

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт №1–№4

з дисципліни

"Основи технології"

для студентів спеціальності

172 Електронні комунікації та радіотехніка

усіх форм навчання

2024

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт №1–№4 з дисципліни "Основи технології" для студентів спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка, усіх форм навчання / Уклад.: Фарафонов О.Ю., Фурманова Н.І., Малий О.Ю., Гарачук С.А. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 38 с.

Укладачі: Фарафонов Олексій Юрійович, канд. техн. наук, доцент, доцент каф. ІТЕЗ;
Фурманова Наталія Іванівна, канд. техн. наук, доцент, доцент каф. ІТЕЗ;
Малий Олександр Юрійович, канд. техн. наук, доцент, зав. каф. ІТЕЗ;
Гарачук Сергій Анатолійович, ст. викл. каф. ІТЕЗ.

Рецензент: Онищенко Вадим Федорович, к.ф.-м.н., доцент каф. ІТЕЗ

Відповідальний за випуск: Малий Олександр Юрійович, канд. техн. наук, доцент, зав. каф. ІТЕЗ

Затверджено
на засіданні кафедри ІТЕЗ
протокол № 1 від 10.09.24 р.

Рекомендовано до видання
НМК ФІБЕК
протокол № 2 від 19.09.2024 р.

ЗМІСТ

1. Лабораторна робота №1. Аналіз конструкції виробу і створення конструкторської схеми складання	5
1.1 Конструкторсько-технологічний (структурний) аналіз виробу.....	5
1.2 Особливості побудови просторово-тимчасової структури складання і монтажу радіоапаратури.....	6
1.3 Виріб та його елементи	8
1.4 Порядок виконання роботи	11
1.5 Зміст звіту	13
1.6 Контрольні запитання	13
2. Лабораторна робота №2. Аналіз і технологічна характеристика методів з'єднання складальних одиниць ЕА.	14
2.1 Класифікація механічних з'єднань	14
2.2 Технологія роз'ємних з'єднань	15
2.3 Технологія нероз'ємних з'єднань	16
2.3.1 Технологія склеювання	16
2.3.2 Технологія паяння механічних з'єднань	17
2.3.3 Технологія зварних з'єднань	18
2.4 Вихідні дані	18
2.5 Завдання на виконання роботи	18
2.5.1 Завдання на виконання роботи	18
2.5.2 Зміст звіту.....	19
2.6 Контрольні запитання	19
3. Лабораторна робота №3. Технологія паяних з'єднань	20
3.1 Класифікація методів виконання електричних з'єднань	20
3.1.1 Види пайки	20
3.1.2 Групові методи пайки	20
3.1.3 Фізико-хімічні основи пайки	22
3.2 Область застосування різноманітних засобів пайки	22
3.2.1 Паяння хвилею припою.....	22
3.2.2 Паяння зануренням у розплавлений припій	23
3.2.3 Дозоване паяння	23
3.2.4 Лазерне паяння	23
3.2.5 Парофазне паяння	24

3.2.6 Паяння інфрачервоним (ІЧ) нагріванням	24
3.2.7 Паяння протягуванням	24
3.3 Контроль якості паяних з'єднань	24
3.4 Вихідні дані до роботи	26
3.5 Завдання на виконання роботи	26
3.6 Зміст звіту	27
3.7 Контрольні запитання	27
4. Лабораторна робота №4. Аналіз технологічності конструкції виробу	28
4.1 Необхідність аналізу виробу на технологічність	28
4.2 Порядок аналізу виробу на технологічність	29
4.3 Види оцінок технологічності виробу	29
4.4 Номенклатура показників оцінки технологічності та їх характеристика.....	30
4.5 Оцінка технологічності складальних одиниць для умов щодо автоматизації складання	36
4.6 Вихідні дані до роботи	36
4.7 Завдання на виконання роботи.....	36
4.8 Зміст звіту	37
4.9 Контрольні запитання	37
Література	38

1. Лабораторна робота № 1

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ВИРОБУ РЕЗ, ЯК ОБ'ЄКТУ СКЛАДАННЯ

Мета роботи: навчитись виконувати структурний аналіз виробу, як об'єкту виробництва.

1.1 Конструкторсько-технологічний (структурний) аналіз виробу

Об'єктивною тенденцією удосконалення радіоелектронної апаратури (РЕА) є зріст її ускладнення. Ускладнення схемних і конструкторських рішень, функціональних зв'язків разом із значним збільшенням чисельності елементів в РЕА створює великі труднощі при складанні, монтажу та регулюванні.

Сучасна РЕА може мати тисячі різноманітних деталей і складальних одиниць, але, із-за досягнутого у промисловості певного рівня уніфікації і запозичення, багато деталей і складальних одиниць можуть входити до різних виробів. Тому конструктивно-технологічною особливістю РЕА є функціонально-вузловий принцип конструювання.

Структурний аналіз виробу здійснюється у процесі розробки конструкторської документації та при технологічній підготовці виробництва (ТПВ). Ця робота містить в собі проведення послідовного співставлення конструкції розроблюваного виробу з технологічними можливостями виробництва підприємства - виготовлювача.

У проведенні структурного аналізу в період розробки виробу беруть участь підприємство-розроблювач (КБ) і майбутній виготовлювач, а в ТПВ - підрозділи підприємства-виготовлювача (технологічний відділ, відділ механізації та автоматизації, відділ організації та планування виробництва і інші служби). При проведенні структурного аналізу вирішується комплекс задач по складу виробу: виявлення потреби в нових технологічних процесах і матеріалах; установлення номенклатури деталей та складальних одиниць оригінальних та тих, що можуть бути запозичені з інших виробів, вже освоєних у виробництві; уточнення доцільності кооперованих постачань; визначення попередніх маршрутів виготовлення деталей та автономних складальних одиниць; виявлення можливості

застосування в процесі виробництва типових і групових технологічних процесів, стандартних засобів технологічного оснащення; розрахунок трудомісткості виготовлення виробу (загальної і по видам робіт) і визначення на його основі потрібної кількості технологічного устаткування і робочої сили (по професіям і розрядам). На проведення цих робіт і упорядкування документів працівниками КБ і технологічними службами затрачається значний час. Чим більше номенклатура розроблюваних виробів і чим складніше їх конструкція, тим більший об'єм робіт і тим важливіше стає задача максимального застосування засобів обчислювальної техніки. Для цілей проведення структурного аналізу створюються інформаційні бази даних підприємства-виготовлювача, основу яких складають дані про виробництво, дані про кооперовані постачання, дані про потужності виробництва, що звільняються у випадку припинення випуску застарілих виробів і т. ін.

Таким чином конструктивно-технологічна характеристика виробу, як об'єкту виробництва, не залежить від призначення та умов виробництва, а надає повну інформацію щодо оцінки технологічності та технологій виготовлення конструкцій виробу.

1.2 Особливості побудови просторово-тимчасової структури складання і монтажу радіоапаратури

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 із концентрацією або диференціацією операцій.

Стаціонарним називається складання, при котрому об'єкт, що збирається, - нерухомий, а до нього у визначені проміжки часу подаються необхідні складальні елементи.

Рухоме складання характеризується тим, що складальна одиниця переміщається по конвеєрі уздовж робочих місць, за кожним із яких закріплена визначена частина роботи. Переміщення об'єкта складання може бути вільним у міру виконання закріплених операцій або примусовим відповідно до ритму процесу.

Складання по принципу концентрації операцій полягає в тому, що на одному робочому місці робиться весь комплекс робіт із виготовлення виробу 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 організації роботи в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва.

Диференційоване складання припускає розчленовування складально-монтажних робіт на ряд послідовних простих операцій. Це дозволяє механізувати та 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, збільшенню виробничих площин, спаду продуктивності праці робітників при виконанні одноманітних операцій. Тому в кожному конкретному випадку повинна бути визначена техніко-економічна доцільність ступеня диференціації складальних і монтажних робіт [1,2].

На підвищення продуктивності праці істотний вплив має не тільки ступінь деталізації процесу і спеціалізації робочих місць, але і рівень механізації та автоматизації і такі організаційні принципи, як рівнобіжність, прямоточність, безперервність, пропорційність і ритмічність.

