює P_y , блок збирається з m таких вузлів, причому імовірність помилки складання блоку дорівнює P_{cb} , то імовірність браку зібраного блоку визначається співвідношенням

$$P_{cb.бл.} = m(np_n + P_y) + P_{cb} . \quad (4.30)$$

Для орієнтовних розрахунків можна скористатися наступними цифрами: імовірність браку деталей, вузлів – (10^{-3} - 10^{-5}), імовірність помилки складання вузлів, блоків – (10^{-2} - 10^{-4}).

З практики випливає, що без уведення подетального, а часто навіть поопераційного контролю неможливе отримання придатного виробу після складання.

Операції, на яких варто робити контроль, визначаються економічними міркуваннями. Методика урахування економічних міркувань зводиться до наступного.

Якщо K – вартість готового блоку; J – вартість контролю деталі типу i ; $p(i)$ – припустима імовірність браку

при виробництві деталей типу i , то економічна недоцільність застосування подетального контролю визначається наступною нерівністю

$$p(i) \leq \frac{J}{K}. \quad (4.31)$$

Для блоку, що складається з $(m + n + g)$ деталей, умова економічної недоцільності введення поопераційного контролю виразиться нерівністю

$$m \left[p(m) - \frac{M}{K} \right] + n \left[p(n) - \frac{N}{K} \right] + g \left[p(g) - \frac{Q}{K} \right] \leq 0, \quad (4.32)$$

де M – вартість контролю m деталей;

N – вартість контролю n деталей;

Q – вартість контролю g деталей.

Одним із частинних рішень цієї нерівності, що не залежить від кількості деталей, буде

$$p(m) \leq \frac{M}{K}; \quad p(n) \leq \frac{N}{K}; \quad p(g) \leq \frac{Q}{K}. \quad (4.33)$$

З отриманих рівнянь видно, що чим вище вартість виробу в порівнянні з вартістю контролю, тим менше припустима імовірність браку в партії, при якій можлива відсутність поопераційної перевірки.

4.4 Автоматизація регулювання електронних засобів

4.4.1 Класифікація систем автоматизованого регулювання електронних засобів

У процесі автоматизованого регулювання ТЗА необхідно постійно спостерігати і вимірювати характеристики вихідного сигналу пристрою, перетворювати дані в деякий поточний критерій регулювання, а також змінювати фактори самонастроювання в залежності від відхилень поточного критерію регулювання від оптимального.

Перш ніж проектувати автоматизовану систему регулювання (АСР) ТЗА, необхідно визначити її цільове призначення, тобто сформулювати задачу. Якщо прийняти цільове призначення за першу ознаку класифікації, то АСР ТЗА можна розділити на системи зі збереженням: заданих динамічних характеристик, постійних заданих навантажень, частоти й амплітуди (системи із самообмеженнями), та системи незмінної структури.

Не менш важливою ознакою є джерело поточної інформації і спосіб її отримання в процесі регулювання ТЗА. Відповідно до цієї ознаки системи можуть бути розділені на такі групи: автоматизовані системи регулювання ТЗА по зразковому пристрою; екстремальні автоматизовані системи регулювання ТЗА; системи автоматизованого регулювання, що настроюють ТЗА по вихідних змінних; автоматизовані системи регулювання, що настроюють ТЗА за динамічними характеристиками та ін.

Автоматизовані системи регулювання ТЗА (системи з пасивним самонастроюванням) не отримують робочу інформацію в процесі функціонування. Розрахунковим шляхом у них устанавлюється серія оптимальних станів, кожний з яких може наступити лише після збігу певних ознак. Як правило, у такій системі необхідно мати зразковий пристрій. Процес регулювання здійснюється таким чином, щоб регульований пристрій відтворював поведінку зразкового. Вихідні сигнали зразкового і регульованого пристрою порівнюються, у результаті чого виявляється похибка, яка характеризує зміну

динаміки процесу регулювання. Зразковий пристрій має такі ж характеристики, що і регульований за нормальних умов, тому похибка з'являється тільки тоді, коли параметри регульованого пристрою змінюються.

Основою екстремальних систем автоматизованого регулювання ТЗА є нелінійна ланка, яка характеризує оптимальний режим її роботи. Через те, що існує оптимальний режим, функція, яка визначає залежність виходу і входу, має екстремальну точку.

Припустимо, що в процесі регулювання вихідний сигнал спочатку збільшується, потім, досягнувши максимуму, зменшується. Отже, перша похідна спочатку позитивна, а потім переходить через нуль у негативну область. У деякій точці похідна досягає критичного значення, при якому змінюється напрямок руху. Процес циклічно повторюється, у результаті чого система "нишпорить" біля оптимального значення вихідного параметра.

Існує чотири типи систем, що можуть бути використані при проектуванні АСР ТЗА: екстремального регулювання з заміною похідної; із синусоїдальним спробним сигналом; градієнтні системи екстремального регулювання; з логічним настроюванням.

Автоматизовані системи регулювання, що настроюють ТЗА по вихідних змінних, регулюють первинні параметри пристрою в залежності від зміни вихідних параметрів. У загальному випадку така система може регулювати ТЗА не тільки на основі спостереження за його вихідними параметрами, але і за їхніми похідними.

Автоматизовані системи регулювання, що настроюють ТЗА за динамічними характеристиками, відносяться до класу систем, у яких параметри елементів регулювання автоматично змінюються відповідно до зміни в часі динамічних характеристик регульованого пристрою (імпульсної характеристики, передавальної функції) для того, щоб оформити заданий критерій.

Система формується таким чином, щоб критерій регулювання пов'язував параметри регульованого пристрою з показником якості, тобто з характеристиками перехідних чи

стаціонарних процесів. За цим принципом будується ціла група систем, причому алгоритм регулювання дозволяє мінімізувати середньоквадратичну похибку за умови найкращої статистичної фільтрації і час регулювання з метою найкращого наближення до деякої оптимальної кривої в кожний момент часу.

Інша група систем характеризується тим, що критерій якості явно не пов'язаний з характеристиками процесу регулювання. Задача самонастроювання формулюється у вигляді вимог до характеристик системи, наприклад, одержання визначеної передавальної функції, постійного непрямого показника якості та ін.

4.4.2 Побудова математичних моделей автоматизованих процесів регулювання ТЗА

Точність технологічного процесу регулювання в реальних умовах для даного виробництва дуже часто відрізняється від проектної, закладеної в інструкції з регулювання конкретного пристрою, і тому може бути визначена лише після реалізації цього процесу в заводських умовах. Для того щоб отримати досить об'єктивну оцінку точності технологічного процесу регулювання, необхідно статистично обробити дані, отримані в результаті регулювань ТЗА. Під аналізом точнісних властивостей процесу регулювання розуміють статистичне дослідження закономірностей процесу, яке дозволяє установити структуру похибок, виявити їхній зв'язок з тими чи іншими фізичними факторами і визначити характер змін у часі. У процесі аналізу визначаються кількісні і якісні характеристики процесу чи його математичної моделі і параметрів.

Через те, що досліджується точність технологічного процесу автоматизованого регулювання ТЗА, цілком природно оцінити її за основною похибкою. Якщо АСР настроєна таким чином, що електронний пристрій після регулювання характеризується вихідним параметром Y_0 ; а настроювання АСР у процесі регулювання даного типу апаратури залишається

незмінним, то вихідний параметр відрізняється від y_0 на випадкову величину Δy , що приймає різні значення в різних робочих циклах регулювання через особливості останнього для кожного електронного пристрою. Таким чином, вихідний параметр першого, другого і наступного пристроїв визначається співвідношенням відповідно

$$\begin{aligned} \Delta y_1 &= y_0 + \Delta y_1; \\ \Delta y_2 &= y_0 + \Delta y_2; \\ &\dots\dots\dots \\ y_j &= y_0 + \Delta y_j. \end{aligned}$$

У сукупності вихідні параметри пристроїв y_1, y_2, \dots, y_j утворюють випадкову послідовність, причому математичне сподівання вихідного параметра в кожному робочому циклі регулювання визначається настроюванням АСР для даного типу ТЗА на параметр y_0 .

У реальних умовах точне настроювання на y_0 зробити неможливо через похибки вимірювальних приладів, помилки методу регулювання, суб'єктивні помилки регулювальника-оператора і т. ін. Після першого спробного регулювання електронного пристрою неминуче відхилення вихідного параметра від y_0 . Оскільки його значення і знак передбачити неможливо, початкове настроювання АСР варто розглядати як початкову величину, тобто $y_1 = \overline{y_1} + \Delta y_1$, де $\overline{y_1}$ початкове настроювання АСР.

Через те, що в процесі регулювання апаратури настроювання АСР унаслідок старіння елементів схеми, впливу навколишнього середовища й інших випадкових факторів поступово змінюється і є випадковим, початкові настроювання АСР при регулюванні другого, третього й інших зразків

апаратури теж повинні розглядатися як випадкові величини $\overline{y_2}$, $\overline{y_3}$ і т.д.

Тоді можна записати

$$\begin{aligned} \overline{y_1} &= \overline{y_1} + \Delta y_1; \\ \overline{y_2} &= \overline{y_2} + \Delta y_2; \\ &\dots\dots\dots \\ \overline{y_j} &= \overline{y_j} + \Delta y_j. \end{aligned} \quad (4.34)$$

Таким чином, випадкова послідовність похибок вихідних параметрів ТЗА y_j являє собою суму двох випадкових послідовностей: $\overline{y_j}$ (похибка настроювання АСР) і Δy_j (відхилення вихідного параметра j -го регульованого пристрою).

Випадкові послідовності $\overline{y_j}$ і $\overline{\Delta y_j}$ принципово відрізняються одна від одної. Похибки $\overline{\Delta y_j}$ приймають значення, незалежні від настроювання АСР і від $\overline{\Delta y_{j-m}}$ у попередніх циклах. Джерелом похибки регулювання є розкид параметрів елементів схеми, викликаний неточністю виготовлення цих елементів і їх старінням, а також похибка, обумовлена технологічним процесом виготовлення електронного пристрою. Похибка y_j , що має імовірнісний характер, залежить від старіння елементів АСР і від зовнішніх впливів (при стаціонарному режимі настроювання АСР тим більше відхиляється від середнього значення, чим більше відрегульовано виробів). Якщо основна причина зсуву настроювання вона зміщається монотонно і зберігає випадковий характер, тобто

$$\begin{aligned} \overline{y_j} &\geq \overline{y_{j+1}} \geq \overline{y_{j+2}} \geq \dots, \\ \overline{y_j} &\leq \overline{y_{j+1}} \leq \overline{y_{j+2}} \leq \dots \end{aligned} \quad (4.35)$$

Звідси випливає, що для випадкової послідовності спостерігається взаємозалежність її членів. Отже, для цієї залежності характерна кореляція.

Розглянемо можливі математичні моделі випадкової послідовності y_j . Для цього визначимо математичні моделі випадкових послідовностей Δy_j і $\overline{y_j}$, а по їхній сукупності – математичну модель для y_j . Випадкова величина Δy незалежно від f розподілена, як правило, за нормальним законом з нульовим математичним сподіванням. Її дисперсія при добре налагодженому технологічному процесі залишається постійною протягом тривалого часу.

$$\begin{aligned} M(\overline{y_j}) &= M(\overline{y_1}); \\ D(\overline{y_j}) &= D(\overline{y_1}); \\ R_y^-(n) &= R(0) = D(\overline{y_j}) \\ n &= 0, 1, 2, 3, \dots \end{aligned} \quad (4.36)$$

Але в реальних умовах уже після першого спробного регулювання починається зсув настроювання АСР, що носить випадковий характер. Тоді вирази (4.36) приймають вигляд

$$\begin{aligned} M(\overline{y_j}) &= M(\overline{y_1}) + M(\overline{\Delta y_j}); \\ D(\overline{y_j}) &= D(\overline{y_1}) + D(\overline{\Delta y_j}); \\ R_y^-(j, j+n) &= D(y_1) + R\Delta y(j, j+n), \end{aligned} \quad (4.37)$$

де випадкова послідовність $\overline{\Delta y_1} = \overline{y_j} - \overline{y_1}$ являє собою зсув настроювання системи в процесі регулювання електронного пристрою.

