

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет



КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
з дисципліни
“Основи проектування електронної апаратури”

для студентів спеціальності
172 «Телекомунікації та радіотехніка» (освітні програми
«Радіоелектронні апарати та засоби» та «Інтелектуальні
технології мікросистемної радіоелектронної техніки»)
усіх форм навчання

2018

Конспект лекцій з дисципліни "Основи проектування електронної апаратури" для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» (освітні програми «Радіоелектронні апарати та засоби» та «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки») усіх форм навчання / Уклад.: Поспеева І.Є., Фурманова Н.І., – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. – 78 с.

Укладачі: Фурманова Наталія Іванівна, канд. техн. наук,
доцент;
Поспеева Ірина Євгенівна, ст. викладач

Рецензент: Бугрова Тетяна Іванівна, канд. техн. наук,
доцент каф. РТТ

Відповідальний за випуск: Шило Галина Миколаївна,
канд. техн. наук, доцент, зав. каф. ІТЕЗ

Розглянуто
на засіданні кафедри ІТЕЗ
протокол № 6 від 29.01.18 р.

Затверджено
на засіданні НМК ФРЕТ
протокол № 5 від 30.01.18 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ОБ'ЄКТ ТА ПРОЦЕС КОНСТРУЮВАННЯ.....	5
1.1 Конструювання - основні поняття та визначення.....	5
1.2 Системний підхід при конструюванні	8
2 МОДЕЛІ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ (ТО).....	16
2.1 Класифікація моделей ТО	16
2.2 Зв'язок повноти опису ТО з рівнем абстрактності моделі	18
2.3 Поняття макромоделей при проектуванні РЕЗ	20
3 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА РОЗРОБКУ РЕЗ. КЛАСИФІКАЦІЯ РЕЗ	22
3.1 Технічне завдання на розробку РЕЗ.....	22
3.2 Класифікація РЕЗ.....	24
4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО РЕЗ	32
4.1 Сукупність технічних вимог до РЕЗ. Їх класифікація.....	32
4.2 Дестабілізуючі фактори, що діють на РЕЗ. Кліматичне виконання	33
4.3 Вимоги з надійності РЕЗ	37
4.4 Вимоги з технологічності та уніфікації	40
4.5 Вимоги з ергономіки, технічної естетики та техніки безпеки..	43
4.6 Вимоги з забезпечення електромагнітної сумісності	44
4.7 Патентно-правові вимоги до конструкторських розробок	46
4.8 Комплексна оцінка якості РЕЗ.....	48
5 ОРГАНІЗАЦІЯ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РОБІТ	51
5.1 Стадії конструювання.....	51
5.2 Види конструкторської документації	54
5.3 Деякі загальні вимоги до виконання конструкторської КД.....	57
6 КОНСТРУЮВАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ	62
6.1 Конструкції друкованих плат (ДП)	62
6.2 Матеріали друкованих плат	62
6.3 Процес проектування друкованих плат	63
6.4 Сучасні компоненти для установки на друкованих платах	67
ЛІТЕРАТУРА.....	77

ВСТУП

Потреба у *радіоелектронних засобах (РЕЗ)*, призначених для вирішення конкретного завдання або ряду завдань, запускає в хід механізм їхнього створення, в основі якого лежить діяльність розробника за участю замовника, що являє собою проектування виробів. Сутність цього процесу полягає в прийнятті інженерних рішень, які безпосередньо впливають на виготовлення та використання виробів, а також на дії людини при їх експлуатації.

Вся робота щодо конструювання нового виробу являє собою процес перетворення інформації аж до реалізації виробу в матеріалі.

Робочі функції РЕЗ характеризуються набором параметрів, номінальні значення яких задаються *технічним завданням (ТЗ)* на розробку виробу. Реалізація цих параметрів в експлуатації залежить як від загального комплексу дестабілізуючих факторів умов експлуатації (кліматичних, механічних та ін.), так і від якості розробки та технології виробництва. Урахування цих факторів вимагає від розробника РЕЗ знань з усіх питань конструкторсько-технологічного проектування, а саме:

- види і порядок розробки технічної документації;
- вплив зовнішніх факторів на працездатність РЕЗ;
- методи конструювання елементів, вузлів і пристроїв РЕЗ та виготовлення виробів;
- забезпечення електромагнітної сумісності, механічної міцності, нормальних теплових режимів і надійності виробів;
- загальні питання організації виробництва РЕЗ;
- стандартні та спеціальні технологічні процеси у виробництві РЕЗ;
- методи складання і монтажу;
- методи регулювання, налаштування та випробувань РЕЗ та ін.

Розвиток інформаційних технологій та САПР, а також застосування їх при проектуванні виробів дає можливість розробнику РЕЗ використовувати принципово нові інструменти та підходи для скорочення термінів розробки, поліпшення технічних і зниження економічних показників створюваної РЕЗ.

1 ОБ'ЄКТ ТА ПРОЦЕС КОНСТРУЮВАННЯ

1.1 Конструювання - основні поняття та визначення

Основні поняття і визначення, які зобов'язаний використовувати інженер-розробник, наводяться в *Державних галузевих стандартах (ГОСТ, ДСТУ)*.

Існує ряд систем стандартів, серед яких:

– єдина система конструкторської документації (ЕСКД) - система стандартів, яка містить вимоги до конструкторської документації (ГОСТ 2.xxx);

– єдина система технологічної документації (ЕСТД) - система стандартів, яка містить вимоги до технологічної документації (ГОСТ 3.xxx);

– єдина система програмної документації (ЕСПД) - система стандартів, яка містить вимоги до програмної документації (ГОСТ 29.xxx).

Державні галузеві стандарти, що регламентують розробку документації радіоелектронних систем, мають класифікацію ГОСТ 34.XXX.

Виріб (за ГОСТ 2.101) - будь-який предмет виробництва (або набір предметів), що підлягає виготовленню на підприємстві.

Вироби основного виробництва призначені для поставки (реалізації).

Вироби допоміжного виробництва використовуються як складові частини виробів основного виробництва або використовуються (наприклад, інструмент) для створення виробів основного виробництва.