Рівнобіжність складання - це одночасне виконання частини або всього технологічного процесу (ТП), що приводить до скорочення виробничого циклу. Використання цього принципу обумовлено конструкцією РЕА, ступенем її розчленовування на складальні одиниці. При організації робочого процесу прагнуть забезпечити найкоротший шлях проходження виробу по усім етапам і операціям від запуску до виходу готового виробу. Будь-які відхилення від прямоточності ускладнюють процес складання, подовжують цикл виготовлення, збільшують вартість виробництва.

Безперервність ТП складання передбачає скорочення або повне усунення між- і внутрішньоопераційних перерв. Досягається безперервність раціональним вибором техпроцесів, з'єднанням або розподілом операцій складання чи монтажу, раціональним вмиканням у потік операцій контролю і регулювання виробничого процесу все це

забезпечує пропорційна продуктивність праці в одиницю часу на кожному робочому місці, лінії, ділянці, цеху. Безперервність ТП приводить до повного використання устаткування, виробничих площин і до ритмічного випуску виробів. Таким чином оптимальність ТП залежить від раціонального розподілу конструкції на складальні одиниці та уніфікованості і стандартизації її елементів.

1.3 Виріб та його елементи

Кожний виріб складається з окремих складових частин різної складності, що з'єднують у визначеному порядку різними видами з'єднань. Відповідно до Держстандарту ДСТУ 3321-96 вироби РЕА підрозділяються на деталі, складальні одиниці, функціональні вузли, ЕРЕ, блоки, комплекси, системи. При чому вони можуть бути оригінальними, уніфікованими, стандартними, запозиченими та купованими. На рис. 1.1 приведено загальну схему розподілу простого виробу на частини.

Складність виробу залежить від багатьох факторів (функціональне призначення, конструктивне оформлення і т. ін.). На рис. 1.2 приведено схему функціонального розподілу комплексного виробу на складові частини. Чим складніше виріб, тим більш треба допоміжних конструкторських складових та конструкторських матеріалів (провід, ізоляційні трубки, лакотканини, ізоляційні плівки, прокладки і т. ін.).

Крім основних конструктивних частин до виробу входять допоміжні складові - це технологічні матеріали, без яких не можливе складання виробу (припій, флюс, фарба, лак, клей, компаунд та т. ін.).

При розробці конструктивно-складальної схеми (КСС) необхідно обов'язково враховувати до якого рівня складових частин відноситься кожен елемент конструкції.

КСС - це графічне зображення складових частин конструкції виробу, яке відображає взаємозв'язок його елементів та показує їх конструктивно-технологічну ієрархію.

КСС не залежить від типу виробництва і потребує максимальної диференціації складових частин.

Оригінальні деталі та ЕРЕ і УФЕ, тобто елементна база потребують додаткового аналізу, для виявлення ступеню складності ТПВ та вирішення питання щодо автоматизації і механізації технологічних процесів.