З виразів (4.34) і (4.37) випливає, що випадкова послідовність $\overline{\Delta y_j}$ описується сумою двох випадкових послідовностей, з яких одна стаціонарна некорельована, що характеризує миттєву похибку регульованої апаратури, а інша стаціонарна корельована, що характеризує поведінку похибки вихідного параметра апаратури при регулюванні.

Якщо в процесі регулювання спостерігається зсув настроювання АСР $\overline{\Delta y_j}$, який є невеликим у порівнянні з математичним сподіванням $M(\overline{y_j})$, то математична модель стаціонарного випадкового процесу містить у собі повільно загасаючу кореляційну функцію. Якщо розсіювання цієї величини є значним, процес зсуву настроювання системи можна представити математичною моделлю випадкового процесу з незалежними приростами. Слід зазначити, що процес зсуву настроювання АСР набуває властивості тієї чи іншої математичної моделі не відразу, а поступово; початковий же відрізок процесу регулювання звичайно буває настільки коротким, що ним практично можна знехтувати.

Використовуючи вирази (4.34), (4.35) і (4.37), розглянемо основні властивості двох математичних моделей випадкової послідовності y_j .

Для моделі 1:

$$\begin{aligned} M(y_j) &= M(\overline{y_1}) + \lambda(j-1); \\ D(y_j) &= D(\overline{y_1}) + D(\overline{\Delta y}) + D(\Delta y); \\ R_y(j, j+n) &= R_y(n); \end{aligned} \quad (4.38)$$

$$\begin{cases} D(\overline{y_1}) + D(\overline{\Delta y}) + D(\Delta y) & \text{при } n=0, \\ D(\overline{y_1}) + R_{\Delta y}^-(n) & \text{при } n=1,2,3\dots \end{cases}$$

Для моделі 2:

$$\begin{aligned} M(y_j) &= M(\bar{y}_1) + (j-1)M(z); \\ D(y_j) &= D(\bar{y}_1) + (j-1)D(z) + D(\Delta y); \end{aligned} \quad (4.39)$$

$$R_y(j, j+n) = \begin{cases} D(\bar{y}_1) + (j-1)D(z) + D(\Delta y) & \text{при } n=0, \\ D(y_1) + (j-1)D(z) & \text{при } n=1,2,3\dots \end{cases}$$

Порівнюючи вирази (4.38) і (4.39), можна помітити відмінності математичних моделей 1 і 2. Так, для моделі 1 лінійна функція $M(y_j)$, дисперсія $D(y_j)$ і кореляційна функція R_y постійні і залежать тільки від n [при $n \rightarrow \infty$ функція $R_{\Delta y}(n) \rightarrow 0$ і $R_y(n) \rightarrow D(\bar{y}_1)$]. Для моделі 2 $M(y_j)$ – лінійна функція, $D(y_j)$ лінійно зростає зі збільшенням j , а R_y залежить від j і не залежить від n при $n > 0$.

Використовуючи (4.38) і (4.39), можна визначити належність технологічного процесу регулювання ТЗА до тієї чи іншої моделі. Для цього необхідно на підставі статистичних даних про технологічний процес регулювання визначити $M(y_j)$, $D(y_j)$, $R(j, j+n)$ і, в залежності від характеру $D(y_j)$ та $R(j, j+n)$, описати цей процес за допомогою моделі 1 чи 2.

Однак не виключено, що обидві моделі технологічного процесу регулювання можуть не відповідати власне процесу регулювання. Як правило, це свідчить про те, що процес автоматичного регулювання є нестабільним. У цьому випадку його необхідно налагодити.

Відповідність досліджуваного процесу регулювання конкретного електронного пристрою визначеній моделі дозволяє характеризувати точнісні властивості процесу в

якісному відношенні, передбачити характер його подальшого розвитку та вибрати методику розрахунку системи автоматичного регулювання, яка для різних моделей технологічного процесу є різною, а також судити про технічні причини розкиду вихідного параметра регульованого електронного пристрою в процесі його автоматичного регулювання. Оскільки на процес регулювання ТЗА впливає ряд випадкових факторів, вагова функція цих похибок може бути значною. Однак більш важливу роль в аналізі точності процесу регулювання відіграють кількісні характеристики параметрів математичних моделей.

Так, параметрами моделі першого типу є математичне сподівання $M(\bar{y}_1)$ і дисперсія початкового настроювання $D(\bar{y}_1)$; дисперсія розсіювання миттєвих похибок $D(\Delta y)$; кореляційна функція випадкової складової зсуву настроювання АСП $R_{\Delta y}^-(n)$, яка дорівнює при $n=0$ дисперсії $D(\bar{\Delta y})$, а також інтенсивність зсуву (за один цикл регулювання) лінійної складової настроювання λ . Якщо відомі функції $M(y_j)$, $D(y_j)$ і $R(n)$, то з виразу (4.38) одержуємо

$$\begin{aligned} M(\bar{y}_1) &= M(y_1); \\ D(\bar{y}_1) &= R(\infty). \end{aligned} \quad (4.40)$$

Через те, що при $n \rightarrow \infty$ $R_{\Delta y}^-(n) \rightarrow 0$,

$$R_{\Delta y}^-(n) = \begin{cases} R(n) - D(\bar{y}_1) + D(\Delta y) & \text{при } n=0, \\ R(n) - D(y_1) & \text{при } n \neq 0. \end{cases}$$

При цьому $\lambda = M(y_{j+1}) - M(y_j)$.

З виразу (4.40) можна знайти всі параметри, крім $D(\Delta y)$, що визначається по $R(n)$ з умови

$$D(\Delta y) = 2\pi \min S_y(\omega), \quad (4.41)$$

де $S_y(\omega)$ – спектральна щільність випадкової послідовності, що може бути отримана перетворенням Фур'є від кореляційної функції

$$S_y(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_y(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau$$

чи

$$S_y(\omega) = \frac{1}{2\pi} \left\{ 2 \sum_{n=1}^{\infty} [R_y(n) - D(\bar{y}_1)] \cos \omega n + R_y(0) \right\},$$

де ω – частота;

τ – точка на часовій осі стаціонарного процесу.

Досить визначити $S_y(\omega)$ для $\omega = \pi$, тому що у випадку монотонно загасаючої кореляційної функції, близької за своїм характером до експоненти, мінімальне значення спектральної щільності $\min S_y(\omega)$ спостерігається при $\omega = \pi$. У цьому випадку $\cos \omega n = \cos \pi n$ приймає значення (+1).

Припустимо, що за допомогою виразів (4.40) і (4.41) обчислені всі параметри моделі 1. Тоді, скориставшись дослідними даними для характеристик $M(y_1)$, $D(y_j)$ і $R_y(n)$, виявимо роль кожного з параметрів виразу (4.40) при аналізі точносних властивостей досліджуваного технологічного процесу. При цьому скористаємося не дисперсіями, а відповідними середньоквадратичними відхиленнями $\sigma(y_1)$, $\sigma(\Delta y)$, $\sigma(\bar{\Delta y})$ цих величин.

Параметр $M(\bar{y}_1)$ характеризує систематичну, а $\sigma(\bar{y}_1)$ – випадкову похибку початкового настроювання АСР для обраного типу ТЗА. Якщо $M(\bar{y}_1)$ істотно відхиляється від вихідного параметра Y_0 (Y_0 звичайно знаходиться посередині поля допуску чи в окремих випадках трохи зсунутий відносно середини), то зсув можна компенсувати зміщенням настроювання АСР у ході технологічного процесу. Якщо поле розсіювання значень початкового настроювання $6\sigma(\bar{y}_1)$ займає велику частину поля допуску, поліпшення якості початкового настроювання ефективно сприяє підвищенню якості регулювання електронного пристрою.

Параметр $\sigma(\Delta y)$ дозволяє оцінити вплив миттєвих похибок регулювання апаратури на точність технологічного процесу. Якщо величина $6\sigma(\Delta y)$ складає велику частину поля допуску, варто вжити заходів до зменшення відхилення параметрів АСР: використовувати розбракування елементів за допуском, стабілізацію технологічного процесу виготовлення апаратури і т. ін. Важливий засіб підвищення точності регулювання – застосування на основі інформації, отриманої від регульованої апаратури по каналу зворотного зв'язку, автоматичного оптимізатора регулювання ТЗА.

Параметр $R_{\Delta y}^-(n)$, що відповідає при $n = 0$ дисперсії $D(\bar{\Delta y})$, визначається в значній мірі дією зовнішніх факторів на технологічний процес регулювання. Якщо $6\sigma(\bar{\Delta y})$ складає значну частку поля допуску, необхідно здійснити заходи щодо стабілізації впливу зовнішніх факторів, що може бути досягнуте за допомогою створення відповідного мікроклімату в цеху чи екранування приміщення, де здійснюється регулювання. При створенні автоматичного оптимізатора регулювання ТЗА необхідно знати $R_{\Delta y}^-(n)$ при $n = 1, 2, 3, \dots$

Параметр λ характеризує інтенсивність розстроєння АСР. При надмірно великому λ варто частіше робити профілактичні огляди і підналагодження АСР, а також використовувати самоконтроль цієї системи.

З виразів (4.39) при наявності дослідних даних і відомих $M(y_j)$, $D(y_j)$, $R(j, j+n)$ отримуємо:

при $n=0$

$$M(\bar{y}_1) = M(y_1);$$

$$D(\bar{y}_1) = D(y_1) - D(\Delta y);$$

$$D(\Delta y) = R(j, j+n) - R(j, j+n),$$

при $n \neq 0$

$$M(z) = M(y_{j+1}) - M(y_j);$$

$$D(z) = D(y_{j+1}) - D(y_j).$$

Роль параметрів $M(\bar{y})$, $D(\bar{y})$ і $D(\Delta y)$ в аналізі похибки регулювання електронного пристрою розглянута для моделі 1, а параметр $M(z)$ за фізичним змістом тотожний параметру λ . Тому обмежимося аналізом параметра $D(z)$, який визначається в основному розсіюванням випадкової величини, викликаного старінням АСР. При аналізі моделі зручніше користатися $\sigma(z)$, ніж $D(z)$. Чим більше $\sigma(z)$, тим більш нерівномірним є старіння АСР, викликане великим розкидом параметрів елементів регульованих пристроїв і недотриманням технологічних процесів їхнього виготовлення. Для пристроїв більш високої якості зменшується $\sigma(z)$ і час регулювання.

Розглянута методика побудови математичних моделей регулювання може бути використана для виявлення основних

джерел похибок автоматизованих процесів регулювання, а також для порівняння різних процесів регулювання і вибору серед них найкращого. Описані моделі технологічних процесів можуть застосовуватися при створенні адаптивних самонастроювальних систем регулювання ТЗА та виборі найкращих АСР за критерієм точності процесу регулювання.

4.4.3 Способи автоматизації процесу регулювання ТЗА

Необхідність побудови систем автоматичного регулювання як самонастрійних систем керування обумовлена в основному двома задачами.

По-перше, багато систем автоматичного керування працюють в умовах змінювання рівня і спектрального складу керуючих сигналів і завад. Щоб побудувати систему керування, оптимальну стосовно кожної реалізації чи оптимальну в середньому при невідомих характеристиках зовнішніх впливів, необхідно ввести в неї пристрої, що аналізують вхідні і вихідні сигнали і на підставі обраного критерію оптимізують оператор системи керування. Такі системи, які іноді ще називають системами із самонастроюванням за вхідним сигналом, утворюють першу групу самонастрійних систем автоматичного регулювання.

По-друге, динамічні характеристики об'єктів регулювання ряду автоматичних систем змінюються в широких межах у залежності від умов роботи. Якщо потрібно підтримувати постійними чи змінювати за певним законом динамічні характеристики замкнутої системи, параметри коригувальних ланок регулюють за визначеним законом. Такі самонастрійні системи утворюють другу групу і називаються самонастрійними системами зі стабілізацією динамічних характеристик.

Крім того, існують комбіновані самонастрійні системи, у яких процеси настроювання застосовуються для оптимізації замкнутої системи керування, як при зміні вхідних сигналів, так і при зміні характеристик об'єкта керування.