Види виробів:

деталь - виріб, виготовлений з однорідного з найменуванням та маркою матеріалу без застосування складальних операцій;

складальна одиниця - виріб, складові частини якого підлягають з'єднанню за допомогою складальних операцій на підприємстві-виробнику;

комплекс - два або більше виробів, що складаються, в свою чергу, з двох і більше частин, не поєднаних на підприємстві-виробнику складальними операціями, але призначених для виконання взаємозалежних експлуатаційних функцій;

комплект - два або більше виробів, які не поєднані на підприємстві-виробнику складальними операціями і представляють загальне експлуатаційне призначення допоміжного характеру (наприклад, комплект ЗПП).

Зараз виробы радіоелектроніки широко використовуються у всіх сферах людської діяльності. За роки свого існування вони зазнали істотних змін, і, відповідно, змінювалася пов'язана з ними термінологія.

На перших етапах існував розподіл радіоелектронної апаратури на:

- **радіоапаратуру (РА)**, або аналогову апаратуру, до якої належали радіо-, теле-, аудіоапаратура і засоби зв'язку;

- **електронну апаратуру (ЕА)**, до якої належала електронно-обчислювальна апаратура.

Згодом майже вся апаратура стала симбіозом РА і ЕА - вийшла **радіоелектронна апаратура (РЕА)**.

Введення до складу РЕА різних електромеханічних пристроїв, систем живлення, тепловідведення та контролю призвело до поняття **радіоелектронний засіб (РЕЗ)**.

В сучасних РЕЗ все більшу роль відіграє не сама апаратура, а вбудоване в неї програмне забезпечення. Залежно від його наявності, РЕЗ бувають **технічні** та **програмні: програмні засоби** або **програмне забезпечення**.

Введемо поняття системи.

Система - комплекс технічних засобів, який або керований оператором-людиною (ручний та напівавтоматичний режим роботи), або автоматичний, який контролюється оператором чи лише ним запускається.

Під **радіоелектронною системою** розуміють виріб і його складові частини, в основу функціонування яких покладені принципи радіотехніки й електроніки.

Кожна радіоелектронна система має бути реалізована у вигляді **конструкції**.

Введемо поняття конструкції.

Конструкція РЕЗ - придатна для повторення у виробництві сукупність деталей і матеріалів із різними фізичними властивостями, що знаходяться в певному енергетичному та просторовому зв'язку,

який забезпечує виконання заданих функцій з необхідною точністю та надійністю під впливом зовнішніх і внутрішніх факторів.

Конструкція РЕЗ відрізняється рядом особливостей, що виділяють її в окремий клас серед інших конструкцій. Перш за все, подібні конструкції відрізняються:

- ієрархічною структурою, під якою розуміється послідовне об'єднання простіших електронних вузлів в більш складні;
- домінуючою роллю електричних і електромагнітних зв'язків;
- наявністю неоднорідностей в електричних з'єднаннях, що призводять до спотворення та загасання сигналів, а також паразитних зв'язків, що породжують перешкоди (наведення);
- наявністю теплових зв'язків, що вимагає вживання заходів захисту термочутливих елементів;
- слабким зв'язком внутрішньої структури конструкції з її зовнішнім оформленням.

Конструювання РЕЗ – проце вибору структури просторових енергетичних зв'язків всередині та поза РЕЗ, що приводить до встановлення норм і правил його виготовлення та експлуатації.

Метою конструювання є розробка комплексу проектних і робочих конструкторських документів (КД) (ГОСТ 2.101-68 і 2.109-68), на основі яких здійснюється технологічна підготовка виробництва, розробка технологічної документації (ТД), виготовлення РЕЗ, його випробування і експлуатація.

Таким чином, конструювання - це визначення форми, матеріалу, покриттів, способу з'єднань, складу (переліку складових частин).

Конструювання і КД відповідає на питання «ЩО повинно бути зроблено?» (Як це виглядає ?, як воно повинно функціонувати ?, які параметри повинно мати?).

Технологія РЕЗ - сукупність методів і засобів виготовлення готового виробу, що відповідає вимогам конструкторської (КД) і нормативно-технічної документації (ТУ, ОСТ, ГОСТ)

Виробничий процес - сукупність всіх дій людей і знарядь виробництва, необхідних на даному підприємстві для виготовлення чи ремонту виготовляємих РЕЗ. До складу виробничого процесу входять всі дії з виготовлення, складання, контролю якості випускаємих виробів, переміщення та зберігання їх деталей, напівфабрикатів і

складальних одиниць на всіх стадіях виготовлення; організація постачання та обслуговування робочих місць, ділянок, цехів, управління всіма ланками виробництва, а також комплекс заходів і дій з технологічної підготовки виробництва (виготовлення, підготовка інструментів, стендів контролю, прогону, підтримання парку верстатів і технологічного обладнання).

Технологічний процес (ГОСТ 3.1109-82) - частина виробничого процесу, яка містить цілеспрямовані щодо зміни та (або) визначення стану предмета праці. Технологічні процеси будують за окремими методами їх виконання (процеси лиття, механічної, термічної обробки, процеси нанесення покриттів, складання, монтажу, контролю РЕЗ). Технологічний процес складається з технологічних операцій.

Розробка технології і ТД відповідає на питання «Як зробити?» те, що накреслено і написано в КД.

1.2 Системний підхід при конструюванні

1.2.1 Умови системності

Сучасні РЕЗ є вже настільки складними, що їх якісне проектування стає неможливим без системного підходу.

При цьому під системою розуміють обмежену безліч об'єктів і зв'язків між ними, призначених для виконання заданих функцій.

Конструкція РЕЗ є складною складальною одиницею, що відповідає трьом головним умовам системності:

- наявність ієрархічного порядку в структурі;
- можливість композиції та декомпозиції (складання структури з окремих елементів і поділ конструкції на окремі елементи);
- утворення при композиції нових властивостей, не рівних сумі властивостей вихідних елементів.

Ієрархія побудови РЕЗ відноситься до гілчастого типу, де структурні рівні розташовуються за рангами складності.

Система будь-якого структурного рівня характеризується набором параметрів. Ці параметри визначаються системою верхнього рангу та, в свою чергу, служать вихідними даними для системи, розташованої рангом нижче.