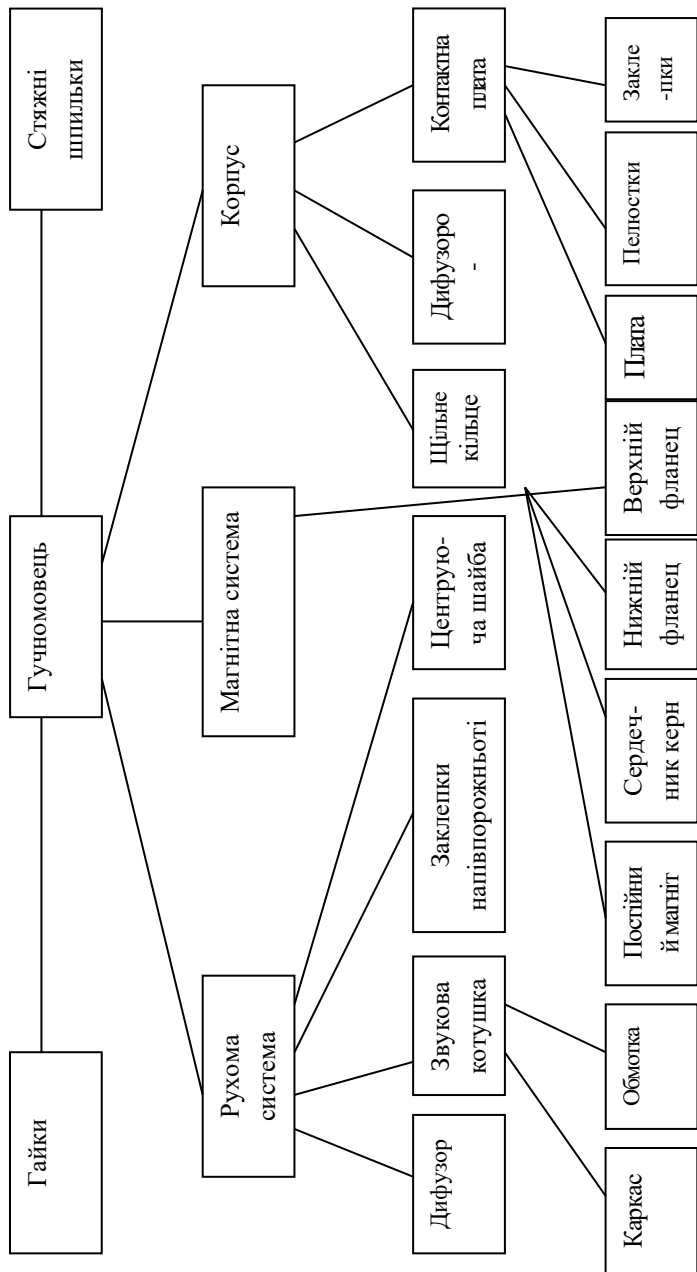


Рисунок 1.1 - Загальна схема простого виробу

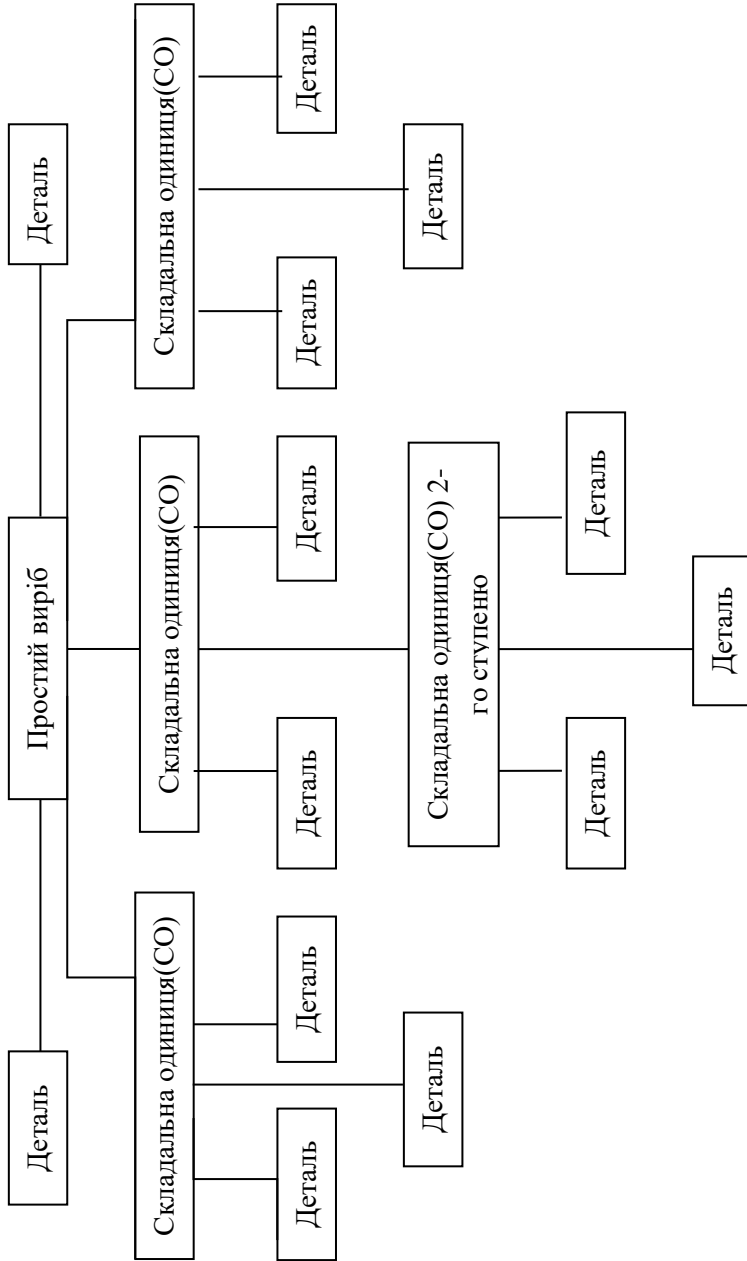


Рисунок 1.2 - Схема функціонального розподілу комплексного виробу

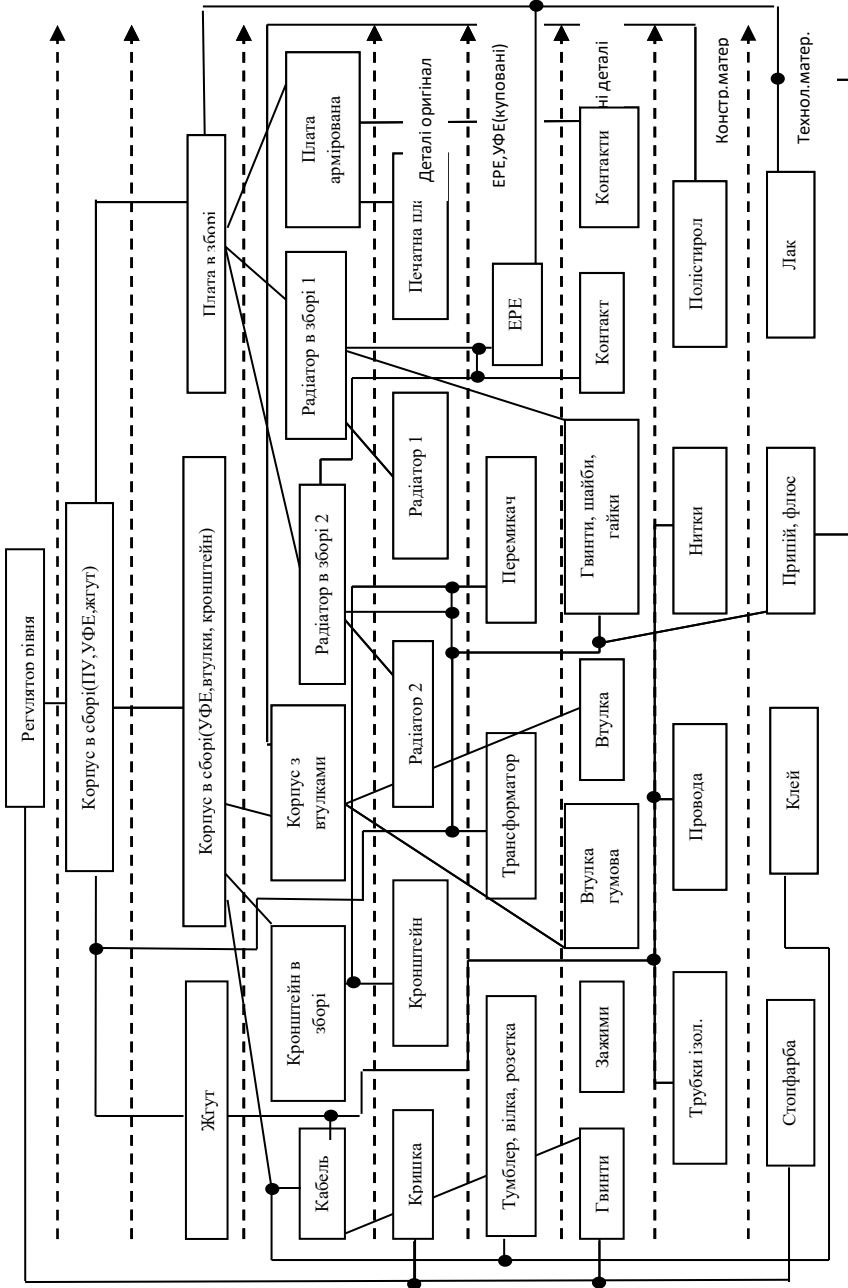


Рисунок 1.3 – Конструкторська схема складання виробу

1.5 Зміст звіту

1.5.1 Мета роботи.

1.5.2 Короткі письмові відповіді на контрольні запитання.

1.5.3 Складально-монтажне креслення об'єкта складання, або опис конструкції.

1.5.4 Технологічний аналіз складових виробу (деталей, ЕРЕ, СО, матеріалів та т. ін.).

1.5.5 Таблиці по формі 1.1 та 1.2

1.5.6 Конструкторська схема складання.

1.5.7 Висновки.

1.6 Контрольні запитання

1.6.1 Дати пояснення поняттю "функціонально-вузловий" принцип конструювання.

1.6.2 Який комплекс задач вирішується при проведенні структурного аналізу виробу?

1.6.3 Для якої цілі створюються і що містять у собі інформаційні бази даних підприємства-виготовлювача РЕЗ?

1.6.4 Яка послідовність технологічних операцій процесу складання виробу?

1.6.5 Що розуміється під "стаціонарним" складанням?

1.6.6 Що розуміється під "рухомим" складанням?

1.6.7 Особливості складання за принципом концентрації операцій.

1.6.8 Особливості диференційованого складання і межі диференціації операцій.

1.6.9 Що розуміється під рівнобіжністю складання ?

1.6.10 Призначення та принцип розробки КСС.

2. Лабораторна робота №2

АНАЛІЗ І ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДІВ З'ЄДНАННЯ СКЛАДАЛЬНИХ ОДИНИЦЬ ЕА

Мета роботи: навчитися класифікувати методи з'єднання, обґрунтувати їх вибір, одержати практичні навички щодо технології виконання складальних процесів.

2.1 Класифікація механічних з'єднань

При виготовленні ЕА поряд з електричними широко використовуються механічні з'єднання, що розділяються на групи: роз'ємні, обмежно - роз'ємні і нероз'ємні. Відсоток співвідношення різних видів з'єднань показано на рис. 2.1.

Роз'ємні з'єднання допускають повне розбирання виробу на деталі без руйнації їхньої цілісності. До них відносяться різьбове, байонетне, штифтове, шплінтове і т.ін.

З'єднання вважається нероз'ємним, якщо його розбирання супроводжується руйнацією матеріалів або деталей, за допомогою яких воно здійснено. Нероз'ємні з'єднання виконують паянням, зварюванням, склеюванням, розвальцьовкою, склепуванням і т.д.

Різьбові з'єднання в загальному обсязі займають найбільшу питому вагу, але характеризуються високою вартістю і трудомісткістю.

Склепування застосовують для конструкцій, що працюють при високих температурах і тисках, для міцних з'єднань неметалевих деталей із металом. Недоліками клепаних з'єднань є: відсутність герметичності шва, ослаблення матеріалу в місці з'єднання, концентрація і нерівномірний розподіл напруг.

Паяння і зварювання конструкційних деталей мають ті ж фізико-хімічні особливості, якості і недоліки, що і при виконанні монтажних з'єднань. Відмінності містяться у технології: інше устаткування, підготовка деталей, вибір матеріалів, режимів.

Склеювання застосовують для з'єднання матеріалів у самих різноманітних сполученнях. Це з'єднання має високу довговічність, корозійну стійкість, герметичність; володіє теплоізолюючими, звукопоглинаючими, демпфруючими властивостями.

Розвальцьовка супроводжується виникненням у з'єднаннях значних деформацій, що спотворюють взаємне положення деталей.

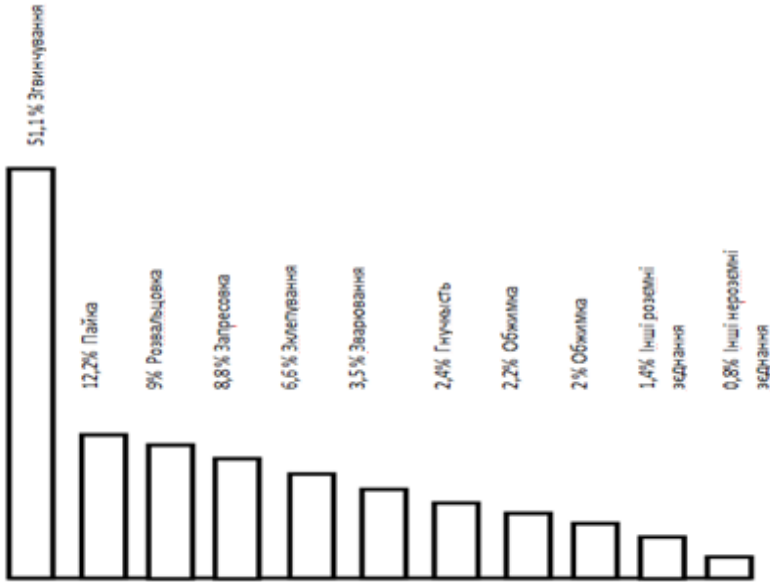


Рисунок 2.1 – Відсоток співвідношення видів з'єднань

Це викликає необхідність у підвищенні вимог до жорсткості використовуваних пристосувань.