Відомо, що частотні методи найбільш поширені в практиці інженерних розрахунків. Вибираючи і стабілізуючи визначені точки на частотних характеристиках (амплітуду на резонансній частоті, смугу пропускання, частоту зрізу і запас стійкості по фазі та ін.), можна отримати систему регулювання з будь-якими заданими властивостями (у лінійному наближенні). Самонастрійні системи зі стабілізацією частотних характеристик застосовуються в системах автоматичного керування об'єктами, динамічні характеристики яких змінюються в широкому діапазоні при відсутності апріорної інформації. Такі системи зустрічаються в різних галузях техніки.

Крім того, застосування принципу самонастроювання доцільно для систем керування, які є критичними до розкиду параметрів елементів навіть при постійних характеристиках об'єкта. Прикладом можуть служити оптимальні з погляду статистичних критеріїв лінійні системи з високим порядком астатизму.

Однак до технологічного процесу регулювання часто пред'являються більш жорсткі вимоги, викликані необхідністю одночасно контролювати кілька параметрів амплітудно-частотної характеристики.

Система фазового автоматизованого регулювання фільтрів і трансформаторів проміжної частоти радіомовних приймачів для найпростіших одно- і двоконтурних ланцюгів, як для попереднього регулювання, так і для регулювання фільтрів у комплексі з приймачем (рис. 4.7), складається з генератора 1, фазового давача 2, до якого підключається регульований контур фільтра, фазового детектора 3 і виконавчого пристрою 4, до складу якого входять модулятор, підсилювач потужності й електродвигун з редуктором.

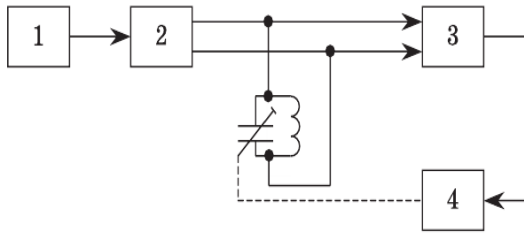


Рисунок 4.7 – Структурна схема автоматизованої системи регулювання фільтрів, здійснюваного за зразковою амплітудно-частотною характеристикою

Резонансний контур регулюється по несучій частоті генератора, а керування здійснюється за фазовою характеристикою давача. У залежності від фактичного розстроєння на виході фазового детектора 3 виникає напруга розузгодження, яка керує виконавчим механізмом обертання осердя настроювання. Знак напруги розузгодження визначає напрямок обертання.

Розглянута АСР неприйнятна для регулювання більш складних ланцюгів і пристроїв (фільтри зосередженої селекції, електронні підсилювачі та ін.), тому що вона має обмежену кількість каналів реалізації керуючих впливів. Крім того, у процесі регулювання не контролюється форма амплітудно-частотної і фазочастотної характеристик регульованого пристрою.

На рис. 4.8 зображено структурну схему АСР фільтра, регульованого за частотною характеристикою, де 1 – задавальний генератор хитної частоти, що перекриває весь частотний діапазон регульованого фільтра; 2 – регульований пристрій; 3 – зразковий пристрій; 4 – віброперетворювач; 5-7 – блоки фільтрів; 8-10 – виконавчі органи. Регулювання здійснюється методом порівняння зі зразковим пристроєм 3. Частотна характеристика регульованого пристрою порівнюється з характеристикою зразкового пристрою у віброперетворювачі.

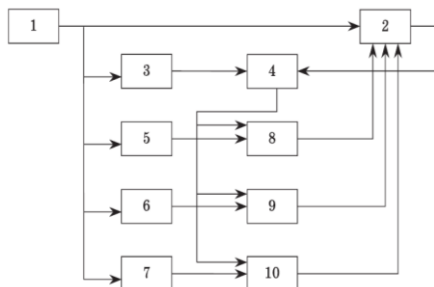


Рисунок 4.8 – Структурна схема автоматизованої системи регулювання фільтрів методом порівняння зі зразковим пристроєм

Кожен контур фільтра на заданій частоті регулюється по сигналу s , який надходить від віброперетворювача на виконавчі органи. Сигнал розузгодження по заданих частотах регулювання селектується блоками фільтрів і являє собою різницю напруг, що повторюють форму частотних характеристик зразкового і регульованого пристроїв у всьому частотному діапазоні. Виконавчі органи здійснюють регулювання в заданих точках частотного діапазону, використовуючи в якості сигналу відпрацьовування розузгодження.

Структурна схема АСР фільтрів, регульованих за амплітудно-частотною характеристикою, показана на рис. 4.9, де 1 – задавальний генератор хитної частоти; 2 – регульований підсилювач, максимальний коефіцієнт підсилення якого обмежений і вибирається з умови мінімального припустимого підсилення регульованого пристрою; 3 – резонансний фільтр; 4-7 – блоки селекції частот регулювання; 8-11 – генератори стробуючих імпульсів; 12-15 – порівнювальні пристрої; 16-19 – виконавчі пристрої; 20 – підсилювач постійного струму.

На відміну від розглянутої вище АСР, ця система не тільки регулює пристрої до збігу характеристики зі зразковою, але і змінює коефіцієнт підсилення, що забезпечує максимальну чутливість пристрою. Регулювання здійснюється шляхом порівняння зі зразковою характеристикою, яка задається стробуючими імпульсами, каліброваними по амплітуді. На

виході порівнювальних пристроїв виникає сигнал розузгодження, який надходить на виконавчі органи варіювання параметрів регулювання.

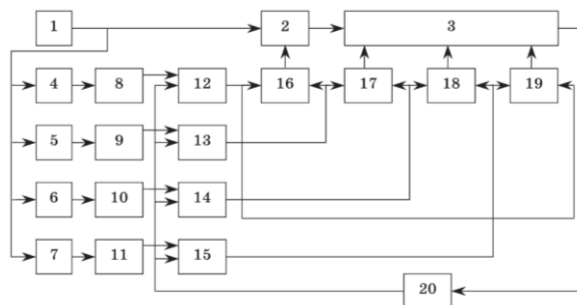


Рисунок 4.9 – Структурна схема автоматизованої системи регулювання фільтрів за амплітудно-частотною характеристикою зі зміною коефіцієнта підсилення

Структурну схему АСР, призначеної для регулювання пристроїв, що мають амплітудно-частотну характеристику складної форми і вимагають багаторазового регулювання тих самих параметрів на різних частотах сигналу, зображено на рис. 4.10.

Ця система відрізняється від розглянутої вище наявністю комутатора, керованого кроковим електродвигуном. Наведена структурна схема АСР містить задавальний генератор хитної частоти – 1; регульований пристрій – 2; резонансний фільтр – 3; блоки фільтрів – 4-8; генератори стробуючих імпульсів 10-15; порівнювальні пристрої 16-21; кроковий електродвигун – 22; виконавчі пристрої 23-27; підсилювач постійного струму – 28; комутатор – 29. Регулювання здійснюється так само, як у попередньому випадку, за винятком повторного регулювання на різних частотах сигналу, забезпечуваного комутатором і кроковим електродвигуном.

На рис. 4.11 наведено структурну схему АСР, що забезпечує одночасне регулювання декількох параметрів. Схема містить: 1 – задавальний генератор хитної частоти; 2 – регульований пристрій; 3 – зразковий пристрій; 4 – розв’язувальний пристрій; 5, 6 – детектори; 7 – диференціальний підсилювач; 8-9

– емітерні повторювачі; 11-13 – перетворені ланцюги; 14-16 – детектори; 17-19 – інвертори; 20-22 – комутатори; 23-25 – подільники; 26-28 – підсумовуючі підсилювачі; 29-31 – помножувальні пристрої; 32-34 – детектори середніх значень; 35-37 – виконавчі пристрої.

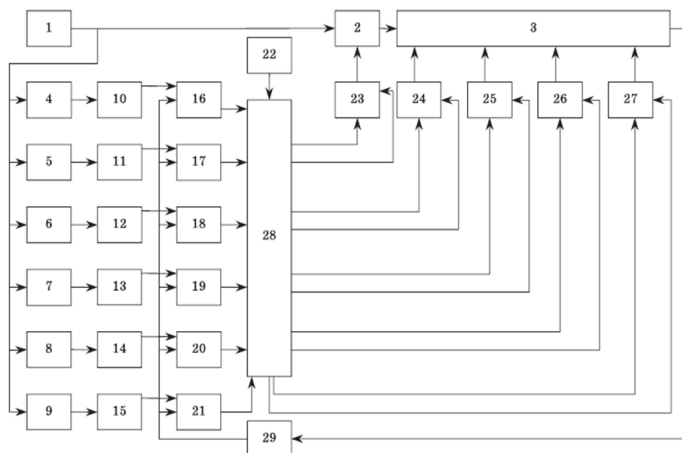


Рисунок 4.10 – Структурна схема автоматизованої системи регулювання пристроїв з амплітудно-частотною характеристикою складної форми

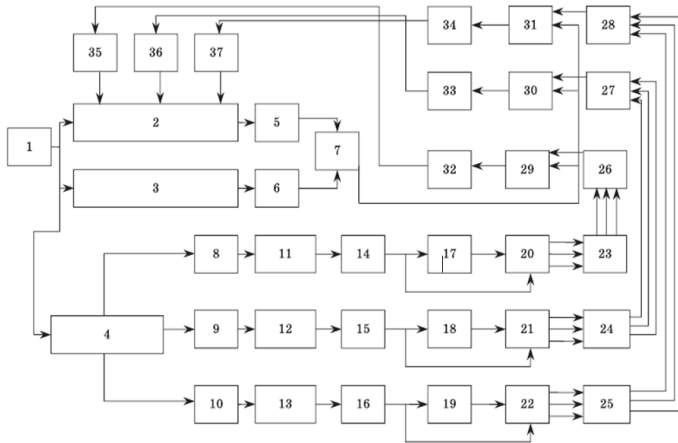


Рисунок 4.11 – Структурна схема автоматизованої системи регулювання пристроїв одночасно за декількома параметрами

Регулювання здійснюється методом порівняння з характеристикою зразкового пристрою. За критерій настроювання прийнято мінімум середньоквадратичної похибки амплітудно-частотної характеристики. Процеси регулювання оптимізуються на паралельно працюючій моделі, яка включає в себе перетворені ланцюги. Вихідні напруги детекторів пропорційні необхідному приросту регульованих параметрів. Знак напруги визначає напрямок регулювання, яке здійснюється доти, поки вихідні напруги детекторів не стануть дорівнювати нулю.

4.5 Технічний контроль засобів автоматизації

Відхилення від технічних вимог будь-якого параметра ТЗА може порушити його роботу. У свою чергу працездатність пристроїв залежить від відповідності технічним вимогам блоків, вузлів і деталей, що входять до них. Тому контрольні операції мають велике значення для забезпечення якості виробів.

Контроль параметрів електронних засобів здійснюють на всіх етапах їхнього проектування і виробництва.

Контролюють (перевіряють) геометричні розміри, наявність напруг, величину струмів, спостерігають осцилограми і порівнюють їх з вимогами та ін. Контролюють правильність виконання окремих операцій виготовлення деталей, складання і монтажу пристроїв.

Об'єктом контролю називають технічні засоби (систему, прилад, пристрій, вузол, елемент), інформацію про технічний стан яких необхідно мати.

Контролем називають процес отримання й обробки інформації, яка оцінює відповідність виробу технічним вимогам.

Контроль, у самому широкому розумінні цього поняття, класифікують за рядом ознак.

1. За видом розв'язуваної задачі:

а) контроль функціонування, тобто виконання виробом своїх функцій без кількісної оцінки. Так, перевіряють наявність зображення і звуку при прийомі телевізійних передач, не змінюючи параметрів, що характеризують якість прийому. Перевірку функціонування застосовують при підготованні виробу до початку роботи і при пошуку несправностей;

б) контроль працездатності, при якому перевіряють відповідність допуску основних параметрів виробу;

в) контроль надійності, при якому перевіряють стійкість роботи виробу під впливом різних зовнішніх факторів і з часом.

2. За видом оцінки результатів контролю:

а) допусковий контроль, метою якого є відбраковування непридатних виробів за принципом «придатний - непридатний»;

б) кількісний контроль – контроль з реєстрацією величин вимірюваних параметрів чи їхніх відхилень від номіналу.