Знизити витрати на розробку, підготовку виробництва та освоєння РЕЗ, забезпечити сумісність і спадкування апаратних рішень з одночасним покращенням якості, збільшенням надійності та терміну служби апаратури в експлуатації дозволяє модульний принцип конструювання виробів.

Друга та третя умови системності означають, що в результаті процесу конструювання (композиції) має бути знайдене та відображене в конструкторській документації (КД) нове структурне утворення - конструкція РЕЗ (або його частини), складена з вхідних в нього готових (покупних) і нових спроектованих частин, причому це структурне утворення повинно мати нові властивості, не рівні сумі властивостей частин, що до нього входять (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 - Принцип системності у процесі конструювання

1.2.2 Основні принципи системного підходу

1.2.2.1 Врахування всіх етапів «життєвого циклу» РЕЗ, що розробляється: проектування, виробництва, експлуатації, утилізації

При недотриманні цього принципу проекти багатьох РЕЗ, в основу яких було закладено прогресивні принципи їхньої дії, залишилися нереалізованими або тому, що виявилися недостатньо технологічними у виробництві, занадто трудомісткими і, отже, дорогими та непридатними з точки зору їх виробництва, або тому, що експлуатація таких систем невиправдано складна, і випуск такої продукції недоцільний.

1.2.2.2 Врахування історії та перспектив розвитку РЕЗ даного і близького класів

Історію потрібно знати тому, що деякі РЕЗ, в минулому визнані або непридатними, або застарілими, в нових умовах розвитку науки та техніки можуть стати корисними та перспективними.

Урахування при проектуванні прогнозу розвитку РЕЗ необхідне тому, що в іншому випадку система, що розробляється, може виявитися морально застарілою майже відразу після її розробки або ще до завершення.

1.2.2.3 Врахування всебічного взаємодії РЕЗ з зовнішнім середовищем

Воно включає в себе:

- взаємодію з природою та суспільством в цілому (врахування екологічних, економічних, соціальних, політичних, військових та інших факторів);
- обмін корисною інформацією (отримання та видача корисної інформації);
- обмін енергією і речовиною (розподіл ресурсів);
- обмін радіоперешкодами (тобто перешкодами від радіовипромінювання);
- зовнішні впливи на РЕЗ температури, вологості, тиску, механічних навантажень, радіації і т. ін.;
- взаємодію з іншими РЕЗ, які входять в систему більш високого ієрархічного рівня, в процесі вирішення загального завдання.

1.2.2.4 Урахування основних видів взаємодії всередині РЕЗ (між частинами): функціонального, інформаційного, енергетичного та ін.

1.2.2.5 Урахування взаємодії між елементарною базою та системотехнікою

Створення нової елементної бази викликає розвиток системотехніки.

Розвиток елементної бази призводить до поліпшення показників якості та надійності РЕЗ. Застосування гібридних електронних схем (ГЕС), функціональних мікросхем, програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС) та ін. сприяє значному зниженню енерговитрат, маси та габаритів.

Розвиток нанотехнологій вимагає від розробника поглиблених знань фізики, математики, інформаційних технологій. Інженер не може відмовитися від математичного моделювання, а програміст, який працює в радіотехнічній промисловості, зобов'язаний знати фізичні основи роботи електронних пристроїв.

1.2.2.6 Урахування можливості зміни вихідних даних і розв'язуваної задачі в процесі проектування, виробництва та експлуатації РЕЗ.

Це виражається в створенні більш «гнучкої» та універсальної РЕЗ. При цьому виникає необхідність:

– варіації вихідних даних, включаючи критерії якості, в процесі проектування РЕЗ для оцінки ступеню критичності їх впливу на роботу системи та отримання більш надійних результатів проектування;

– забезпечення більшої універсальності застосування проєктованої РЕЗ, щоб при видаленні або додаванні деяких блоків система була придатною для вирішення нових завдань.

1.2.2.7 Виділення головних показників якості, які необхідно поліпшувати першочергово

Показники якості повинні постійно перевірятися. Для оптимізації цього процесу необхідно взяти показники і, за можливістю, прагнути до підтримки їх значень в заданих межах. Для радіотехнічних систем основні показники якості - стійкість, конфіденційність, електромагнітна сумісність, енергоспоживання, надійність, маса, об'єм, вартість.

1.2.2.8 Поєднання принципів композиції, декомпозиції та ієрархічності

Сучасні РЕЗ можуть містити сотні, тисячі та мільйони елементів. Оптимізувати всі елементи навіть за допомогою ПК неможливо. Тому їх об'єднують в складальні одиниці: комірки, блоки, стійки (шафи). Далі кожна складальна одиниця розглядається як єдине ціле, в якому проводиться композиція елементів. Складну РЕЗ розбивають на окремі комірки, тобто проводять декомпозицію.

В результаті композиції та декомпозиції РЕЗ розбивають на ряд ієрархічних рівнів, кожен з яких може містити ряд частин (складальних одиниць).

Таке поєднання композиції, декомпозиції та ієрархічності дозволяє спростити проектування, виробництво, експлуатацію та утилізацію РЕЗ.

При декомпозиції РЕЗ на підсистеми (складальні одиниці) необхідно приділяти особливу увагу обґрунтуванню критеріїв якості кожної підсистеми.

1.2.2.9 Розкриття основних технічних протиріч, що перешкоджають поліпшенню якості РЕЗ та прискоренню процесу її розробки, а також відшукування прийомів їх подолання

Для цього доцільно використовувати різноманітні методи вирішення винахідницьких задач, таких як мозковий штурм, морфологічний аналіз, алгоритми вирішення винахідницьких задач, функціонально-вартісний аналіз тощо.

1.2.2.10 Правильне поєднання різних методів проектування

В першу чергу, мова йде про математичні, евристичні та експериментальні методи. Сучасні математичні методи засновані не тільки на розробці алгоритмів розрахунку окремих параметрів, але й на створенні імітаційних моделей, що дозволяють наближено перевірити роботу пристрою в різних ситуаціях.

1.2.3 Параметри РЕЗ

1.2.3.1 Класифікація параметрів РЕЗ

Для оцінки властивостей конструкції її характеризують *кількісними і якісними показниками (параметрами)*.