2.2 Технологія роз'ємних з'єднань

Основним видом роз'ємних з'єднань є різьбове, для здійснення якого застосовуються ручний різьбозагортуючий інструмент, або напівавтоматичне та автоматичне устаткування. Так механізована викрутка дозволяє регулювати зусилля затяжки в межах 0,1-11 Н•м у залежності від діаметра різьби (М2 - М6). Час затяжки не перевищує 2 - 3 с, а продуктивність складає 350 - 450 з'єдн./г. Аналогічні конструкції розроблені із застосуванням пневмопривода, яким властива економічність, універсальність, безпека, можливість великих перевантажень, але їх робота супроводжується значним шумом, що обмежує їхнє застосування. Важливою умовою забезпечення якості різьбових з'єднань при роботі з використанням механізованого й автоматизованого оснащення є встановлення необхідного зусилля затяжки. Величина моменту, що прикладається до гвинта або гайки, залежить від того, який елемент лімітує міцність. При з'єднанні гвинтом або болтом момент затяжки визначається міцністю на розтяг.

При закручуванні різьби в упор момент зтяжки визначається міцністю тіла гвинта на крутіння або міцністю шлиця на зім'яття. Якщо різьбове з'єднання має мале число витків, які сполучаються, то момент згвинчування обмежується міцністю гвинта або гайки на зріз. При з'єднанні тендітних деталей момент зтяжки лімітується міцністю цих деталей.

Для підвищення надійності з'єднань і запобігання від самовідгвинчування застосовують такі методи: стопоріння за допомогою механічних засобів (кернення, стопорних і пружинних шайб, шплінтів, контргайок, самоконтруючихся гайок), стопоріння анаеробними герметиками, стопоріння фарбою. Стопоріння з застосуванням механічних засобів (крім кернення) використовується в з'єднаннях, що виконують кріплення елементів конструкцій, які піддаються заміні в процесі експлуатації. Стопоріння фарбою застосовується для різьбових з'єднань невеликого діаметра (М1 - М6) і для кріплення вузлів конструкцій, розташованих усередині блоків, які у процесі складання регулюються. Стопоріння за допомогою анаеробних герметиків є універсальним засобом, що забезпечує надійність з'єднань при впливі підвищеної вологості, циклічних температур, вібраційних і ударних навантажень.

2.3 Технологія нероз'ємних з'єднань

2.3.1 Технологія склеювання

Склеювання - це технологічний процес з'єднання виробів за допомогою спеціальних речовин, що унаслідок взаємодії з поверхнею виробів і зміни свого фізичного стану здатні за певних умов міцно їх скріплювати. «З'єднання за допомогою клеїв є результатом прояву сил адгезії. Основною вимогою до клейового шва є механічна міцність з'єднання. Вимога забезпечується правильним вибором клею для даного сполучення матеріалів і суворого дотримання техпроцесу склеювання. До клейового з'єднання пред'являють вимоги: високі ізоляційні властивості, або якісній електричній контакт (це залежить від функціонального призначення з'єднання); еластичність, волого-, термо-, грибо-, морозостійкість, теплопровідність і та інше. Техпроцес склеювання складається з операцій: підготовка поверхні деталей, готування клею, склеювання, сушка та контроль якості з'єднання [1].

2.3.2 Технологія паяння механічних з'єднань

Техпроцес конструкційного паяння аналогічний процесу монтажно́ї пайки, змінюються тільки типи паяних з'єднань і підвищуються вимоги до жорсткості деталей перед здійсненням з'єднань. Поширення одержали такі типи паяних з'єднань: встик (міцність шва низька), вскіс (міцність шва більш висока), східчасте з'єднання (підвищена міцність складання і міцність з'єднання), нахлистом (міцність шва залежить від площі перекриття), встик із накладкою (міцність з'єднання висока), з'єднання в замок (висока міцність з'єднання), телескопічне з'єднання (висока точність складання і міцність з'єднання). Для кріплення деталей застосовують штифтове з'єднання, развальцовку, отбортовку, кернення і т.ін.

Конструкційне паяння виконується низько-, середньо-, і високотемпературними припоями. Низько- і середньо-температурне паяння застосовується у виробництві прецизійних паяних з'єднань, тому що зменшення нагрівання істотно знижує деформацію деталей, а високотемпературна – при виготовленні великогабаритних конструкцій, що володіють високою механічною міцністю і термостійкістю.

Високотемпературне паяння механічних з'єднань виконують у полі токів високої частоти, у печі або у ванній із розплавленим розчином сілей металів.

Індукційне паяння засноване на розігріві, деталі паяються під дією електромагнітного випромінювання. Цей вид паяння застосовується для з'єднання елементів НВЧ, при герметизації мікросхем у металевих корпусах. Процес протікає з високою швидкістю, легко автоматизується і входить в конвеєрні лінії складання.

Дозоване нанесення припою на зібрані утримувачі або касети деталі здійснюються маніпулятором, який програмується за заданим режимом.

Паяння в печі з контрольованою атмосферою забезпечують рівномірність нагрівання, точність підтримки температури і часу витримки, стабільність якості, легко піддається автоматизації.

Паяння у ванних із розплавленим розчином солей металів застосовуються для складання великогабаритних виробів.

2.3.3 Технологія зварних з'єднань

Зварюваність - це властивість матеріалу в однорідній або різнорідній системі під впливом енергії, що активує, забезпечувати надійне зварне з'єднання. На якість зварних з'єднань впливає вибір матеріалів, розробка оптимального варіанта техпроцесу, особливості конструкції з'єднання і усього виробу. Основні методи зварних з'єднань - контактна, електродугова, холодне, дифузійне і газове зварювання. Незалежно від методу для зменшення деформації виробів деталі закріплюють у пристосуванні і прагнуть забезпечити мінімальний об'єм металу в зварювальному шві, використовувати переривчастий крапковий шов, витримуючи складальні зазори.

Контактне зварювання застосовується для зварювання металів, що мають високі електроопори, пластичність і малу окисляємість. Аргонодугове зварювання забезпечує високу якість при зварюванні деталей із нержавіючих сталей, алюмінієвих і титанових сплавів. Холодне зварювання здійснюється за рахунок пластичної деформації, що з'єднує деталі під дією великих механічних зусиль. Метод застосовується для з'єднання нахлестом тонких (до 1 мм) деталей. Дифузійне зварювання засноване на з'єднанні деталей за рахунок повзучості під дією прикладеного тиску в контрольованій атмосфері. Метод дозволяє зварювати різнорідні матеріали, які не підлягають звичайним методам зварювання (наприклад мідь та алюміній), забезпечує високу точність. Недоліком дифузійної сварки є утворення вмісті з'єднання інтерметаліта. Газове зварювання застосовується для зварних з'єднань із тонколистової сталі з метою попередження пропалів, для з'єднання деталей із легких сплавів з мінімальними деформаціями. У якості горючої суміші застосовується ацетилен або природний газ і кисень.

2.4 Вихідні дані

Вихідними даними є:

- зразок складальної одиниці;
- зразки різноманітних видів з'єднань.

2.5 Завдання на виконання роботи

2.5.1 Теоретична частина

2.5.1.1 Провести аналіз методів з'єднань у заданій складальній одиниці.

2.5.1.2 Дати стислу характеристику наявним методам з'єднань, відмітити їх переваги та недоліки.

2.5.1.3 Описати технологію виконання з'єднань у зразку.

2.5.1.4 Зробити висновки по можливості автоматизації і механізації процесів складання.

2.5.1.5 Скласти таблицю за зразком табл. 2.1.

2.5.2 Зміст звіту

2.5.2.1 Мета роботи.

2.5.2.2 Стислі теоретичні відомості, рис. 2.1.