3. За використанням результатів контролю:

а) пасивний контроль, при якому результати контролю не використовуються для аналізу технологічного процесу виробництва. Для пасивного контролю досить використовувати допускову оцінку результатів контролю;

б) активний контроль, при якому результати контролю обробляються і результати математичної обробки використовуються для впливу на технологічний процес

виробництва з метою попередження браку. Активний контроль вимагає кількісної оцінки результатів контролю.

4. За обсягом контрольних робіт:

а) вибірковий контроль, коли перевірі підлягає тільки визначена частина партії виробів – вибірка;

б) суцільний контроль, коли перевірі підлягає кожен виріб.

5. За ступенем механізації:

а) ручний контроль;

б) напівавтоматичний контроль (з частковою участю людини);

в) автоматичний контроль.

6. За місцем у технологічному процесі:

а) вхідний контроль, контроль вихідних матеріалів, напівфабрикатів, комплектуючих виробів. Організується на складах матеріалів і комплектуючих виробів чи у спеціальних лабораторіях;

б) поопераційний контроль, контроль параметрів виробів по ходу технологічного процесу їхнього виготовлення. Дозволяє вчасно виявити помилки робітників, збої устаткування, спрацьовання інструментів і т. ін.;

в) вихідний контроль, що передбачає контроль вихідних параметрів виробу відповідно до технічних умов.

Організація контролю при виробництві електронних засобів переслідує дві мети: вилучення браку і попередження його.

Звідси першою задачею контролю є вилучення з партії готових деталей чи виробів тих екземплярів, що задовольняють технічним умовам. Це так званий метод пасивного контролю.

Цей метод дозволяє відповісти на наступні питання:

1. Чи задовольняє виріб (деталь) технічним умовам?

2. Який відсоток браку в партії?

3. Яка імовірність браку?

$$P_{\sigma} = \frac{\bar{n}_{\sigma p}}{N_{\Sigma}}, \quad (4.42)$$

де $\bar{n}_{\text{бр}}$ – середня кількість бракованих деталей;

N_{Σ} – загальна кількість деталей у партії.

Другою задачею контролю є попередження браку. У цьому випадку визначається не тільки придатність деталей, але і тенденції процесу виробництва. Має місце метод активного контролю.

Сутність методу полягає в тому, що зміна параметрів виробу, яка допускається, – допуск, розбивається на ряд відрізків, інтервалів, і визначається, у межах якого інтервалу знаходяться параметри даного виробу чи деталі. У даному випадку розміри допуску встановлюються відповідно до передбачуваної кривої розподілу. Найбільш простим способом контролю є контроль за середніми значеннями. Якщо вважається, що розподіл деталей підкоряється, наприклад, закону Гаусса, то середнє значення повинне знаходитися в середині поля допуску. По величині зсуву середнього значення можна судити про правильність ходу технологічного процесу. Величину зсуву можна охарактеризувати коефіцієнтом зсуву контрольованого параметра

$$K_c = \frac{\bar{\Delta}(t)}{T}, \quad (4.43)$$

де $\bar{\Delta}(t)$ – середнє значення відхилення контрольованого параметра відносно середини поля допуску в момент часу t :

$$\bar{\Delta}(t) = |\bar{x}(t) - x_0|, \quad (4.44)$$

де $\bar{x}(t)$ – середнє значення контрольованого параметра;

x_0 – значення параметра, що відповідає середині поля допуску (при симетричному полі допуску значення x_0 збігається з номінальним значенням параметра $x_{\text{ном}}$).

Метод активного контролю дає відповіді на наступні питання:

1. У якому інтервалі допуску знаходяться параметри деталі?
2. У якій послідовності переходять параметри деталі з одного інтервалу допуску в інший?
3. Яка крива розподілу параметрів деталі (виробу) по інтервалах допуску?
4. Яка крива розподілу параметрів виробу за часом?

Використання результатів активного контролю в сполученні з теорією імовірності дозволяє судити про наступні моменти:

1. Яку кількість деталей з партії варто піддати іспитам?
2. Чи правильно йде технологічний процес чи є відступ у технології від технічних умов?
3. Які причини порушення технологічного процесу?

4.6 Технологія контролю

Технічний контроль є частиною виробничого процесу та невід'ємною складовою частиною технологічного процесу. Технологія контролю, як правило, розробляється одночасно з технологічним процесом виготовлення виробів.

Технологія контролю являє собою сукупність контрольних операцій і технологічних засобів контролю, включених у загальний технологічний процес, із зазначенням місць і змісту операцій контролю.

Однією з важливих задач, розв'язуваних при розробці технології контролю, є визначення кількості контрольних операцій і послідовності їхнього використання в технологічному процесі. При цьому основним критерієм оцінки є економічна доцільність. Призначення контрольної операції після кожної технологічної операції виготовлення виробу економічно недоцільне через різке підвищення трудомісткості та вартості процесу, хоча при цьому можна цілком виключити брак при виготовленні виробів.

Штучне зменшення кількості контрольних операцій призводить до збільшення імовірності появи бракованих виробів. При цьому необхідно дотримуватися розумної

достатності при визначенні кількості контрольних операцій, підтверженої економічним розрахунком.

Основними нормативними документами при розробленні технології контролю є:

- а) креслення деталі, вузла, виробу;
- б) технологічний процес виготовлення деталі, зборки, монтажу і регулювання виробу;
- в) технічні вимоги на деталь, вузол, виріб;
- г) каталог (альбом) технічних засобів контролю;
- д) нормативи часу типових контрольних операцій.

При розробленні технологічного процесу виготовлення виробу технолог повинен передбачити кількість і сполучення виробничих і контрольних операцій, які б гарантували отримання виробу заданої якості і своєчасне виявлення дефектів процесу.

Контрольні операції призначаються обов'язково після:

- а) найбільш відповідальних проміжних технологічних операцій, що забезпечують формування основних розмірів, форми і властивостей виробу;
- б) операцій, потенційних джерел відхилень формованих параметрів від заданих (потенційними джерелами відхилень параметрів можуть бути умови виробництва, зовнішні фактори, окремі складні операції, нестійкість роботи технологічного устаткування та ін.);
- в) фінішних операцій.

Контрольні операції і вся супровідна інформація заносяться в технологічні карти процесу. Технолог, що розробляє технологію контролю, відповідає за технічну оснащеність контрольних операцій необхідними інструментами, приладами і пристосуваннями. Контрольні операції затверджуються представниками відділу технічного контролю (ВТК) заводу.

При розробці технологічного процесу виготовлення виробу, визначенні контрольних операцій і їхньому технічному оснащенні повинні враховуватися:

- а) прогресивні форми організації процесу;
- б) наявні досягнення в області теорії і практики виробництва електронних засобів і технології контролю;

в) реальні виробничі умови.

У виробництві електронних засобів зовнішньому візуальному контролю піддаються всі комплектуючі та електрорадіовироби (ЕРВ), що надходять, (монтажні проводи, з'єднувачі, ЕРЕ, плати, мікросхеми та ін.).

При зовнішньому огляді монтажних проводів і кабелів перевіряють цілісність ізоляції, переріз, довжину, маркірування, кольоровість, якість закладення кінців, відсутність надрізів та ін.

Електрорадіоелементи та мікросхеми перевіряють шляхом зовнішнього огляду на наявність маркувальних клейм, форму згину і якість лудіння виводів, цілісність виводів і корпусів елементів і мікросхем, відсутність відколів, надрізів, подряпин, тріщин, забруднень, наявність і ушкодження написів, що вказують тип елемента і його номінальні параметри та ін. Зовнішнім оглядом також перевіряються правильність розкладки проводів і джгутів при внутрішньоблоковому монтажі, якість монтажних з'єднань щоб уникнути фальшивих спаїв, наявність перемичок, оплавлення ізоляції в місцях паяння проводів.

При огляді друкованих вузлів перевіряють якість поверхні плати, цілісність друкованих провідників і контактних площадок, якість металізації наскрізних монтажних отворів. При монтажі ЕРЕ на друковані плати (ДП) перевіряють правильність їхньої установки, видимість маркірувань на платі і ЕРЕ, спаяні з'єднання повинні відповідати вимогам стандартів, не мати тріщин, напливів, бурульок, залишків флюсу на поверхні і т. ін.

При зовнішньому візуальному контролі використовують збільшувальні лупи, мікроскопи, дзеркала та інші пристосування, а також оптичні тестери.

Механічну міцність кріплення деталей, складальних одиниць, спаяних, зварених і клепаних з'єднань перевіряють за допомогою спеціального обладнання і пристосувань на відрив з вимірюванням зусиль відриву і за допомогою спеціальних вібростендів.

Для виявлення прихованих дефектів у спаяних з'єднаннях ДП знаходить широке застосування рентгенотелевізійний мікроскоп.

Принцип роботи мікроскопа полягає в наступному. Пучок рентгенівських променів, випромінюваних рентгенівською трубкою проходить через досліджуване спаяне з'єднання і утворює тіньове зображення в рентгенівських променях. Це зображення проектується майже в натуральну величину на мішень рентгеновідікона, з наступним перетворенням в електричні сигнали, які через підсилювач і блок телесистеми подаються на кінескоп.

На кафедрі КІТАМ ХНУРЕ розроблено конструкції багатозондових підмикальних пристроїв (БПП) для електричного контролю багатозондових комутаційних плат (БКП), а також для вхідного та функціонального контролю електронних компонентів (ЕК) із матричними кульковими виводами типу BGA/CSP.

Мікроелектромеханічний багатозондовий підмикальний пристрій для контролю ЕК (рис. 4.12) містить корпус-основу 1, контакти-зонди у вигляді майданчиків на притискній пластині – гнучкій багатозондовій платі 2 з провідниками, виготовленій з фольгованих діелектриків, притискування якої до контрольованих електронних компонентів 3 здійснюється стисненням повітрям, решітку 4 (забезпечує захист від провисання), ущільнювальну прокладку 5, яка забезпечує герметичність корпусу, фіксує елемент 6, кришку 7 і повітряний об'єм зі штуцером.

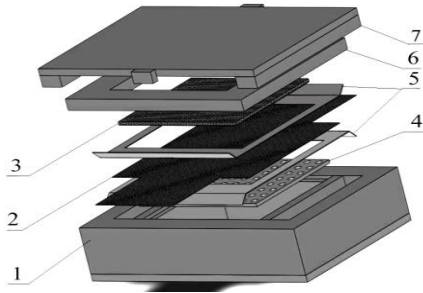


Рисунок 4.12 – Тривимірна модель БПП

Схему підключення BGA-компонентів до БПП наведено на рис. 4.13.

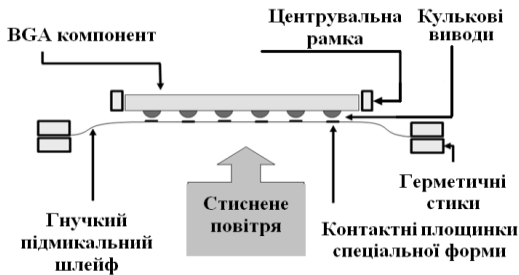


Рисунок 4.13 – Схеми підключення БПП до BGA-компонентів

Зонди БПП для контролю БКП виконуються у вигляді кульок за технологією BGA, що дозволяє забезпечити їхні малі розміри (діаметр до 50 мкм), високу щільність (крок розміщення до 100 мкм), високу якість контактування, простоту виготовлення, а також низьку трудомісткість використання підмикального пристрою порівняно з аналогами.

Для підвищення надійності контролю БКП за допомогою БПП запропоновано використовувати спеціальну форму контактних зондів, із розщепленням кулькових зондів на декілька окремих частин з метою дублювання контакту. На рис. 4.14 наведено приклад реалізації одного зонда БПП,

розділеного на чотири частини, та з'єднання попарно-перехресно пар a-d, b-c кульок цього зонда у різних шарах багатшарової гнучкої плати.