Параметри якості виробу прийнято ділити за такими ознаками:

- за відношенням до системи та підсистеми: *зовнішні* та *внутрішні*;
- за фізичним змістом: *функціональні* та *матеріальні*;
- за числом відображених властивостей в конструкції: *абсолютні, відносні* та *комплексні*.

Розглянемо суть зовнішніх та внутрішніх параметрів.

Кожна система може бути формалізована, тобто представлена деякою моделлю її функціонування, яка характеризує правило перетворення входних сигналів $\{X\}$ у вихідні $\{F\}$, де сигнали розуміють в широкому сенсі з урахуванням впливів зовнішнього середовища $\{Q\}$.

У найзагальнішому вигляді математичну модель системи може представити у вигляді:

$$Y = F(X, Q)$$

де: $Y = y_1 \dots y_i$ - вихідні параметри об'єкту проектування. При проектуванні виробу РЕЗ це параметри, що характеризують його функціональне призначення, при проектуванні ТП - параметри об'єкту після проведення технологічної операції).

$X = x_1 \dots x_i$ - зовнішні параметри. При проектуванні виробу РЕЗ це зовнішні впливи, що діють на нього протягом життєвого циклу, при проектуванні ТП - параметри технологічних режимів.

$Q = q_1 \dots q_k$ - внутрішні параметри. При проектуванні виробу РЕЗ це параметри його компонентів та складових частин, при проектуванні ТП - параметри матеріалів та напівфабрикатів.

F - оператор, який представляє собою сукупність математичних і логічних операцій.

Всі ці параметри визначаються системою верхнього рангу та, в свою чергу, служать вихідними даними для системи, розташованої рангом нижче.

Таким чином, можна сказати, що *зовнішні параметри* визначають тактико-технічні можливості виробу (що може виріб, які функції він виконує), а *внутрішні параметри* характеризують засоби, за допомогою яких забезпечуються зовнішні параметри.

Розглянемо ще приклади.

Для радіостанції зовнішніми параметрами є дальність дії, маса, надійність, а внутрішніми - потужність передавача, чутливість, параметри антени.

В свою чергу, для приймальних пристроїв зовнішніми параметрами є чутливість, вибірковість, діапазон частот, спосіб перебудови, вихідна потужність, а внутрішніми - коефіцієнт передачі тракту, характеристики частотно-вибірчих пристроїв тощо.

Таким чином, внутрішні параметри системи верхнього рангу - радіостанції - є зовнішніми для системи більш низького рангу - передавача або приймача.

До функціональних відносяться всі електричні параметри: чутливість, вибірковість, вихідна потужність, дальність та ін.

До матеріальних параметрів відносяться маса, габарити, вартість та похідні від цих параметрів.

Між функціональними і матеріальними параметрами існує тісний взаємозв'язок. Реалізація будь-якої РЕЗ вимагає матеріальних витрат. Чим більші значення мають матеріальні параметри, тим вище складність виробу. Однак завжди потрібно знаходити розумний компроміс між високою якістю і важливістю технічного рішення і складністю реалізації та собівартістю.

1.2.3.2 Блочно-ієрархічний підхід при проектуванні

В процесі проектування застосовується *блочно-ієрархічний підхід*, коли розділяють горизонтальні та вертикальні рівні (рис. 1.2).

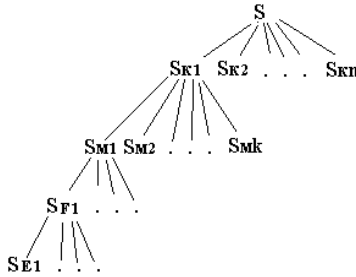


Рисунок 1.2 – Рівні проектування

Горизонтальні рівні - виділення за ступенем детальності з розглядом системи проектування.

Вертикальні рівні - виділення за функціональним фізичним принципом.

Задачі проектування підрозділяються на *задачі синтезу та аналізу*. *Задачі синтезу* пов'язані зі створенням проекту, *аналізу* – з його всебічним дослідженням (рис. 1.3).

Всі параметри зображуються координатними точками у просторі параметрів.

Одноваріантний аналіз досліджує об'єкт проектування в точці простору керованих параметрів, а багатоваріантний - у її оточенні.

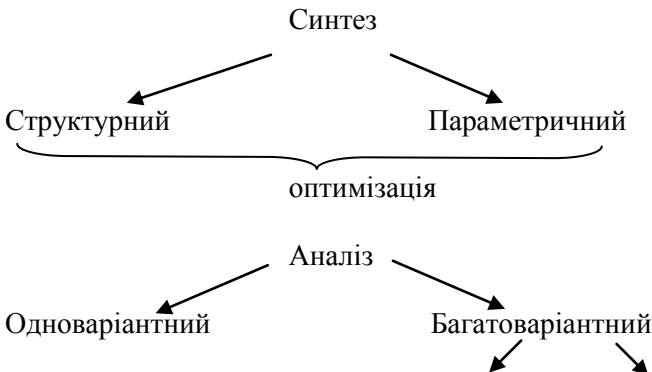


Рисунок 1.3 – Структурна схема задач синтезу та аналізу

2 МОДЕЛІ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ (ТО)

2.1 Класифікація моделей ТО

Усі моделі, які використовують інженери, класифікуються за такими ознаками:

- за способом побудови;
- за ступенем повноти відображення сторін об'єкта;
- за ступенем загальності у відношенні до об'єкта;
- за характером відтворюваних сторін об'єкта;
- за характером передбачень, що забезпечують моделі;
- за придатністю для цілей прогнозування;
- за призначенням.

2.1.1 За способом побудови розрізняють моделі **знакові (семантичні)** та **предметні (матеріальні)**.

Знакові моделі застосовують для відображення за допомогою знаків об'єктів різної природи, властивостей цих об'єктів, різних відносин між об'єктами та їх властивостями. Усі **семантичні моделі** в свою чергу підрозділяються на **мовні** (логіко-лінгвістичні – символічні структури, наприклад, логіко-математичні); **немовні** (наочно-образові, схеми, ескізи, креслення і т. ін.).

Матеріальні моделі містять натурні (експериментальні, лабораторні, дослідні зразки об'єктів), геометрично подібні (макети), фізично подібні (моделі з подобою механічною, кінематичною, динамічною та іншими видами фізичної подоби до об'єкта); предметно-математичні – аналогові та цифрові ЕОМ.