2.5.2.3 Практична частина:

- Вихідні дані;
- Характеристика методів з'єднання за п. 2.2 - 2.3;
- Таблиця технологічного аналізу.

2.5.2.4 Висновки по роботі.

Таблиця 2.1 - Технологічний аналіз методів з'єднання

Конструктивні складові, що з'єднуються	Метод з'єднання	Характеристика з'єднання	Необхідність додаткових конструктивних елементів або матеріалів для	Можливість механізації або автоматизації технологічного процесу	Необхідність спеціальних інструментів або пристосувань	Вид витраченої енергії

2.6 Контрольні запитання

2.6.1 Класифікація механічних методів з'єднання.

2.6.2 Характеристика різьбових з'єднань.

2.6.3 Можливість механізації й автоматизації методів з'єднання.

2.6.4 Клейові з'єднання та особливості їх технології.

2.6.5 Найбільш ефективні механічні види з'єднань з погляду технологічності.

3. Лабораторна робота №3 **ТЕХНОЛОГІЯ ПАЯНИХ З'ЄДНАНЬ**

Мета роботи: ознайомитися з методами і типами електричних з'єднань; вивчити технології процесів паяння, одержати практичні навички по вибору і обґрунтуванню методу паяння та по аналізу дефектів паяння.

3.1 Класифікація методів виконання електричних з'єднань

Класифікація методів електричних з'єднань наведена на рис. 3.1. Найбільш широке використання в технології складання РЕЗ здобула пайка.

Пайка - це процес з'єднання металів у твердому стані шляхом введення у зазор розплавленого припою, який взаємодіє з основним металом і який утворює рідкий металевий прошарок, кристалізація якого призводить до утворювання паяного шва.

3.1.1 Види пайки

В залежності від типу виробництва паяння виконується індивідуально за допомогою нагрітого паяльника або різними груповими методами. Індивідуальна пайка ефективна при монтажі друкованих плат (ДП) в умовах одиничного виробництва, при об'ємному монтажу, при запаюванні елементів із штирковими виводами на одному боці ДП після виконання пайки груповим методом на другому боці, при виготовленні макетів, при ремонтних та регульовальних роботах і т. ін. До основних переваг групової пайки відносяться: постійність технологічних режимів, підвищення продуктивності виробництва, підвищення надійності з'єднань, легкість автоматизації.

Вибір метода пайки залежить від програми випуску виробів, особливостей конструкції, вимог до якості [4,5].

3.1.2 Групові методи пайки

Сучасні методи групової пайки у виробництві РЕЗ класифікуються за джерелом теплової енергії, який є головним фактором при формуванні паяних виробів.

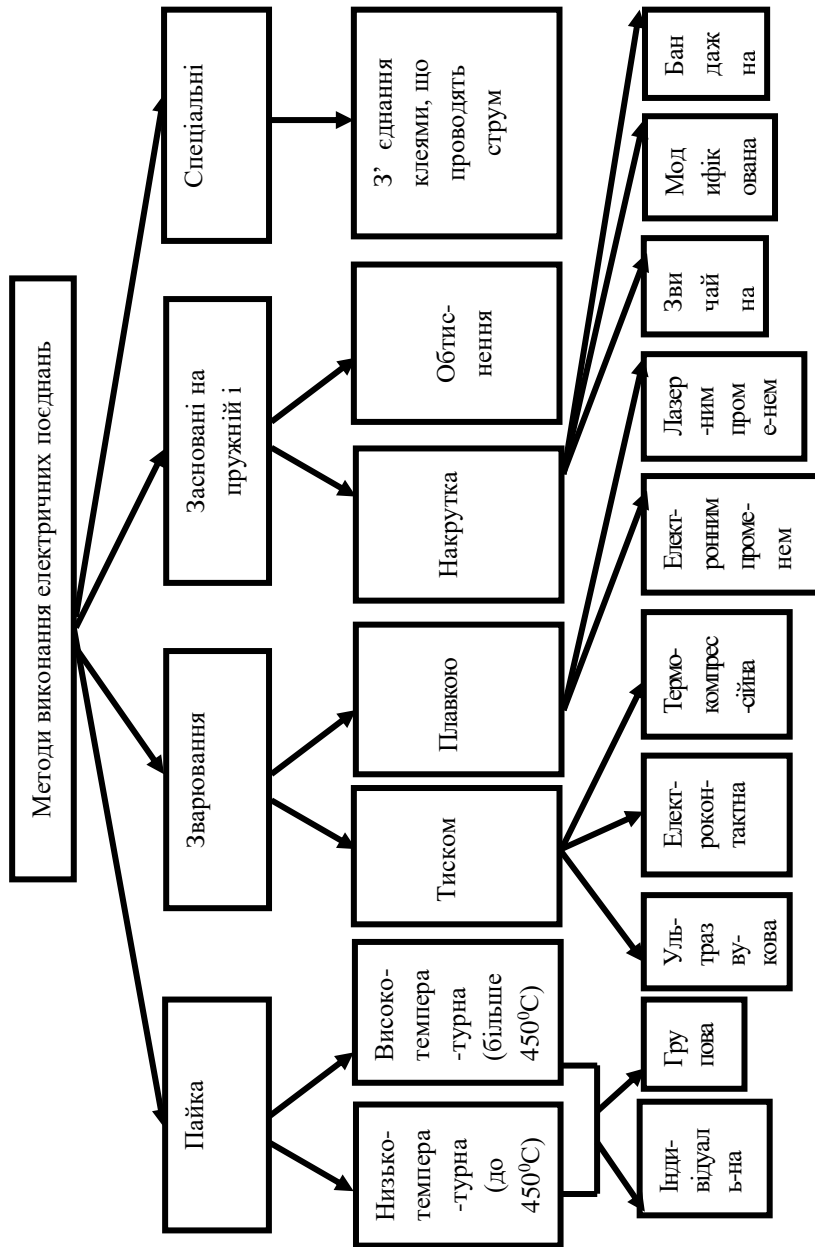


Рисунок 3.1 – Класифікація виконання електричних з'єднань

Пайка елементів із штирковими выводами, які встановлюються на ДП, в умовах поточного виробництва, виконується двома основними методами: зануренням та хвилею припою.

Пайка хвилею припою є найпоширеніший метод групової пайки. Вона полягає в тому, що плата прямолінійно переміщується над гребенем хвилі припою. Її переваги: висока продуктивність, можливість створення комплексно-автоматизованого обладнання, обмежений час взаємодії припою з платою, що знижує термоудар, корозію діелектрика, перегрів елементів. Пайка хвилею припою дозволяє виконувати паяння плат з малими зазорами між провідниками, при цьому "перемички", "містки" (дефекти) не виникають, а створюється тонкий рівномірний шар припою на провідниках.

3.1.3 Фізико-хімічні основи пайки

Найважливішими аспектами проблеми утворення паяних з'єднань є забезпечення надійного електричного контакту з мінімальним перехідним опором; забезпечення якісного механічного щеплення з'єднаних елементів та стабільність цих параметрів у різних вимогах експлуатації [1]. Отримання надійного з'єднання двох матеріалів проходить при їх тісному контакті; воно зумовлене створенням між-атомних зв'язків атомів з'єднаних поверхонь. Результатом такої взаємодії є формування з'єднань, властивості яких залежать від ступеня близькості структури єднального шару до структури об'ємних матеріалів що з'єднуються, тобто єднальний шар повинен забезпечити плавний перехід властивостей від одного матеріалу до іншого. Це можливо у випадку ретельного попереднього опрацювання поверхонь, які з'єднуються, з метою ліквідації мікронерівностей (зменшення шорсткості) і знищення забруднень, активування металів і припою, які з'єднуються; забезпечення взаємодії на межі "основний метал-рідкий припой", створення умов для кристалізації рідкого металевого прошарку.

3.2 Область застосування різноманітних засобів пайки

3.2.1 Паяння хвилею припою

Цей метод з моменту свого виникнення (50-і роки) завоював ведуче положення в промисловості, як у масовому, так і в одиничному виробництві. Цьому сприяють такі переваги, як висока продуктив-

ність, відносно малий термічний вплив на ДП, електрорадіоелементи (ЕРЕ), функціональні вузли, наявність широкого вибору моделей устаткування, висока якість паяних з'єднань. Паяння хвилею використовують для двохсторонніх та односторонніх ДП з металізацією отворів.