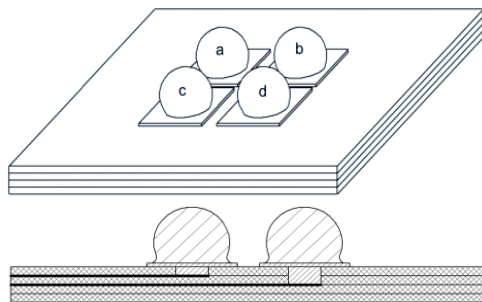


Рисунок 4.14 – Зонд для підключення до контрольованих точок на БКП

Для контролю BGA-компонентів використовуються плоскі контактні майданчики. Кожний окремиий зонд-майданчик (рис. 4.15), як і у випадку з БПП для контролю БКП, поділяється на декілька частин, які призначені для контактування з одним кульковим виводом ЕК так, що окремі частини зонда стануть електрично сполученими між собою тільки за умови контактування щонайменше двох частин до одного виводу.

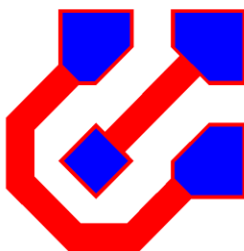


Рисунок 4.15 – Зонд-майданчик для підключення до виводу ЕК

Притиснення контактного пристрою до контрольованого виробу здійснюється за допомогою стисненого повітря. Завдяки однаковому контактному тиску в контактних парах значно

знижується кількість помилок під час контролю в порівнянні з іншими пристроями з непереміщуваними контактами.

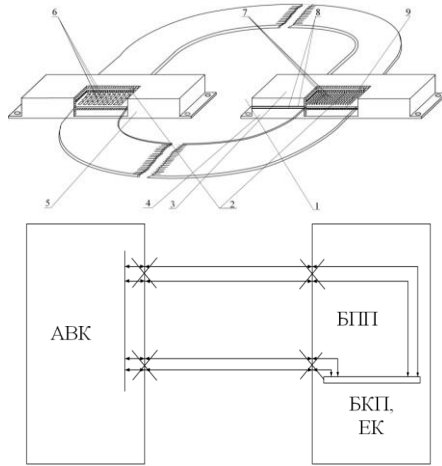
Пневматичне притиснення значно знижує вірогідність відсутності контакту (через різницю тиску в різних точках контролю) в порівнянні з механічним або магнітним притисненням.

Підмикальний шлейф забезпечує доступ контактного пристрою до великої кількості точок контролю на контрольованому виробі (до декількох тисяч). Максимальна кількість виводів визначається кількістю шарів підмикального шлейфу, кроком розміщення зондів, габаритами об'єкта контролю.

Описані конструктивно-технологічні рішення БПП забезпечують велику щільність розміщення зондів (до 100 мкм), високу якість контактування, простоту виготовлення, а також низьку трудомісткість використання БПП порівняно з аналогами. Водночас використання гнучкого шлейфа дозволяє підключити пристрій безпосередньо до вимірювального пристрою та виключити проміжні з'єднання, а також поліпшити механічні й електричні характеристики пристрою, що у свою чергу підвищує надійність контролю.

Для виробництва ГКС для підмикальних плат БПП як матеріал обрано лакофольговий полімід, який має низьку вартість, достатню гнучкість, механічну міцність, гарні діелектричні властивості.

На основі використання БПП розроблено метод підключення БКП та ЕК до автоматизованих вимірювальних комплексів (АВК) із використанням МЕМС-інтерфейсу, що дозволяє спростити конструкцію, зменшити масо-габаритні показники контактних пристроїв шляхом усунення громіздких рознімних з'єднань на шляху підключення контрольованих виробів до вимірювального устаткування (рис. 4.16).



З'єднання, що усеваються за допомогою інтерфейсу

Рисунок 4.16 – MEMS-інтерфейс для підключення контрольованих виробів до АВК

Пристрій, що реалізує MEMS-інтерфейс, складається з декількох функціональних частин: гнучка плата-шлейф 1, що з'єднує підмикальну частину БПП із контактним полем у АВК; підмикальна частина з контактами-зондами для підключення до контрольованих виробів 2 (БКП, ЕК із матричними кульковими виводами), які встановлюються та позиціонуються по напрямних елементах і фіксуються кришкою 3; контактне поле АВК, з яким з'єднані ключі автоматизованого контролюючого комплексу; корпус для розміщення підмикальної частини та контрольованого виробу 4; корпус для розміщення контактної частини АВК 5.

Підмикальна частина має одну форму зондів для контролю ЕК із матричними кульковими виводами у вигляді майданчиків 6, та іншу – у вигляді кульок 7 – для контролю БКП.

Підмикальна частина гнучкої плати встановлюється в корпусі між ущільнювальними прокладками 8, які забезпечують герметичність корпусу. З протилежного боку притискної плати відносно контрольованого об'єкта знаходиться захисна решітка 9, яка захищає притискну плату від провисання до

моменту подачі стисненого повітря та забезпечує вільний доступ повітря до всієї площі притискної плати.

Приклад контролюваного з використанням БПП об'єкта – мікросхеми з кульковими виводами у корпусі FG-320 – наведено на рис. 4.17.

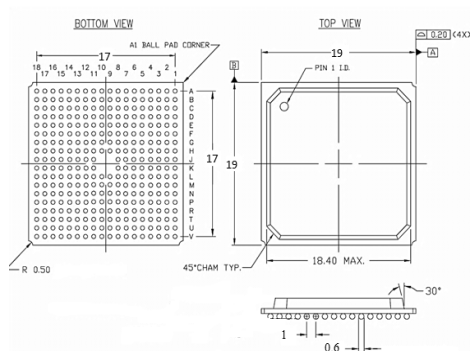


Рисунок 4.17 – Корпус FG-320

Топологію ГКС для контролю вказаної мікросхеми наведено на рис. 4.18. Конструктивні особливості цього варіанта топології такі: матеріал плати – поліімід марки ФДИ-А-50; шлейф складається з трьох шарів, ширина провідників – 70 мкм, а відстань між ними – 80 мкм; габаритні розміри контактного майданчика – 300×300 мкм. Для суміщення шарів та позиціонування притискної плати відносно виводів ЕК на платі розміщені реперні знаки. Кількість з'єднань за допомогою каскадного зварювання провідників між шарами плати – 288. Підключення БПП до АВК здійснюється із використанням шістнадцяти стандартних 51-вивідних ZIF-з'єднувачів.

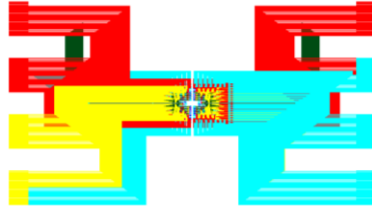


Рисунок 4.18 – Топологія гнучкого шлейфа

Допустимі значення тиску повітря у корпусі БПП для забезпечення високої надійності контролю електричних параметрів електронних компонентів лежать у межах 0,056...0,25 МПа.

Дослідні зразки гнучких поліімідних шлейфів БПП для контролю БКП з розмірами 48×60 мм і 2400 контрольованими точками та мікросхеми у корпусі FG-320 (на практиці реалізовано чверть топології) представлено на рис. 4.19 та рис. 4.20 відповідно.

Параметри ГКС, зображеної на рис. 4.19 такі: ширина провідників – 75 мкм; відстань між провідниками – 150 мкм; товщина нікелю на контактних площинках – 5-10 мкм; розмір вікон під УЗ-зварювання – 150×150 мкм.

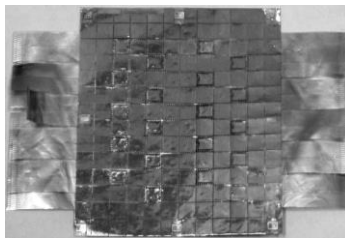
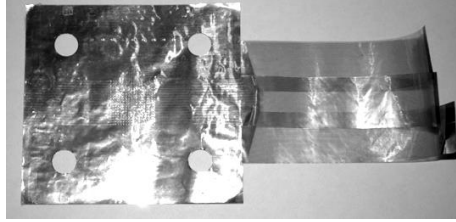


Рисунок 4.19 – Гнучка підмикальна пластина БПП для контролю БКП



*Рисунок 4.20 – Гнучка підмикальна пластина БІП
для контролю ЕК з кульковими виводами*

Широко застосовуються системи автоматизованого контролю (САК) у процесі регулювання в умовах дрібносерійного, серійного та масового виробництв. Система дозволяє виконати автоматизований пошук дефектів складання та виготовлення ДП, зібраних на виробках електронної техніки (ВЕТ), а також функціональний контроль цифрових інтегральних схем.

Для автоматичної перевірки логічного функціонування пристрою, контролю рівня напруг логічних сигналів і затримок їхнього поширення в ланцюгах цифрових схем в умовах серійного виробництва знаходить застосування спеціальне устаткування, що забезпечує:

а) контроль цифрових схем із максимальною кількістю входів-виходів до 192;

б) подачу на контрольований друкований модуль двох незалежних одна від одної напруг живлення, регульованих у межах 3-5 В;

в) можливість багаторазового зчитування з ОЗУ, що входить до складу обладнання, програми контролю чи будь-якої її частини для аналізу контрольованої ДП у динамічному режимі та при осцилографуванні.

Незалежно від виду контролю мають місце два етапи процесу контролю виробів:

а) одержання первинної інформації про фактичний стан об'єкта контролю, про ознаки і показники його властивостей (як правило, за допомогою вимірювань);

б) порівняння первинної інформації з задалегідь установленими вимогами, нормами, критеріями й отримання

вторинної інформації про розбіжності фактичних і необхідних даних. Отримані дані використовуються для здійснення впливу на технологічний процес (при необхідності) чи видачі рекомендацій з удосконалювання технології виготовлення виробів.

Особливо актуальним і відповідальним є контроль в автоматизованому виробництві, у якому вся сукупність технологій і технічних засобів, пов'язаних інформаційними потоками, складає систему автоматизованого контролю.

В автоматизованому виробництві САК повинна забезпечувати не тільки отримання заданої якості продукції, але і безвідмовний хід виробничого процесу.

На рис. 4.21 наведено структурну схему пристрою контролю друкованих плат.

У комплекс задач контролю автоматизованих виробництв входять також контроль за забезпеченням безперебійних потоків виробів, інструментів, пристосувань і вимірювальних пристроїв, перевірка стану інформаційних зв'язків усередині комплексу і між технологічними комплексами, транспортних систем, систем керування виробничим процесом.

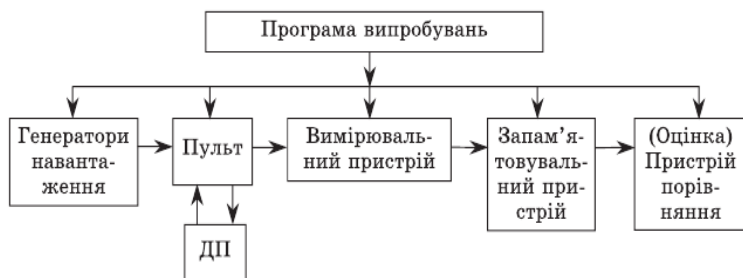


Рисунок 4.21 – Структурна схема пристрою контролю ДП

На рис. 4.22 наведено узагальнену структурну схему технічного контролю якості виробів. Схема дає уявлення про види контролю на різних стадіях виробничого процесу.

Система автоматизованого контролю гнучкого автоматизованого виробництва вирішує такі задачі:

а) отримання і подавання інформації про якісні, кількісні, просторові і часові параметри продукції в процесі виготовлення;

б) отримання і подавання інформації про технологічні режими, параметри технологічного середовища, транспортні та робочі параметри технологічного процесу й оснащення;

в) порівняння фактичних значень параметрів із заданими;

г) вироблення результату контролю й прийняття рішення про форму відгуку на результат;

д) передача інформації про розузгодження в систему керування відповідного рівня;

е) отримання і подавання інформації про виконання функції.

На рис. 4.23 наведено схему складу основних параметрів ГВС, контролюваних САК з метою отримання і подавання інформації.