2.1.2 За ступенем повноти відображення (уявлення) істотних для будь-якого розгляду сторін об'єкта моделі можуть бути **повними, неповними** – різного ступеню неповноти за змістом чи обсягом.

2.1.3 За ступенем загальності у відношенні до об'єкта бувають такі моделі: **описи**, призначені відбивати найхарактерніші сторони об'єктів деякого класу (склад важливіших їхніх властивостей), що абстраговані від окремих особливостей об'єктів; **моделі-інтерпретатори**, призначені зображувати окремі об'єкти, які входять до складу деякого класу або множини, що враховують особливості їхньої окремої реалізації, вони конкретизовані не тільки у

відношенні складу, але й у відношенні значень властивостей; *моделі-аналоги* – різні за формою зображення, але рівні між собою за ступенем загальності по відношенню до оригіналу.

2.1.4 За характером відтворюваних сторін об'єкта проектування моделі підрозділяються на *субстанціональні, функціональні, структурні, концептуальні, змішані*.

Субстанціональні – відображують об'єкт як деяку цілість, характеризують простір його можливих станів, зв'язок з середовищем, тобто характеризують об'єкт багатоаспектно, безвідносно до різних можливих цілей його використання. Як приклад таких моделей, можуть служити довідники з даними про речовини та матеріали, стандартні елементи конструкції, описи типових проектних рішень будь-якої природи.

Функціональні – характеризують об'єкт взаємозв'язком та складом його функцій. Модель може мати графічне зображення (у вигляді ієрархічної структури) або математичний вираз (у вигляді матриці) складу та взаємозв'язків функцій об'єкта.

Структурні моделі характеризують внутрішню організацію об'єктів через кількісну та якісну організацію шляхом опису складу виділених частин (компонентів, елементів), а також схеми стійких зв'язків між цими частинами. Моделі у неявній формі відображують природні процеси (закони природи), а також способи та технічні форми реалізації цих процесів. Ці моделі можуть реалізувати зв'язки різної природи (електричні, механічні, оптичні, хімічні і т. ін.) у просторі та часі, тобто для кожної природи буде своя відповідна модель структури об'єктів. У об'єктах чи моделях об'єктів ідеальної природи розрізняють *концептуальну* (семантичну, змістовну) та *знакову* (синтактичну) структуру.

Змішані моделі. Підрозділяються на функціонально-структурні та структурно-функціональні. Функціонально-структурні моделі відображують відношення типу функція-структура. Цим моделям притаманна певна багатозначність, бо одна й та ж функція або їх набір можуть бути реалізовані невизначеною кількістю структур. Модель структурно-функціональна характеризує простір можливих функціональних станів об'єкта проектування для обраного принципу побудови цього об'єкта. Ступінь визначеності у цій моделі значно вище, тому вона менш багатозначна, ніж функціонально-структурна модель.

2.1.5 За характером передбачень властивостей моделі підрозділяються на *однозначно-детерміновані* та *вірогідно-статистичні*.

2.1.6 За придатністю для прогнозування – *придатні* та *непридатні*.

2.1.7 За призначенням – *цільові* та *продуктивні*.

Цільові моделі відображують ціль створення, призначеність об'єкта проектування, характеризуючи систему об'єкт – середовище у термінології тих їхніх властивостей та відносин, які визнані важливими для споживачів, та мотивів, що викликали необхідність створення даного об'єкта. Глобальна мета створення нового технічного об'єкта припускає досягнення деякого набору окремих цілей. Окремі цілі за ступенем їх важливості утворюють ієрархію, багато з них є суперечливими, деякі цілі не можна виразити кількісно. Узгоджена цільова модель являє собою узагальнений опис об'єкта проектування та є обов'язковою для усіх зацікавлених сторін: замовника, проектувальника, виробника, споживача.

Продуктивні моделі є підмножиною наочно-образових та знакових моделей-інтерпретаторів (субстанціональних, структурних, функціональних, змішаних і т. ін.), наданих у формі технічної документації на об'єкт та його елементи (складові одиниці, деталі, технологічні операції, матеріали і т. ін.). Документація повинна містити усі відомості, які необхідні та достатні для виготовлення або використання об'єкта проектування у виробничих умовах.

Класифікація модельних уявлень об'єктів проектування наведена у табл. 2.1.

2.2 Зв'язок повноти опису ТО з рівнем абстрактності моделі

В процесі розробки відбувається уточнення та конкретизація моделей. Фактично створюється ціла низка взаємозв'язаних моделей. З точки зору інженерного підходу проектування є сукупність послідовно змінюваних моделей ТО, які розглядаються у прямому зв'язку з діями, що реалізують ці зміни.

Таблиця 2.1 - Класифікація модельних уявлень об'єктів проектування

Критерії класифікації	Клас моделей
Характер відтворюваних сторін об'єкта	Субстанціональні. Функціональні. Структурні. Функціонально-структурні. Структурно-функціональні.
Ступінь повноти відображення сторін об'єкта, що розглядаються	Повні за змістом та/або обсягом. Неповні (різного ступеню неповноти) за змістом та/або обсягом.
Ступінь загальності у відношенні до об'єкта	Моделі-опису. Моделі-інтерпретатори. Моделі-аналоги.
Характер передбачень, що забезпечує модель	Однозначно-детерміновані. Вірогідно-статистичні.
Призначення	Цільові. Продуктивні.

Спочатку створюються моделі високого рівня абстрактності, які відображають лише потребу у новому ТО та вимоги до його параметрів, потім, у ході робіт ці моделі трансформуються, наповнюються усе більш конкретним змістом, та наприкінці розробки створюється модель майбутнього виробу, що несе повну інформацію про технічний об'єкт. Це дуже добре ілюструє рис. 2.1.

З аналізу рис. 2.1 можна припустити, що процес конкретизації моделей лінійний, однак на практиці це зовсім не так. Часто помилка, яка допущена інженером на одному з етапів проектування, может бути вчасно не помічена та виявлена пізніше, іноді при виготовленні, випробуванні або навіть під час експлуатації. У цьому випадку доводиться повертатися до моделей попередніх етапів та вносити у них відповідні зміни. Тому процес конкретизації моделей при проектуванні носить не лінійний, а ітераційний характер (послідовне наближення до заданого результату).