3.2.2 Паяння зануренням у розплавлений припій

Цей метод знайшов застосування при монтажі ЕРЕ і функціональних вузлів з штирковими виводами. Установки для паяння займають мало місця, мають достатньо високу продуктивність, тому що паяння всіх з'єднань здійснюється за 2...5 с. Проте, при цьому методі зростає число дефектних з'єднань, тому що при зануренні ДП у припій під нею накопичується газ, що виділяється з флюсу і з підшарку ДП, який входить в з'єднання. Цей метод використовується при випуску невеликих партій товарів народного споживання, для ДП без металізації отворів.

3.2.3 Дозоване паяння

Незважаючи на низьку продуктивність метод знайшов широке застосування в промисловості завдяки відносній простоті засобу, можливості установки інтегральних мікросхем (ІМС) на багат шарові ДП, виготовлені методом відкритих контактних площадок. Цим засобом можна паяти будь-які багатовиводні ІМС і ЕРЕ.

3.2.4 Лазерне паяння

З появою нової елементної бази типовим став монтаж на одну ДП елементної бази в різноманітних корпусах, що зажадало застосування універсального засобу паяння, байдужого до форми і розміщення елементів і їх виводів. Цим методом є лазерне паяння, тобто паяння за допомогою лазерного променя. Так як температура плями променя в декілька разів більше температури паяння, то доза припою розплавляється за долі секунди і матеріал ДП при цьому не встигає прогрітися до температур, вище допустимих. Основним недоліком лазерного паяння є висока вартість устаткування, та низький коефіцієнт корисної дії.

3.2.5 Парофазне паяння

Цей метод паяння дозволив знайти застосування при складанні плат як з одностороннім так і з двостороннім розміщенням елементів.

Його переваги:

- швидка теплопередача і рівномірний нагрів
- постійна температура обробки;
- короткі цикли оплавлення (10... 12 с);
- анаеробне інертне середовище;
- можливість застосування слабоактивованих флюсів;
- універсальність.

3.2.6 Паяння інфрачервоним (ІЧ) нагріванням

Цей метод високопродуктивний, інваріантний до типу корпусів елементної бази, економічний, не забруднює навколишнє середовище. Але тому що енергія передається безконтактним засобом і сприймається всією поверхнею виробу, тобто ДП і корпусами елементів, цей метод може бути використаний тільки для приєднання елементів поверхневого монтажу, що витримують температури паяння біля 250 градусів.

3.2.7 Паяння протягуванням

Цей метод рекомендується для паяння елементів з необрізаними виводами, вузлів із високою щільністю монтажу; для фіксації під групову обрізку елементів з довгими виводами.

Вибір оптимального засобу паяння для конкретних умов є дуже складною задачею. Потрібно враховувати конструкцію виробу, елементну базу, призначення виробу і апаратури, масштаби виробництва, номенклатуру, можливості й обмеження самих засобів паяння, необхідність додаткових підготовчих операцій їх трудомісткість, наявність або відсутність відповідного устаткування і т. ін.

3.3 Контроль якості паяних з'єднань

Якість паяних з'єднань залежить від якості технологічного процесу. Ретельний вибір припою, флюсу та температурних режимів дозволяють отримати бездефектну пайку. Перелік найбільш використовуваних флюсів наведений у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Характеристики припоїв і флюсів

Марка припою	t^0 плавлення, 0C	t^0 пайки, 0C	Марка флюсу	t^0 пайки, 0C
ПОС-40	235	290	КС(спиртовий розмір каніфолі)	150-300
ПОС-61	190	240		
ПОСК50-18	145	190	ЛТИ(активований)	230-330

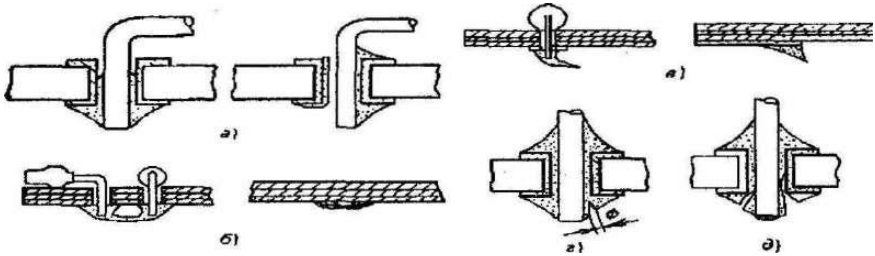
Паяні з'єднання мають відносно велику інтенсивність відмовлень у процесі експлуатації РЕА. Основним фактором руйнації з'єднання є електрохімічна корозія, ступень якої залежить не тільки від умов експлуатації, але і від матеріалу припою і залишків флюсу.

Сучасні технології пропонують виконання паяних з'єднань без використання флюсу, це знижує трудомісткість технологічного процесу і забезпечує більшу надійність з'єднань.

Контроль при виконанні паяних з'єднань включає спостереження за відповідністю техпроцеса вимогам технічної документації; контроль технологічних матеріалів, режимів, а також оцінку якості з'єднань. Оцінка зовнішнього вигляду провадиться в порівнянні з еталонними зразками. Візуальним оглядом можуть бути виявлені такі дефекти паяних з'єднань (рис. 3.2), як непропай, перемички, бурульки, зайвий припій, холодне паяння, прилипання припою до поверхні плати, тріщини, білий і темний осадки на платі. Якість паяних з'єднань у виробничих умовах оцінюється такими методами:

- методом контролю, що не руйнує (радіаційний, ультразвуковий, метод заміру електроопору і т. ін.);
- методом руйнуючого контролю (міцність на відрив);
- непрямим методом (контроль технологічних режимів і матеріалів, та їх оптимізація).

Для підвищення якості і надійності паяних з'єднань необхідно технологічні процеси паяння випробувати на робочих зразках та впроваджувати оптимізацію режимів пайки.



а- непропай; б- перемички, в-бурульки, г-пори, д-тріщини.

Рисунок 3.2 - Види дефектів паяних з'єднань.

Навіть 100% контроль паяних з'єднань може виявити тільки явні дефекти. Мікроскопічні неоднорідності, що тільки в процесі експлуатації розвиваються до небезпечних границь, принципово можуть бути виявлені при довгостроковій роботі РЕЗ.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

3.4 Вихідні дані до роботи

3.4.1 Перший зразок - реальний об'єкт РЕЗ.

3.4.2 Другий зразок - відбракований друкований вузол (з дефектами пайки).

3.4.3 Типові технологічні процеси пайки.

3.5 Завдання на виконання роботи

3.5.1 Навести короткі теоретичні відомості.

3.5.2 Провести аналіз паяних з'єднань на реальному об'єкті РЕА, надати перелік методів паяння.

3.5.3 Надати обґрунтування методам паяння та коротку технологічну характеристику.

3.5.4 Провести аналіз дефектів паяння другого зразку.

3.5.5 Зробити висновки по роботі та оформити звіт.

3.6 Зміст звіту

3.6.1 Мета роботи.

3.6.2 Короткі теоретичні відомості.

3.6.3 Аналіз паяних з'єднань, перелік методів паяння, їх обґрунтування та технологія.

3.6.4 Аналіз та перелік дефектів.

3.6.5 Висновки по роботі.

3.7 Контрольні запитання

3.7.1 Розкрити фізико-хімічну основу паяного з'єднання.

3.7.2 Класифікація паяних з'єднань.

3.7.3 Переваги і недоліки паяння хвилею припою.

3.7.4 Технологія 14 паяння.

3.7.5 Особливості застосування технологічних матеріалів (припоїв і флюсів) при ручному паянні.

3.7.6 Рівень автоматизації процесів паяння.

3.7.7 Методи паяння та їх технології для поверхневого монтажу.

4. Лабораторна робота №4

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ВИРОБУ

Мета роботи: ознайомитися з основними поняттями і придбати практичні навички до відробки виробу на технологічність та розрахунку коефіцієнтів технологічності.

4.1 Необхідність аналізу виробу на технологічність

Відпрацювання виробу на технологічність є однією з найважливіших функцій технологічного підготування виробництва (ТПВ). Недостатньо сконструювати виріб із необхідними споживчими властивостями, потрібно сконструювати його так, щоб при виготовленні, експлуатації і ремонті мали б місце мінімальні витрати праці, матеріалів і енергетичних засобів.