Якщо об'єктом контролю є деякий електронний пристрій, то всі параметри, контролювані автоматизованими засобами, можна розділити на такі групи:

а) параметри, виражені електричними величинами і не потребуючі додаткових перетворень. До них відносяться: напруга постійного і змінного струму, сила струму, амплітуди струму і напруги, частота проходження імпульсів, часові інтервали, опори, ємності й індуктивності елементів пристроїв і т. ін.;

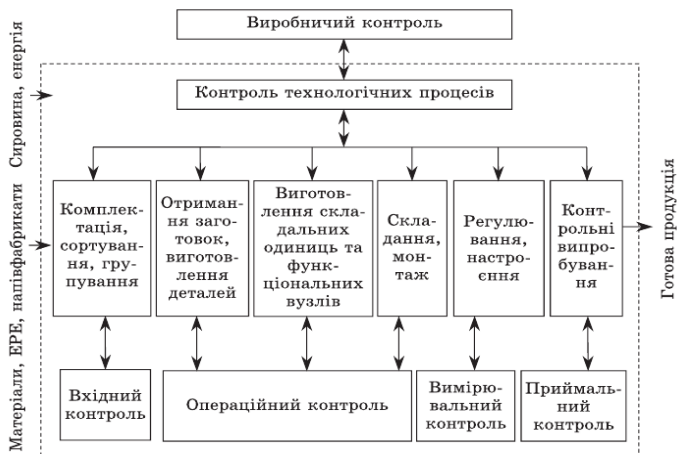


Рисунок 4.22 – Узагальнена структура системи технічного контролю виробів

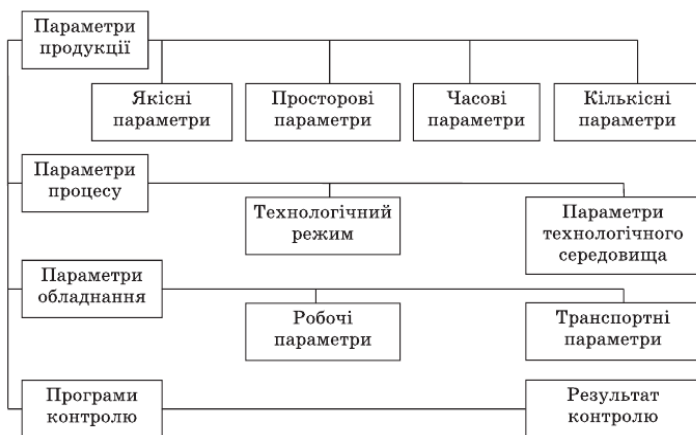


Рисунок 4.23 – Схема зв'язків параметрів, контрольованих САК у ГВС

б) параметри, виражені електричними величинами, що потребують додаткових перетворень, і параметри, вимірювані непрямим шляхом. До них відносяться: напруга струму високої частоти, дуже малі і дуже великі струми, вихідна потужність радіопристроїв, коефіцієнти шуму і модуляції та ін.;

в) параметри, виражені неелектричними величинами, що потребують попереднього перетворення. До них відносяться: кутові та лінійні величини, кількість, температура, тиск, кількість обертів та ін.;

г) параметри, оцінювані візуально. Існують певні параметри, автоматичний контроль яких є важким чи недоцільним. До них відносяться в основному параметри, оцінювані зовнішнім оглядом за допомогою органів почуттів людини, наприклад, дизайн об'єкта, зручність обслуговування і т. ін.

Особливе місце в технології контролю приділяється вхідному контролю, якість виконання якого в значній мірі впливає на весь хід технологічного процесу виготовлення виробів.

Вхідний контроль у складальному процесі проводиться з метою перевірки на відповідність ТУ комплектуючих елементів і вузлів пристрою, відбраковування виробів з дефектами та виявлення прихованих дефектів чи потенційно ненадійних елементів.

Причинами невідповідності комплектуючих виробів технічним умовам, як правило, є:

а) ненадійність приймального контролю на підприємстві-виготовлювачі;

б) фізико-хімічні, механічні та інші процеси, що відбуваються у виробках у період зберігання;

в) вплив різних факторів при транспортуванні.

Дефекти, що виявляються на вхідному контролі, можна класифікувати таким чином:

а) дефекти комплектації (переплутування типів чи номіналів елементів, що поставляються,);

б) дефекти, пов'язані з низькою якістю упакування;

в) дефекти зовнішнього вигляду;

г) невідповідність розмірів, електричних і механічних параметрів комплектуючих виробів значенням, зазначеним у документації на них;

д) відмови при перевірці працездатності;

е) відмови при перевірці на вплив кліматичних і механічних факторів.

Вхідний контроль якості комплектуючих виробів проводиться за допомогою карт вхідного контролю, що складаються на кожен вид комплектуючих виробів.

Ефективність вхідного контролю $K_{ex.k}$ може бути визначена за співвідношенням

$$K_{ex.k} = [n_1 / (n_1 + n_2)] 100\% , \quad (4.45)$$

де n_1 – кількість забракованих комплектуючих виробів при вхідному контролі;

n_2 – кількість комплектуючих даного типу, визначених як дефектні на наступних операціях контролю в процесі складання.

При збиранні відповідних статистичних даних у n_2 можна включати інформацію про комплектуючі, визнані причинами відмов апаратури при експлуатації, що дає більш реальну картину ефективності вхідного контролю.

4.6.1 Вибір засобів контролю

Вибір засобів контролю повинен ґрунтуватися на забезпеченні заданих показників процесу контролю й аналізі витрат на його реалізацію. При цьому повинні бути встановлені обов'язкові показники процесу контролю, зокрема: точність вимірювань, вірогідність контролю, його трудомісткість та вартість.

У залежності від специфіки виробництва і видів об'єктів контролю можливі й інші показники процесу контролю, наприклад, його тривалість, похибка вимірювань, обсяг, повнота, періодичність та ін.

При аналізі витрат необхідно передбачити:

а) порівняння варіантів засобів контролю, що відповідають однаковим вимогам і забезпечують вирішення однакових задач у конкретних виробничих умовах;

б) вибір варіантів, що ґрунтуються на наступній інформації: плані розвитку підприємства; технічних вимогах до виробу; кількості виробів і термінах виготовлення; технічних можливостях засобів контролю; витратах на придбання засобів контролю і їхню експлуатацію; вимогах техніки безпеки і промислової санітарії.

Вибір засобів контролю повинен забезпечувати:

- а) систематичне підвищення продуктивності праці;
- б) систематичне зниження трудомісткості контролю;
- в) безпеку праці;
- г) необхідну точність і економічність виробництва;
- д) видачу інформації у формі, зручній для оперативного

використання.

При виборі засобів контролю використовуються наступні види документації:

- а) конструкторська документація на виріб;
- б) технологічна документація на виготовлення і контроль виробу;
- в) державні, галузеві стандарти і стандарти підприємств на засоби контролю;
- г) каталоги засобів контролю;
- д) класифікатори засобів контролю;
- е) картотеки застосовуваності засобів контролю;
- ж) інструктивно-методичні матеріали з вибору засобів контролю.

До застосування допускаються засоби контролю, визнані придатними за результатами метрологічного нагляду.

Етапи вибору засобів контролю:

- а) аналіз характеристик об'єкта контролю і показників процесу контролю;
- б) визначення попереднього складу засобів контролю;
- в) визначення остаточного складу засобів контролю.

При аналізі характеристик об'єкта, контролю і показників процесу контролю повинні враховуватися: вид об'єкта контролю (деталь, складальна одиниця, технологічний процес); вид контрольованої ознаки (геометричний розмір, фізичний параметр, форма і т. ін.); номінальні значення і допуски на контрольовані параметри; припустима похибка

вимірювань; конструктивні особливості виробу (конфігурація, доступність та ін.); вимірювальна база; маса об'єкта контролю; пошкоджуваність (деформовуваність) при контролі; умови робочого місця (температурний режим та ін.); продуктивність технічного контролю; транспортабельність засобу й об'єкта контролю; наявність засобу контролю на заводі; умови видачі результатів контролю; вартість засобу контролю; кваліфікація контролера; додаткові умови і характеристики.

Вибір засобів контролю узгоджується з відділом технічного контролю і метрологічною службою.

4.6.2 Розрахунок економічної ефективності засобу контролю

Економічну ефективність при обґрунтуванні вибору засобу контролю визначають у загальному випадку за співвідношенням

$$E = (K_{e_1} + E_n K_1) - (K_{e_2} + E_n K_2), \quad (4.46)$$

де K_{e_1} , K_{e_2} – комплексні показники ефективності відповідно замінюваного і впроваджуваного засобів контролю;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, грн;

K_1 , K_2 – питомі капітальні вкладення відповідно при замінуванні і впровадженні засобів контролю, грн.

Витрати на контроль одного об'єкта визначаються співвідношенням

$$C_k = C_z + C_a + C_e + C_o + C_{n.z} + (C_c - C'_c), \quad (4.47)$$

де C_z – сума витрат на заробітну плату виконавців контролю, грн;

C_a – амортизація контрольного устаткування і приладів на час контролю, грн;

C_e – витрати на усі види енергії, споживаної в процесі контролю, грн;

C_o – витрати на контрольне оснащення, необхідне для здійснення контролю, грн.;

$C_{n,z}$ – вартість підготовчо-заключного часу, грн;

C_c – вартість об'єкта контролю, грн;

C'_c – вартість об'єкта після погіршення якості, грн.

$$C_3 = \frac{\sum_{j=1}^n t_j R_j \left(1 + \frac{K}{100}\right)}{m_k}, \quad (4.48)$$

де t_j – час, затрачений j -м виконавцем контролю на контроль об'єкта, год;

R_j – годинна заробітна плата j -го виконавця контролю, грн/год;

K – коефіцієнт, що враховує нарахування на заробітну плату і премії, %;

m_k – кількість об'єктів контролю, що може одночасно контролювати виконавець;

n – кількість виконавців, що беруть участь у контролі об'єкта.

$$C_a = \sum_{i=1}^a \frac{A_i D_i H}{B_i m_{k_i} \varphi_i 100} t_{0_i}, \quad (4.49)$$

де a – кількість типів контрольного устаткування і приладів, використовуваних для контролю даного об'єкта;

A_i – вартість одиниці i -го засобу контролю, використовуваного для контролю об'єкта, грн;

D_i – кількість i -го засобу контролю;

H – норма амортизаційних відрахувань, %/рік;

B_i – річний фонд часу i -го засобу контролю, год/рік;

m_{k_i} – кількість об'єктів контролю, що можуть одночасно контролюватися на i -му контрольному устаткуванні;

φ_i – коефіцієнт завантаження контрольного устаткування чи приладу;

t_{0_i} – час роботи i -го засобу контролю при контролі об'єкта.

$$C_e = \sum_{i=1}^a \frac{C_{e_i} N_i \varphi_2}{m_{k_i} \varphi_1} t_{0_i}, \quad (4.50)$$

де C_{e_i} – ціна одиниці використовуваної енергії для i -го контрольного устаткування, грн/кВт год;

N_i – потужність, споживана i -м контрольним устаткуванням, кВт;

φ_2 – коефіцієнт використання потужності.

$$C_o = \sum_{i=1}^d \frac{A_i D_i}{B_i T_i \varphi'_i} t_{0_i}, \quad (4.51)$$

де d – кількість типів контрольного оснащення, використовуваних для контролю даного об'єкта;

T_i – термін служби i -го контрольного оснащення;

φ'_i – коефіцієнт використання i -го контрольного оснащення.

$$C_{n.з} = \frac{\sum_{j=1}^e t_{n.зj} R_{n.зj} \left(1 + \frac{K}{100}\right)}{m_k}, \quad (4.52)$$

де e – кількість виконавців, зайнятих на підготовчо-заклучних операціях для даного об'єкта;

$t_{n.зj}$ – час, затрачуваний j -м виконавцем, зайнятим на підготовчо-заклучних операціях для даного об'єкта;

$R_{n.зj}$ – годинна заробітна плата j -го виконавця, зайнятого на підготовчо-заклучних операціях для даного об'єкта.

Ефективність додаткових витрат на удосконалювання засобів контролю визначається співвідношенням

$$E_e = E / \Delta B, \quad (4.53)$$

де ΔB – додаткові витрати на удосконалювання засобів контролю.