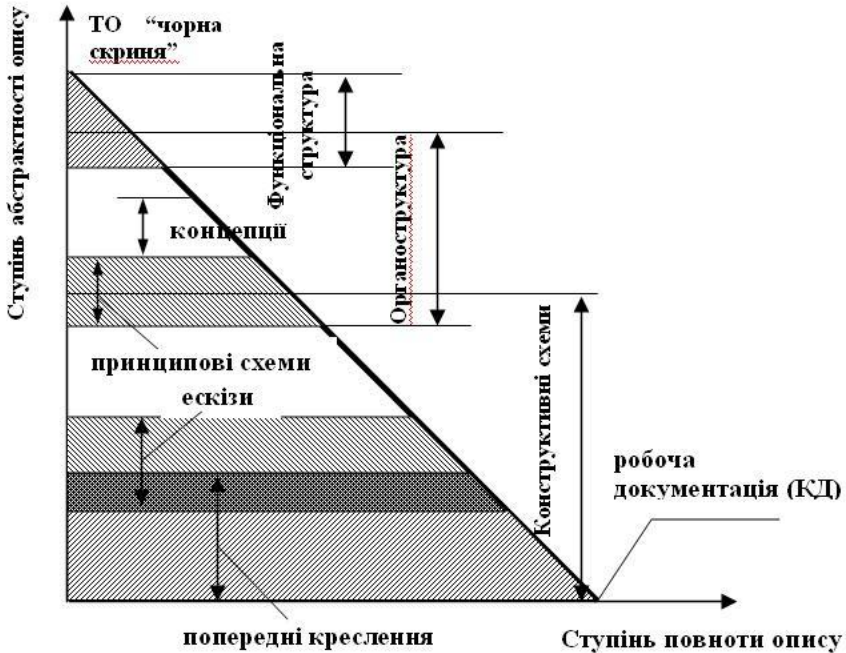


Рисунок 2.1 – Структура ТО у координатах «ступінь абстрактності – ступінь повноти»

2.3 Поняття макромоделей при проектуванні РЕЗ

Для зменшення економічних витрат (часу та пам'яті) та спрощення задачі використовуються макромоделі. Це спрощені повні математичні моделі, які поступаються якісними параметрами. За факторами впливу, які залежать від умов експлуатації, можна виділити 5 основних макромоделей РЕЗ.

Модель стаціонарної РЕЗ - з температурою навколишнього середовища 5..50°C, нормальним атмосферним тиском, нормальною відносною вологістю; до потужності, маси та габаритів немає обмежень.

Модель наземної пересувної РЕЗ - з підвищеними вимогами до стійкості від запилення, підвищеним діапазоном температури від -60...+60°C, потужність, маса та габарити - обмежені.

Модель корабельної РЕЗ - з підвищеними вимогами до вологостійкості, до сольових випаровувань, корозійної стійкості, грибкової стійкості.

Модель авіаційної РЕЗ - з вимогами стійкості до високого тиску, стійкості до змінного тиску та змінної температури, стійкості до термоударів; потужність, маса та габарити - обмежені.

Модель ракетно-космічної РЕЗ - з жорсткими вимогами до стійкості апаратури, до теплових режимів, радіації; потужність, маса та габарити - значно обмежені.

3 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА РОЗРОБКУ РЕЗ. КЛАСИФІКАЦІЯ РЕЗ

3.1 Технічне завдання на розробку РЕЗ

Вся сукупність вимог до РЕЗ зводиться до *технічного завдання (ТЗ) на розробку*, яке складають на підставі вимог нормативно-технічної документації (НТД - державних, галузевих стандартів, стандартів підприємств, технічних умов, керівних технічних документів РД), вимог замовника, вивчення потреб внутрішнього та зовнішнього ринків, аналізу кращих зразків вітчизняної та зарубіжної техніки (аналогів), наукового прогнозування.

ТЗ є вихідним документом для розробки РЕА та технічної документації на неї.

Відповідно до стандарту, ТЗ включає наступні розділи: **«Найменування та область застосування»**, **«Підстава для розробки та її джерела»**, **«Мета та призначення розробки»**, **«Технічні вимоги»**, **«Економічні показники»**, **«Етапи розробки»**, **«Порядок контролю і приймання, додатки»**.

У розділі **«Найменування та область застосування»** вказують найменування виробу та наводять коротку характеристику області його використання.

У розділі **«Підстава для розробки та її джерела»** вказують найменування документа, на підставі якого ведеться розробка, та організації, що затвердила цей документ. Слід підкреслити, що в ТЗ на конструкторську розробку в якості вихідного документа на конструювання виробу наводять його принципову електричну схему. Тут же вказують НТД та інші джерела (каталоги продукції, що випускається промисловістю, технічні умови, інструкції з експлуатації аналогів, технічну літературу), використані при складанні ТЗ.

У розділі **«Технічні вимоги»** наводяться вимоги до апаратури даного класу, номенклатура яких встановлена в НТД:

- радіоелектронне функціональне призначення (прийом, передача, обробка сигналів, індикація, включення джерела живлення);
- значення параметрів, що визначають конструктивне рішення (потужність, частота, смуга пропускання, швидкодія, та ін.);

- клас, до якого належить об'єкт (бортовий, морський, наземний, рухомий, наземний стаціонарний);
- кліматичне виконання (за ГОСТ 15150-69);
- категорія розміщення на об'єкті (5 укрупнених та 6 допоміжних категорій);
- масогабаритні характеристики (маса, габарити, приєднувальні розміри);
- закріплення на об'єкті (жорстка, швидкознімна, на амортизаторах та ін.);
- комунікаційні мережі на об'єкті (мережі живлення, антенні кабелі, шини заземлення, вентиляційні мережі та ін.);
- електромагнітний захист на об'єкті (екранування, усунення наведень, в тому числі і за ланцюгами євнлення).