Загальні принципи цієї функції ТПВ викладені в ГОСТ 14.201-83, що намічають лише основні шляхи, за яким відбувається відпрацювання на технологічність. За допомогою цього документа відробити на технологічність конкретні вироби практично дуже важко, тому необхідна регламентуюча документація для відробки на технологічність на галузевому рівні і рівні підприємства .

Технологічність це - сукупність властивостей конструкції виробу, що визначають її пристосованість до досягнення оптимальних витрат при виробництві, експлуатації і ремонті при заданих показниках якості, обсягу випуску та умов виробництва.

Основні проблеми підвищення технологічності РЕА - це проблеми зниження трудомісткості, енергоємності і витрат матеріалів, всі ці проблеми тісно пов'язані. В останні роки проблему зниження трудомісткості при виготовленні виробів вирішують за допомогою широкого впровадження в промисловість гнучких виробничих систем (ГВС), які містять у собі устаткування з ЧПУ, конвеєрні транспортні засоби, роботи і маніпулятори, автоматизовані склади заготівель, готових деталей і вузлів, систему керування ГВС, що дозволяє швидко переходити від виготовлення одного виду продукції до іншого.

Показник технологічності виробу закладається насамперед на рівні деталей і складальних одиниць, тому першочерговою задачею, спрямованою на підвищення технологічності виробу є задача уніфікації і стандартизації виробів.

4.2 Порядок аналізу виробу на технологічність

Відробку конструкції виробу на технологічність, відповідно до ГОСТ 14.201-83 повинні проводити спільно підприємство-розроблювач і підприємство-виготовлювач.

У відпрацюванні на технологічність беруть участь: науково-дослідний (тематичний) відділ, конструкторський відділ (відділ головного конструктора), технологічний відділ (відділ головного технолога) та інші відділи підприємств. Підприємство-розроблювач здійснює відробку виробу на технологічність, починаючи зі стадії розробки технічного завдання (ТЗ) і до освоєння виробу у виробництві [6].

Практично активно включається у відробку виробу на технологічність підприємство-виготовлювач на стадії розробки робочої документації. На підприємство-виготовлювач покладається рішення наступних задач: своєчасна підготовка і подання підприємству-розроблювачу інформації з результатів виробництва виробів-аналогів інших підприємств-розроблювачів; інформація про існуючий технологічний рівень виробництва та його перспективах; участь в експертизі конструкції виробу на технологічність; оцінка і уточнення рівня технологічності виробу на стадіях установчої серії і сталого серійного або масового виробництва.

4.3 Види оцінок технологічності виробу

Якісна оцінка характеризує технологічність конструкції виробу узагальнено, на підставі досвіду виконавця. Якісну оцінку варіантів конструкції виробу здійснюють для вибору кращого конструктивного рішення без визначення ступеня розходження порівнюваних варіантів. Вона передреє кількісній і визначає її доцільність. Кількісна оцінка ведеться за допомогою показників технологічності. Чисельне значення кожного показника технологічності характеризує ступінь задоволення вимог по одній або декількох ознак.

Показники технологічності підрозділяються на основні і додаткові.

Основні показники характеризують найважливіші ознаки конструкції виробу вального виробу. До основних показників відносять в першу чергу трудомісткість виготовлення виробу і його

собівартість, а також показники, що характеризують стандартизацію та уніфікацію.

Додаткові показники технологічності характеризують технологічність виробу за конкретною ознакою. До них належать відносні трудомісткості різного роду робіт, наприклад складально-монтажних, регульовальних, контрольно-вимірювальних та ін.

Комплексні показники технологічності формуються на основі часткових показників з урахуванням коефіцієнтів впливу.

Кожний частковий показник K_i змінюється в інтервалі $0 - 1$, тобто $K_i \in [0,1]$. Якщо $K_i = 0$, то виріб цілком не технологічний по даній ознаці; якщо $K_i = 1$, то виріб має стовідсоткову технологічність за даною ознакою.

При утворенні комплексного показника враховується ступінь впливу часткового показника на нього. Ступінь цього впливу виявляється через коефіцієнт α_i , як правило $\alpha_i \in [0,1]$.

Тоді комплексний показник технологічності може бути виражений через часткові показники за допомогою формул:

$$K = (K_1\alpha_1 + K_2\alpha_2 + \dots + K_n\alpha_n) / (\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n) = \\ = (\sum_{i=1}^n K_i \alpha_i) / (\sum_{i=1}^n \alpha_i) = \sum_{i=1}^n K_i \gamma_i \quad (4.1)$$

де $\gamma_i = \alpha_i / (\sum_{i=1}^n \alpha_i)$

Для ранжирування часткових показників і коефіцієнтів впливу використовується експертний метод.

4.4 Номенклатура показників оцінки технологічності та їх характеристика

Галузевий стандарт ОСТ4 Г0.041.219 надає рекомендації до вибору базових показників технологічності, їх кількість повинна бути не більш 7. Всі вироби РЕЗ умовно поділяються на 4 класи: електронні, радіотехнічні, електромеханічні, комутаційні. Для кожного класу рекомендується перелік базових показників згідно табл. 4.1-4.4

Таблиця 4.1 – Перелік базових показників технологічності для електронних блоків

Порядковий номер в ранжированой послідовності	Показник технологічності	Позначення	ϕ_i
1	Коефіцієнт використання мікросхем та мікрозбірок у блоці	$K_{\text{вик мс}}$	1,000
2	Коефіцієнт автоматизації і механізації монтажу	$K_{\text{ам}}$	1,000
3	Коефіцієнт автоматизації та механізації підготовки ЕРЕ	$K_{\text{мп ере}}$	0,750
4	Коефіцієнт автоматизації і механізації операцій контролю і налагоджування електричних параметрів	$K_{\text{мкн}}$	0,500
5	Коефіцієнт повторювання електрорадіоелементів	$K_{\text{пов ере}}$	0,310
6	Коефіцієнт вживання електрорадіоелементів	$K_{\text{ор ере}}$	0,187
7	Коефіцієнт прогресивності формоутворення деталей	$K_{\text{ф}}$	0,110

Розглянемо розрахунок деяких показників технологічності. Коефіцієнт вживання деталей:

$$K_{\text{орд}} = 1 - D_{\text{тор}} / D_{\text{т}}$$

де $D_{\text{тор}}$ - кількість типорозмірів оригінальних деталей у виробі;
 $D_{\text{т}}$ - загальна кількість типорозмірів деталей у виробі без урахування нормалізованого кріплення.

Таблиця 4.2 – Перелік базових показників технологічності для радіотехнічних блоків

Порядковий номер в ранжированой послідовності	Показник технологічності	Позначення	ϕ_i
1	Коефіцієнт складності складання	$K_{ск\ ск}$	1,000
2	Коефіцієнт автоматизації і механізації монтажу	$K_{ам}$	1,000
3	Коефіцієнт автоматизації та механізації підготовки ЕРЕ к монтажу	$K_{мп\ ере}$	0,750
4	Коефіцієнт автоматизації і механізації операцій контролю і налагоджування електричних параметрів	$K_{мкн}$	0,500
5	Коефіцієнт повторювання електрорадіоелементів	$K_{пов\ ере}$	0,310
6	Коефіцієнт точності обробки	$K_{то}$	0,187
7	Коефіцієнт прогресивності формоутворення деталей	$K_{ф}$	0,110

Коефіцієнт вживання електрорадіоелементів:

$$K_{ор\ ере} = 1 - N_{т\ ор\ ере} / N_{т\ ере}$$

де $N_{т\ ор\ ере}$ - кількість типорозмірів оригінальних ЕРЕ у виробі;
 $N_{т\ ере}$ - загальна кількість типорозмірів ЕРЕ у виробі.

До оригінальних деталей треба відносити складові частини виробу, розроблені і виготовлені вперше як самим підприємством-виготовлювачем, так і у порядку кооперації з іншими підприємствами.

До електрорадіоелементів відносяться транзистори, діоди, конденсатори, резистори, роз'єми, дроселі, котушки індуктивності,

трансформатори, мікрозбірки і мікросхеми різного ступеня інтеграції, мікромодулі та ін.