4.7 Випробування технічних засобів автоматизації

4.7.1 Умови, що визначають необхідність введення випробувань у процес виготовлення ТЗА

Випробуванням називається сукупність операцій по створенню заданих умов роботи об'єкта контролю і самого контролю. Іншими словами, випробування дозволяють перевірити відповідність об'єкта заданим технічним вимогам. У більш вузькому розумінні випробування – це перевірка стійкості роботи виробу під впливом зовнішніх факторів

(кліматичних, механічних і електричних). Відповідно випробування поділяють на кліматичні, механічні й електричні.

Контрольним прийнятно-здавальним випробуванням піддаються усі вироби, що випускаються, чи певна їх частина.

Питання про вибір оптимального варіанта контролю й випробувань, насамперед, зводиться до визначення мінімальної кількості випробувань, необхідних для визначення того, що у випробовуваній партії імовірність браку P_m не перевищить заданого значення.

Нехай є партія з N виробів, у якій за технічними умовами (ТУ) допускається $m\%$ бракованих виробів. Необхідно визначити кількість виробів у партії, які варто випробувати, для того, щоб бути упевненим, що в партії відсоток браку не перевищує заданий. Абсолютний розкид виробів, що не відповідають ТУ, в окремих партіях, що піддаються випробуванням, визначається в такий спосіб.

Використовуючи теорему Бернуллі, визначаємо межі розкиду кількості придатних виробів для заданої величини браку P_m

$$P(|K - nP| < \varepsilon n) < \frac{P_m(1 - P_m)}{\varepsilon^2 n} = g. \quad (4.54)$$

З формули випливає, що можна для заданих параметрів P_m – імовірності браку в партії і n – кількості виробів у випробовуваній партії, задаючись точністю обчислень g , визначити припустимий розкид εn .

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{P_m(1 - P_m)}{gn}}. \quad (4.55)$$

Допускаючи, що $P_m \ll 1$, отримаємо величину розкиду придатних виробів у партії

$$\varepsilon n \approx \sqrt{\frac{P_m n}{g}}. \quad (4.56)$$

Якщо прийняти, що передбачається висока вірогідність обчислень, то з малою помилкою можна вважати $g \approx 1$, тоді розкид придатних виробів у партії буде

$$\Delta r = \pm \varepsilon n \sqrt{P_m n}. \quad (4.57)$$

Абсолютна величина розкиду буде дорівнювати $2\Delta r$.

З огляду на ту обставину, що розкиди придатних і бракованих виробів однакові за абсолютним значенням $\Delta r = \Delta b$, отримаємо відносний розкид бракованих виробів у партії

$$\delta = \frac{\Delta \sigma}{n_{cp.зm}} = \frac{\sqrt{P_m \cdot n}}{P_m \cdot n} = \frac{1}{\Delta \sigma}. \quad (4.58)$$

Звідси, задаючись величиною відносного розкиду δ й імовірністю браку P_m , знаходимо розмір обраної партії n

$$n = \frac{1}{(P_m \cdot \delta^2)}. \quad (4.59)$$

Найчастіше здійснюють вибірковий контроль, виходячи з припущення, що в контрольованій партії є не більше одного бракованого виробу. Це означає, що $\delta = 1/2$. Тоді розмір вибіркової партії буде

$$n = \frac{1}{(4P_m)}. \quad (4.60)$$

Неважко помітити, що при малих значеннях припустимої імовірності браку в партії значення n стає великим і економічно такий метод вибіркового контролю стає не вигідним.

Для збільшення ефективності випробувань, тобто зменшення необхідної кількості виробів, що перевіряються, з метою визначення припустимої імовірності браку в партії P_m застосовується метод повторних випробувань.

Ідея цього методу полягає в тому, що спочатку перевіряється невелика партія виробів, але за вимогами більш жорсткими, ніж задані. Якщо ці вимоги задовольняються, то партія приймається. Якщо ж результати випробувань не задовольняють заданим умовам, то вони проводяться знову, але з більшою вибіркою та з більш високими вимогами. Звичайно обмежуються двома серіями випробувань, після яких, якщо партія не витримує випробувань, здійснюють стовідсотковий контроль.

Основними умовами, що визначають необхідність введення випробування у процес виготовлення, є якість і максимальний життєвий цикл.

На забезпечення якості виробів спрямовані такі процеси, як регулювання і контроль. Однак і після них, придатні вироби можуть змінювати свої параметри навіть при незначних змінах умов зовнішнього середовища. Це викликає необхідність випробувань виробів у визначених умовах, можливих у реальній дійсності, з метою прогнозування їхньої поведінки в заданих умовах експлуатації. Випробування дозволяє виключити відмови чи звести їх до мінімуму у процесі експлуатації виробу, а також збільшити термін його життєвого циклу.

Випробування, як основна форма контролю електронних засобів, являють собою експериментальне визначення під впливом різних факторів кількісних і якісних характеристик виробів в процесі їхнього функціонування.

Випробування служать ефективним засобом підвищення якості, тому що дозволяють з'ясувати недоліки конструкції і технології виготовлення електронних засобів, які викликають

відмови в умовах експлуатації; приховані і випадкові дефекти матеріалів і елементів конструкції, що не піддаються виявленню існуючими методами технічного контролю. За результатами випробувань виробів на виробництві можна установити причини зниження якості.

Для підвищення якості електронних засобів, що випускаються, на кінцевих операціях ТП виготовлення проводять попередні випробування, що дозволяють виявити вироби з прихованими дефектами. Такі попередні випробування називають іноді технологічними тренуваннями (термоциклове тренування, електротренування, термострумове тренування та ін.).

Програма і методи проведення випробувань визначаються конкретним видом і призначенням електронних засобів, а також умовами експлуатації.

4.7.2 Методи та технологія випробувань

Всі випробування електронних засобів класифікують (рис. 4.24) за методами проведення, призначенням, видом випробувань, видом впливу, рівнем проведення та ін.

Методи випробувань поділяють на дві основні групи (рис. 4.25):

- а) фізичні випробування реальних електронних засобів чи їхніх макетів;
- б) випробування з використанням моделей.

Класифікація випробувань	За методами проведення	<u>Фізичні</u> <u>З використанням моделі</u>
	За призначенням	<u>Дослідні</u> <u>Визначувальні</u> <u>Порівняльні</u> <u>Контрольні</u>
	За етапами проектування, виготовлення і випуску	<u>Доводжувальні</u> <u>Попередні</u> <u>Приймальні</u>
	За видом випробувань об'єктів	<u>Кваліфікаційні</u> <u>Показувальні</u> <u>Приймально-здавальні</u> <u>Періодичні</u> <u>Інспекційні</u> <u>Типові</u> <u>Атестаційні</u> <u>Сертифікаційні</u>
	За тривалістю	<u>Нормальні</u> <u>Прискорені</u> <u>Скорочені</u>
	За рівнем проведення	<u>Державні</u> <u>Міжвідомчі</u> <u>Відомчі</u>
	За видом впливу	<u>Механічні</u> <u>Кліматичні</u> <u>Теплові</u> <u>Радіаційні</u> <u>Електричні</u> <u>Електромагнітні</u> <u>Магнітні</u> <u>Хімічні</u> <u>Біологічні</u>
	За результатом впливу	<u>Неруйнівні</u> <u>Руйнівні</u> <u>На стійкість</u> <u>На міцність</u> <u>На тривалість</u>
	За певним характером об'єкта	<u>На надійність</u> <u>Граничні</u> <u>Технологічні</u>

Рисунок 4.24 – Класифікація випробувань ТЗА

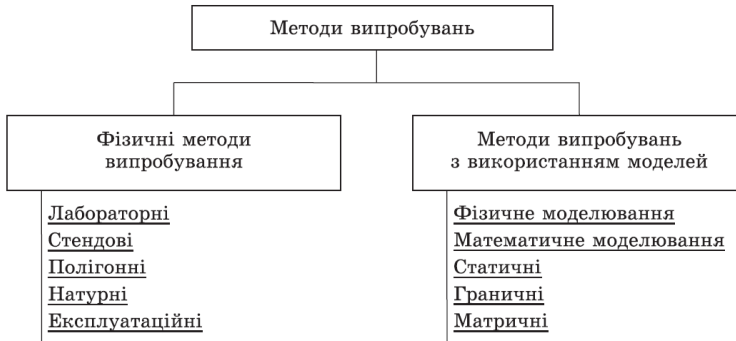


Рисунок 4.25 – Класифікація методів випробувань ТЗА

Фізичні випробування можуть проводитися при зовнішніх впливаючих факторах (ЗВФ), створюваних штучним шляхом за допомогою іспитових стендів (стендові випробування) чи спеціальних методів і засобів застосовуваних у лабораторних умовах (лабораторні випробування), чи при природних ЗВФ (полігонні і натурні випробування).

Лабораторні і стендові випробування електронних засобів відрізняються від реальної експлуатації. Звичайно при лабораторних і стендових випробуваннях електронних засобів їх піддають впливу одного чи декількох певних навантажень. Це приводить до результатів, які трохи відрізняються від одержуваних в процесі реальної експлуатації, тому при дослідженні впливу ЗВФ разом з лабораторними і стендовими випробуваннями проводять також випробування об'єктів у природних умовах. У залежності від умов і місця проведення таких іспитів розрізняють полігонні і натурні випробування.

Полігонні випробування електронних засобів здійснюють на спеціально обладнаному полігоні під впливом зовнішніх кліматичних факторів.

При проведенні натурних випробувань об'єктів необхідно виконати такі основні умови:

а) випробуванням піддаються електронні засоби, а не їхні моделі чи складові частини;

б) випробування проводяться в таких умовах і під впливом на електронні засоби таких факторів, що відповідають умовам і впливам при експлуатації;

в) визначувані характеристики об'єкта випробувань вимірюються безпосередньо, без використання аналітичних залежностей, що відображають фізичну структуру об'єкта.

Мета полігонних і натурних випробувань – дослідження комплексного впливу природних факторів на змінення параметрів, властивостей і механізмів відмов електронних засобів при їхній експлуатації і зберіганні. За результатами полігонних і натурних випробувань розробляють рекомендації щодо захисту електронних засобів від впливу зовнішніх факторів.

Випробування з використанням моделей здійснюють методами фізичного і математичного моделювання. На вихідні параметри електронних засобів впливають відхилення параметрів елементів, коливання напруг живлення, температура навколишнього середовища, вологість та ін., тобто велика група параметрів, часто взаємозалежних, які при створенні моделей відмов називають первинними (вхідними).

Фізичне моделювання полягає в тому, що первинний параметр об'єкта випробувань заміняється простою моделлю, здатною імітувати змінювання даного параметра.

Фізичні моделі можуть піддаватися статистичним випробуванням. Метод статистичних випробувань (метод Монте-Карло) полягає в тому, що шляхом багаторазових випадкових випробувань (обчислень, здійснюваних над випадковими числами) визначають імовірність появи деякої випадкової події (математичного сподівання випадкової величини). Метод статистичних випробувань дозволяє проводити випробування на реальних об'єктах чи їхніх фізичних моделях.

При випробуваннях на реальних об'єктах досліджують можливі причини відмов об'єктів і їхні наслідки, штучно вводячи в схему обриви, короткі замикання чи встановлюючи елементи з параметрами, що виходять за припустимі норми. Моделювання здійснюють на спеціальних стендах, на яких відтворюють випадкові зміни зазначених параметрів.

Окремим видом статистичних випробувань ТЗА є граничні випробування.

Математичне моделювання випробувань об'єкта ґрунтується на використанні рівнянь, що зв'язують вхідні і вихідні параметри об'єкта випробувань. Ці рівняння виводять, вивчаючи конкретні електронні засоби і їхні внутрішні функціональні зв'язки, після чого виконують математичний опис установлених зв'язків з урахуванням впливу на об'єкт різних факторів.

Основні етапи випробувань. Процес організації і проведення випробувань складається з таких етапів: планування випробувань, визначення методів випробувань, підготування випробувань, проведення випробувань, контроль під час випробувань, оцінювання результатів і оформлення документації по випробуваннях.