Крім цього, в даний розділ може входити ряд додаткових пунктів:

- найменування, кількість та призначення складових частин виробу;
- масогабаритні характеристики виробу (при необхідності обмежують габаритні розміри та масу його складових частин);
- спосіб установки та закріплення на об'єкті (закріплення жорстке, швидкознімне, на амортизаторах і ін.);
- можливості агрегування;
- зовнішні з'єднувачі, установчі та приєднувальні розміри, комунікаційні мережі на об'єкті (мережі живлення, кабелів, шин заземлення, вентиляційні мережі та ін.);
- вимоги до підрівня мініатюризації, які оцінюють коефіцієнтами щільності та заповнення.

Коефіцієнт щільності:

$$K_{щ} = \frac{N_E + N_D}{V}$$

де N_E - кількість елементів в еквівалентних схемах інтегральних мікросхем (ІС);

N_D - кількість дискретних електрорадіоелементів (ЕРЕ);

V - габаритний об'єм виробу.

Коефіцієнт заповнення:

$$K_{зп} = \frac{V_{\Sigma}}{V}$$

де V_{Σ} - сумарний обсяг корпусів елементів (за габаритними розмірами).

Слід зазначити, що коефіцієнти щільності та заповнення можуть бути задані або прямо, як показники рівня мініатюризації, або побічно - через параметри, що входять у вирази.

Окрім вказаних, до складу розділу також може входити **коефіцієнт складання**, який охарактеризує структурне відпрацювання конструкції та визначає частку конструктивних елементів, що входять у блоки складального креслення виробу, що специфікуються $N_{сп}$, в загальній кількості складових частин ($N_{сч}$), що входять до складу виробу $N_{сч}$:

$$K_{ск} = \frac{N_{сп}}{N_{сч}}$$

3.2 Класифікація РЕЗ

РЕЗ розрізняють за класами, групами та підгрупами використання, за конструкторським виконанням, функціональним призначенням, тривалістю роботи, принципом дії, надійністю, способом експлуатації, типом технічного обслуговування, елементною базою, типом виробництва.

3.2.1 Класифікація РЕЗ за класами, групами і підгрупами використання та за конструкторським виконанням

Класифікація РЕЗ за класами, групами і підгрупами використання та за конструкторським виконанням наведена у табл. 3.1.

Класи підрозділяють РЕЗ за трьома зонами використання - **наземна, морська, бортова (повітряне і космічне простір)**.

Клас наземної РЕЗ складається з трьох основних груп - *стаціонарна, на рухомому об'єкті та носима (переносна)*; при цьому кожна з них включає підгрупи *побутової і професійної РЕЗ*.

Клас морської професійної РЕЗ містить дві групи - *суднову (для військових об'єктів корабельну) і буйкових*.

Клас бортової професійної РЕЗ включає три групи - *літакову (вертолітну), ракетну та космічну*.

Таблиця 3.1 - Класифікація РЕА за класами, групами та підгрупами використання та за конструкторським виконанням

Клас використання	Група використання	Підгрупа використання	Група виконання
Наземна	Стаціонарна	побутова	за ГОСТ 11478-88
		професіональна	стандарти згідно галузі
	на рухомому об'єкті	побутова	за ГОСТ 11478-88
		професіональна	стандарти згідно галузі
	носима (переносна)	побутова	за ГОСТ 11478-88
		професіональна	стандарти згідно галузі
Морська	суднова	-	за морським (річковим реєстром)
	буйкова		
Бортова	літакова	-	за льотними нормами
	Ракетна		
	Космічна		

При цьому для кожного класу РЕЗ існує поняття групи конструктивного виконання, яке тісно пов'язане з її призначенням та особливостями експлуатації. Кількість таких груп залежить від того, до якого класу, групи та підгрупи використання належить РЕЗ, та регламентується відповідними НТД.

3.2.2 Класифікація РЕЗ за функціональним призначенням

За функціональним призначенням можна виділити два основні види РЕЗ, що мають суттєві конструкторські особливості: *побутова* та *професійна*.

3.2.2.1 Побутові РЕЗ

До них відносяться пристрої, що містять у своєму складі електронні модулі або засоби керування:

– електронні засоби комунікації та зв'язку: персональні комп'ютери, копіювальні апарати, факсимільні апарати, телефони, домофони тощо;

– засоби прийому/розпізнавання та відображення інформації загального призначення: радіомовні приймачі, тюнери, тюнери-підсилювачі, телевізори, підсилювачі звукової частоти, музичні центри, електронні книги, домашні кінотеатри тощо;

– засоби для запису інформації різного типу: диктофони, фото- та відеокамери, цифрові фоторамки т. ін.;

– засоби для полегшення побуту: мікрохвильові печі, електрочайники, праски, пральні та сушильні машини, кавоварки, хлібпечі, мультиварки тощо.

Для побутової наземної апаратури групи конструктивного виконання обговорені у **ГОСТ 11478-88. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Нормы и методы испытаний на воздействие внешних механических и климатических факторов.**

Згідно з цим документом є 4 групи конструктивного виконання РЕЗ:

I - експлуатація у житлових приміщеннях, категорія випробувань за ГОСТ 15150-69 - 4.2;

II - у транспортних засобах (вбудована), категорія випробувань за ГОСТ 15150-69 - 2.1;

III - на відкритому повітрі, не врахована на роботу в умовах руху, категорія випробувань за ГОСТ 15150-69 - 1.1;

IV - на відкритому повітрі, в тому числі, і в умовах руху, категорія випробувань за ГОСТ 15150-69 - 1.1

3.2.2.2 Професійні РЕЗ

До них відносяться:

– системи радіозв'язку загального та спеціалізованого користування, автономні системи радіозв'язку, системи аварійного радіозв'язку, системи дотового зв'язку з використанням проміжної підсилювальної апаратури; радіорелейні системи передачі інформації прямої видимості, тропосферні і іоносферні системи, супутникові системи передачі з бортовими ретрансляторами;

– радіолокаційні станції огляду, супроводження, вимірювання параметрів об'єкта, пеленгатори, радіонавігаційна апаратура ближньої та дальньої навігації, системи інструментальної посадки літаків, гідроакустичні станції (гідролокаційні, шумопеленгаторні, звукові підводного зв'язку, гідроакустичні засоби навігації, засоби забезпечення рибальства);

– контрольно-вимірювальна апаратура (генератори, підсилювачі, засоби вимірювання електричних та неелектричних параметрів, прилади для спостереження сигналів і спектрів);

– медична апаратура (терапевтична, функціональної діагностики, для спостереження за важкими хворими);

– студійна звуко- і відеозапису апаратура; спеціалізована обчислювальна техніка для прийому, зберігання, обробки, відображення та передачі інформації за допомогою обчислювальних і логічних операцій за заданим алгоритмом (програми).