Таблиця 4.3 – Перелік базових показників технологічності для електромеханічних та механічних блоків

Порядковий номер в ранжированой послідовності	Показник технологічності	Позначення	ϕ_i
1	Коефіцієнт використання мікросхем та мікрозбірок у блоці	$K_{\text{вик мс}}$	1,000
2	Коефіцієнт автоматизації і механізації монтажу	$K_{\text{ам}}$	1,000
3	Коефіцієнт автоматизації та механізації підготовки ЕРЕ	$K_{\text{мп ере}}$	0,750
4	Коефіцієнт автоматизації і механізації операцій контролю і налагоджування електричних параметрів	$K_{\text{м к н}}$	0,500
5	Коефіцієнт повторювання ЕРЕ	$K_{\text{пов ере}}$	0,310
6	Коефіцієнт вживання ЕРЕ	$K_{\text{ор ере}}$	0,187
7	Коефіцієнт прогресивності формоутворення деталей	$K_{\text{ф}}$	0,110

Під типорозміром електрорадіоелемента розуміється габаритний та з'єднувальний розміри.

Коефіцієнт повторювання електрорадіоелементів:

$$K_{\text{пов ере}} = 1 - N_{\text{т ере}} / N_{\text{ере}}$$

де $N_{\text{ере}}$ - кількість типорозмірів ЕРЕ;

$N_{\text{ере}}$ - загальна кількість ЕРЕ, шт.

Коефіцієнт повторювання мікросхем та мікрозбірок:

$$K_{\text{пов мс}} = 1 - N_{\text{т мс}} / N_{\text{мс}},$$

де $N_{\text{т мс}}$ - кількість типорозмірів корпусів мікросхем і мікрозбірок;

$N_{\text{мс}}$ - загальна кількість мікросхем і мікрозбірок у виробі, шт.

Таблиця 4.4-Перелік базових показників технологічності для електромеханічних та механічних блоків

Порядковий номер в ранжированой послідовності	Показник технологічності	Позначення	ϕ_i
1	Коефіцієнт складності складання	$K_{\text{с ск}}$	1,000
2	Коефіцієнт використання матеріалів	$K_{\text{в м}}$	0,310
3	Коефіцієнт повторювання матеріалів	$K_{\text{пов м}}$	1,000
4	Коефіцієнт точності обробки	$K_{\text{тч}}$	0,750
5	Коефіцієнт прогресивності формоутворення деталей	$K_{\text{ф}}$	0,500

Коефіцієнт використання мікросхем та мікрозбірок:

$$K_{\text{вик мс}} = N_{\text{мс}} / (N_{\text{мс}} + N_{\text{сре}}).$$

Коефіцієнт складності складання:

$$K_{\text{сск}} = 1 - E_{\text{ск}} / E_{\text{т}},$$

де $E_{\text{ск}}$ - кількість вузлів (або електрорадіоелементів), що входять у виріб, і вимагають регулювання;

$E_{\text{ск}}$ - загальна кількість вузлів (або електрорадіоелементів).

Коефіцієнт автоматизації та механізації підготовки електрорадіоелементів до монтажу:

$$K_{\text{МП ере}} = H_{\text{МП ере}} / H_{\text{ере}}$$

де $H_{\text{МП ере}}$ - кількість ЕРЕ (шт.), підготування яких до монтажу може здійснюватись механізованим чи автоматизованим способом, або не потребує підготовки до монтажу зовсім.

Коефіцієнт автоматизації і механізації монтажу виробу:

$$K_{\text{ам}} = H_{\text{ам}} / H_{\text{м}}$$

де $H_{\text{ам}}$ - кількість монтажних з'єднань, що можуть виконуватись механізованим або автоматизованим способом;

$H_{\text{м}}$ - загальна кількість монтажних з'єднань.

Коефіцієнт автоматизації і механізації операцій контролю і налагоджування електричних параметрів:

$$K_{\text{МКН}} = H_{\text{МКН}} / H_{\text{кн}}$$

де $H_{\text{МКН}}$ - кількість операцій контролю, що можна здійснювати механізованим або автоматизованим способом;

$H_{\text{кн}}$ - загальна кількість операцій контролю і налагодження.

Коефіцієнт вживання типових технологічних процесів:

$$K_{\text{ТП}} = H_{\text{ТП}} / H_{\text{п}},$$

де $H_{\text{ТП}}$ - кількість типових технологічних процесів усіх рівнів, застосованих для виготовлення виробу;

$H_{\text{п}}$ - загальна кількість технологічних процесів.

Необхідно відзначити, що номенклатура показників технологічності не обмежується приведеним переліком. Більш докладну інформацію з даного питання можна одержати в джерелах [1, 2] або відповідних галузевих стандартах, і керівних технічних матеріалах (КТМ).

4.5 Оцінка технологічності складальних одиниць для умов щодо автоматизації складання

Оцінка технологічності складальних одиниць робиться порівнянням розрахункового значення комплексного показника технологічності з його нормативним значенням (табл.4.5).

Таблиця 4.5 - Комплексний показник технологічності

Нормативне значення комплексного показника технологічності	Характеристика ступеня придатності складальної одиниці до автоматизованого складання
До 0,50 включно	Конструкція складальної одиниці не годиться для автоматизованого складання. Потрібна корінна переробка конструкції.
Від 0,50 до 0,85	Потрібно зробити зміни окремих елементів конструкції складальної одиниці.
Від 0,85 до 1,00	Автоматизація складання може бути здійснена без зміни конструкції складальної одиниці.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.6 Вихідні дані до роботи

Вихідними даними є: результати лабораторної роботи №1, тип виробництва, річна програма випуску виробу та умови виробництва.

4.7 Завдання на виконання роботи

4.7.1 Дати короткі письмові відповіді на контрольні запитання.

4.7.2 Визначити до якого класу належить досліджуваний виріб РЕЗ.

4.7.3 Вибрати і узгодити з викладачем часткові показники технологічності, найбільш характерні для даного виробу.

4.7.4 Підготувати вихідні дані для розрахунку часткових значень показників технологічності.

4.7.5 Обчислити значення показників технологічності.

4.7.6 Обчислити комплексний показник технологічності (формула 4.1), якщо отриманий результат незадовільний треба розробити заходи, щодо підвищення технологічності виробу.

4.7.7 Порівняти обчислений комплексний показник технологічності з нормативним і зробити висновок про придатність складальної одиниці до автоматизованого складання.

4.8 Зміст звіту

4.8.1 Мета роботи.

4.8.2 Стислі відповіді на контрольні запитання.

4.8.3 Вихідні дані та їх аналіз.

4.8.4 Якісна оцінка технологічності конструкції виробу.

4.8.5 Номенклатура вибраних часткових показників технологічності.

4.8.6 Дані до розрахунку та розрахунок значень показників технологічності і комплексного показника.

4.8.7 Висновки по роботі.

4.9 Контрольні запитання

4.9.1 Ціль відробки виробу на технологічність.

4.9.2 Дати визначення поняттю "технологічність".

4.9.3 Заходи по підвищенню технологічності конструкції виробу.

4.9.4 Порядок відробки виробу на технологічність.

4.9.5 Розкрити поняття "якісна" і "кількісна" оцінка технологічності.

4.9.6 Що відноситься до основних, додаткових і комплексних показників технологічності?

ЛІТЕРАТУРА

1. Невлюдов І.Ш. Основи виробництва електронних апаратів: Підручник. – Харків: Компанія СМІТ, 2005. – 592 с.
2. Павловский В.В., Васильев В.И., Гутман Т.Н. Проектирование технологических процессов изготовления РЗА. Пособие по курсовому проектированию: Учеб. пособие для вузов. - М.: Радио и связь, 1982.- 160 с., ил.
3. Автоматизация и механизация сборки и монтажа узлов на печатных платах / А.В. Егунов, Б.Л.Жоржоліани, В.Г.Журавский, В.В.Жуков; Под ред. В.Г.Журавского. - М.: Радио и связь, 1988 - 280 с.: ил.
4. Грачов А.О., Лега Ю.Г., Мельник А.А., Панов Л.І. Конструювання електронно-обчислювальної апаратури на основі поверхневого монтажу: Навч. посібник. – К.: Кондор, 2005. – 384 с.
5. Технология межсоединений электронной аппаратуры: Учебник / Семенец В.В., Джон Кратц, Невлюдов И.Ш., Палагин В.А. – Харьков: "Компания СМІТ", 2005. – 432 с.
6. Вейцман З.В., ВенбринВ.Д. Технологическая подготовка производства радиоэлектронной аппаратуры. - М.: Радио и связь, 1989.-128 с., ил..