Типовий технологічний процес складається з наступних технологічних операцій:

а) початкова стабілізація (напрацювання) – вплив на виріб нормальних умов протягом часу, встановленого в нормативно-технічній документації (НТД) чи програмі випробувань (ПВ) на виріб;

б) початкова перевірка і вимірювання контрольованих параметрів після стабілізації;

в) витримка – вплив факторів (чи фактора) певного значення протягом установленого часу, зазначеного в НТД чи ПВ;

г) проміжна перевірка і вимірювання під час випробування виробу;

д) кінцева стабілізація (напрацювання) – вплив на виріб нормальних умов протягом часу, встановленого в НТД чи ПВ;

е) заключна перевірка і вимірювання;

ж) обробка результатів випробування і прийняття рішень;

з) видача рекомендацій з удосконалювання конструкції об'єкта випробувань чи технології виготовлення.

Існує велика кількість видів випробувань електронних засобів. Вони розглядаються у спеціальній технічній літературі.

Найбільш часто застосовуються такі види випробувань: випробування на теплотривкість; на холодостійкість; на вплив роси й інею, підвищеної вологості повітря, атмосферного тиску, сонячного випромінювання, пилу, цвілевих грибів, підвищеного гідростатичного тиску, соляного туману; на герметичність; на ударостійкість; на механічну міцність; на вібростійкість; електричні випробування та ін.

Вибір того чи іншого виду випробувань здійснюється з урахуванням вимог до виробів і умов їхньої експлуатації.

4.7.3 Аналіз похибки вихідних параметрів ТЗА при кліматичних випробуваннях

При кліматичних випробуваннях, у результаті впливу на виріб температури, вологи й інших факторів, вихідні параметри вузлів і блоків ТЗА істотно змінюються. Так разом із зміною центра групування похибок у процесі випробувань має місце і деформація законів їхнього розподілу, що супроводжується збільшенням (чи зменшенням) поля розсіювання похибок. При цьому змінюється і структура похибки параметра виробу.

Дія будь-якого дестабілізуючого фактора (температури, вологи і та ін.) можна розглядати як внесення в систему (функціональний вузол, блок) зовнішніх збурень, що порушують детермінованість зв'язку між її елементами і викликають систематичні і випадкові зміни вихідних параметрів системи.

На основі кліматичних випробувань можна побудувати аналітичну модель, яка дозволить прогнозувати похибку вихідного параметра виробу для такого режиму експлуатації, що моделюється кліматичними випробуваннями. Крім того, така модель може дати відповідь на питання: яку частку необоротних змін вносять кліматичні випробування в розподіл похибки параметра випробовуваного виробу.

Для забезпечення можливості розрахунку похибок вихідних параметрів виробу повинні бути відомими:

а) основні характеристики виробу для нормальних умов експлуатації і допуски на них (з технічних умов);

б) електрична схема виробу;
в) конструкція виробу (модульна, мікромодульна чи ін.);
г) спосіб виготовлення і вплив технологічного процесу на вихідні параметри виробу;

д) зовнішні умови експлуатації.

При наявності вищеперелічених даних здійснюються кліматичні випробування, за результатами яких розраховуються показники, що характеризують вплив дестабілізуючого фактора на вихідні параметри виробів.

У процесі випробувань вимірюються вихідні параметри партії виробів у нормальних умовах експлуатації та у граничному режимі заданого діапазону зовнішніх умов чи після випробувань (якщо потрібно оцінити вплив необоротних змін, що вносяться кліматичними випробуваннями).

Отриманий матеріал заноситься в таблиці, на підставі яких визначаються:

а) середні і середньоквадратичні значення вимірюваних параметрів;

б) коефіцієнти кореляції між параметрами, виміряними в нормальних умовах і граничних режимах.

Потім по формулах

$$b = r_{YY'} \frac{\sigma(Y')}{\sigma(Y)},$$

$$b_0 = \bar{Y}' - b\bar{Y},$$

$$\sigma\left(\frac{Y'}{Y}\right) = \sqrt{\sigma^2(Y') - b^2\sigma^2(Y)},$$

де \bar{Y} і \bar{Y}' , $\sigma(Y)$ і $\sigma(Y')$ – відповідно середні і середньоквадратичні значення вихідного параметра виробу для нормальних умов і заданого граничного режиму випробувань;

$r_{YY'}$ – коефіцієнт кореляції між похибками параметрів \bar{Y} і \bar{Y}' .

Розраховуються показники b_0 , b і $\sigma\left(\frac{Y'}{Y}\right)$, що характеризують вплив випробувань (даного виду) на похибку вихідного параметра виробу.

Далі по заданому допуску для певних умов експлуатації знаходять:

а) центр групування очікуваної похибки

$$\Delta_{Y'} = b_0 + b\Delta_{Y_{TV}},$$

де $\Delta_{Y_{TV}}$ – координата центра поля допуску;

б) половину поля очікуваної похибки вихідного параметра

$$\delta(Y') = 3\sqrt{\sigma^2\left(\frac{Y'}{Y}\right) + b^2 \frac{[\sigma^2(Y)]_{TV}}{9}};$$

в) межі розсіювання очікуваної похибки

$$Y'_{\min} \div Y'_{\max} = \Delta_{Y'} \pm \delta(Y').$$

Запитання для самоперевірки

1. Яка мета випробувань виробів?
2. Які кліматичні фактори найбільш небезпечні для електронних засобів? Які існують методи захисту від впливу цих факторів?
3. На які етапи розділяється процес випробувань об'єкту і який їхній зміст?
4. Які існують шляхи зниження трудомісткості випробувань?
5. Чим відрізняються стендові і лабораторні випробування електронних засобів від реальних умов їхньої експлуатації?
6. Які випробування з використанням моделей ви знаєте?
7. Які види випробувань на механічні впливи ви знаєте?
8. У чому полягає різниця між вібростійкістю та віброміцністю електронних засобів?
9. Яка методика випробувань виробів на ударну стійкість?
10. У чому полягає сутність випробувань виробу на температурний вплив? Методика випробувань.
11. У чому полягає сутність випробувань на біологічні впливи? Методика випробувань.
12. У чому сутність випробувань ТЗА на ремонтпридатність?
13. Основні дефекти друкованих плат і їхнє усунення.
14. У чому полягає ремонт вузлів ТЗА?
15. Яка технічна документація використовується при ремонті ТЗА?
16. Дайте визначення поняття «контроль»?
17. Поясніть схему зв'язків параметрів, контрольованих САК у ГВС.
18. Яким чином здійснюється вибір засобів контролю?
19. Порівняйте економічну ефективність різних методів контролю.
20. Які умови визначають необхідність введення випробувань у процес виготовлення ТЗА?

21. За якими критеріями класифікують методи випробувань?
22. Сформулюйте умови, необхідні для введення в ТП регулювальних операцій.
23. Дайте визначення понять «регулювання» і «настроювання»?
24. Наведіть загальну схему регулювання?
25. Перелічіть відомі вам методи регулювання. Чим визначається їхнє застосування?
26. З яких операцій складається технологічний процес регулювання?
27. Яка технічна документація використовується при виконанні регулювання?

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Невлюдов І.Ш. Основи виробництва електронних апаратів: Навч. Посібник. Харків: ТОВ «Компані СМІТ», 2005. 598 с.
2. Основи виробництва електронних апаратів. Типові задачі / Невлюдов І.Ш. Харків: ТОВ «Компанія СМІТ». 2009. 400 с.
3. Микроэлектромеханические системы и нанотехно-логии / И.Ш. Невлюдов, А.А. Андрусевич, В.А. Палагін. Харків, «Коллегиум». 2007. 268 с.
4. Визуальный мониторинг физико-химических процессов в производстве и эксплуатации электронной аппаратуры/ Невлюдов И.Ш., Андрусевич А.О., Омаров М.А. Харьков.: «Коллегиум». 2007. 236 с.
5. Технология межсоединений электронной аппаратуры/ Семенець В.В., Джон Кратц, Невлюдов І.Ш., Палагін В.А. Харків: ТОВ «Компанія СМІТ». 32 2005. 32 с.
6. Семенець В.В., Невлюдов І.Ш., Палагін В.А. Введення в мікросистемну техніку та нанотехнології. Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2011. 416 с.
7. Невлюдов І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації: Підручник. Кривий Ріг: КК НАУ, 2017. 444 с.
8. Невлюдов І.Ш. Мікросистемна техніка та нанотехнології: Монографія / І.Ш. Невлюдов, В.А. Палагін. Киев, НАУ 2017. 528 с.
9. Невлюдов І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації. Збірник задач: Навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, Г.В. Пономарьова, А.О. Фун-кендорф. Кривий Ріг: КК НАУ, 2018. 332 с.
10. 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.
11. Невлюдов І.Ш. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень: Підручник / І.Ш. Невлюдов. Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ. 2019. 448 с.
12. Невлюдов І.Ш. Технологічне забезпечення якості гнучких комутаційних структур: Монографія / І.Ш. Невлюдов, І.В. Боцман, В.В. Невлюдова, Є.А. Разумов-Фризюк. Кривий ріг: КК НАУ, 2018. 256 с.
13. Основи САПР: технічна підготовка виробництва: Навч. посібник / Невлюдов І.Ш., Андрусевич А.О., Євсєєв В.В., Мілютіна С.С. Київ: НАУ, 2014. 360 с.

14. Оформлення технічної документації: навч. посібник / В. В. Семенець, І. Ш. Невлюдов, А. М. Сінотін, С. В. Сотник. Харків: ХНУРЕ, 2021. 148 с.
15. Невлюдов І.Ш. Автоматичне управління технологічними об'єктами: підручник/ І.Ш. Невлюдов, О.В.Токарева. Харків: ХНУРЕ, 2018. 190 с.
16. Підтримка життєвого циклу у виробничій інженерії: монографія / І. Ш. Невлюдов, О. І. Филипенко, А. О. Андрусевич, М.Г. Стародубцев. Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019. 252 с.
17. Невлюдов, І.Ш. Теорія автоматичного управління (збірник задач): навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, О.В.Токарева. Харків: ХНУРЕ, 2020. 240 с.
18. Невлюдов І.Ш. Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва технічних засобів автоматизації. Частина 1: Підручник. Харків: ФОП Панов А.М., 2020. 490 с.
19. Управління якістю виробів: навч. посібник/ І.Ш. Невлюдов, Д. А. Янушкевич, Л.С. Іванов. Харків: ХНУРЕ, 2021. 364 с.
20. Автоматизація виробничих процесів : підруч. / І. В. Ельперін, О. М. Пупена, В. М. Сідлецький, С. М. Швед ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харчових технологій. 2-е вид., випр. Київ : Ліра-К, 2016. 378 с.
21. Зіньковський Ю.Ф., Уваров Б.М. Проектування радіоелектронної апаратури, підручник, НТУУ "КПІ"ім. І. Сікорського, друга редакція, 270 с. українською мовою; Ухвалено Вченою радою № 6; дата 12.06.2017
22. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах : навчальний посібник / О. М. Пупена, І. В. Ельперін, Н. М. Луцька, А. П. Ладанюк. К. : Ліра, 2011. 552 с.
23. M. Szermer, A. Napieralski, C. Maj, L. STARZAK, W. Zabierowski, P. Zajac, M. Lobur, O. Matviyukiv, M. Melnyk, J. Dziuban, G. De Mey, P. PONS, A. PETRENKO. MEMS fundamentals with ANSYS simulation of basics sensors and actuators: навчальний посібник – Łódź: Lodz University of Technology Press, 2020. 168 с.

ПІДРУЧНИК ДЛЯ ЗДОБУВАЧІВ
ВИЩОЇ ОСВІТИ

Ігор Шакирович Невлюдов

**КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ
ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА
ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

Підручник для здобувачів
вищої освіти
Частина 2

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

Комп'ютерна верстка Н.К. Ляшова

Підп. до друку 19.05.2022 р Формат 60x84 1/16.
Папір офсетний. Друк ротатійний та цифровий лазерний.
26.5 Умов.друк.арк. 19.5 Умов.вид.арк.
Тираж 300 прим.Зам № 16. 19-05/22
Видано на замовлення ХНУРЕ

Видавець: Д.О. Чернявський
200-річчя Кривого Рогу, 17 (зуп. «Спаська»)
Свідоцтво ДК 3449 від 02.09.2009 р.
Oktanprint.com.ua; oktanshop.com;
тел.+38(067)46-46-102
oktanprint@ukr.net