Для кожної з галузей існують свої нормативно-технічні документи, що обговорюють норми та вимоги до виробів в залежності від умов експлуатації.

Так, для наземних радіостанцій (підгрупа професійної апаратури) групи конструктивного виконання обумовлені у стандарті **ГОСТ 16019-2001. Аппаратура сухопутной подвижной радиосвязи. Требования по стойкости к воздействию механических и климатических факторов и методы испытаний** (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 - Групи конструктивного виконання для апаратури сухопутного рухомого радіозв'язку

Група	Призначення апаратури та умови експлуатації
-------	---

апаратури	
C1	Стаціонарна, що встановлюється у опалювальних наземних та підземних спорудах
C2	Стаціонарна, що встановлюється під навісом на відкритому повітрі або у неопалювальних наземних та підземних спорудах
B3	Возима, що встановлюється у внутрішніх приміщеннях річкових судів
B4	Возимо, що встановлюється в автомобілях, на мотоциклах, в сільськогосподарській, дорожній та будівельній техніці
B5	Возимо, що встановлюється в рухомих залізничних об'єктах
P6	Носима, що розміщується при експлуатації в одязі або під одягом оператора, або в опалювальних наземних і підземних спорудах
H7	Носима, що експлуатується на відкритому повітрі або в неопалюваних наземних і підземних спорудах

3.2.3 Класифікація РЕЗ за функціональною складністю

За функціональною складністю розрізняють такі рівні розукрупнення: **радіоелектронний пристрій, радіоелектронний комплекс та радіоелектронну систему.**

При цьому під **радіоелектронним пристроєм** розуміють закінчену складальну одиницю, виконану на несучій конструкції, що реалізує функцію прийому, передачі і перетворення інформації.

Радіоелектронний комплекс являє собою сукупність функціонально пов'язаних радіоелектронних пристроїв, призначену для вирішення складних технічних завдань.

Радіоелектронна система представляє сукупність функціонально взаємодіючих автономних радіоелектронних комплексів та пристроїв, що має властивості перестроювання структури з метою раціонального вибору і використання вхідних засобів при вирішенні технічних завдань.

3.2.4 Класифікація РЕЗ за конструктивною складністю

За конструктивною складністю розрізняють чотири структурних рівня розукрупнення (радіоелектронних модулів - РЕМ): **РЕМ-0, РЕМ-1, РЕМ-2, РЕМ-3.**

До **рівня 0 (РЕМ-0)** відносяться конструктивно неподільні елементи: електрорадіоеlementи або інтегральні мікросхеми з радіоеlementами її обслуговування.

Рівень I (РЕМ-1) - це комірки, модулі, типові елементи заміни (ТЕЗ). Ці конструктивні одиниці не мають лицьовій панелі і містять одиниці і десятки мікросхем.

До цього структурного рівню відносять друковані плати і великі гібридні інтегральні схеми (БГІС), отримані шляхом електричного і механічного об'єднання безкорпусних мікросхем і кристалів напівпровідникових приладів на загальній платі.

Рівень II (РЕМ-2) включає в себе конструктивні одиниці - блоки, призначені для механічного та електричного об'єднання елементів рівня I.

Рівень III (РЕМ-3) може бути реалізований у вигляді шафи, стійки або великого приладу, внутрішній об'єм яких заповнюється конструктивними одиницями рівня II.

Детальніше структурні рівні розукрупнення будуть розглянуті у розділі 7.

3.2.5 Класифікація РЕЗ за тривалістю роботи

За тривалістю роботи розрізняють чотири категорії РЕЗ: **багаторазового, одноразового, безперервного та загального застосування.**

Апаратура **одноразового застосування** використовується один раз за період експлуатації (наприклад, ракетна), **багаторазового** - кілька разів.

Апаратура **безперервного застосування** призначена для безперервної експлуатації (наприклад, радіо трансляційний вузол).

РЕЗ **загального застосування** працює в змішаному режимі (побутова РЕЗ).

3.2.6 Класифікація РЕЗ за принципом дії

За принципом дії РЕЗ поділяють на *аналогову, цифрову, цифроаналогову*.

Аналогова і цифрова апаратура використовує відповідно схемотехнічні принципи аналогової і цифрової техніки, *цифроаналогова* - комбінацію цих принципів.

3.2.7 Класифікація РЕЗ за надійністю, способом експлуатації та видом технічного обслуговування

За надійністю розрізняють РЕЗ *відновлювану і невідновлювану, з резервуванням і без резервування*.

За способом експлуатації РЕЗ поділяють на *автоматичну, напівавтоматичну і з ручним керуванням*.

При цьому під експлуатаційними розуміють роботи, пов'язані з нормальним функціонуванням апаратури (що виконуються операторами). Автоматизація підвищує якість і швидкість обслуговування, знижує експлуатаційні витрати. Деякі технічні задачі взагалі не можуть бути вирішені без автоматизації РЕЗ. Але, незважаючи на це, автоматизація не завжди виправдана, оскільки вона суттєво ускладнює РЕЗ та збільшує її вартість.

За видом технічного обслуговування (ТО) розрізняють РЕЗ з ТО після періодичного контролю, з ТО при безперервному контролі і РЕЗ за регламентованими ТО, яке проводиться незалежно від стану виробу до початку обслуговування. При цьому під ТО розуміють операцію або комплекс операцій по підтримці працездатності або справності виробу. Як і ремонтні роботи, ТО здійснюються кваліфікованими ремонтерами.

3.2.8 Класифікація РЕЗ за типом виробництва

Тип виробництва встановлюють за ознаками широти номенклатури, регулярності, стабільності й обсягом випуску продукції. При його визначенні використовують коефіцієнт серійності

$$K = \frac{N_0}{N_3}$$

де N_0 - кількість операцій, необхідних для виробництва виробу;

N_P - кількість робочих місць.

Відповідно до стандарту розрізняють:

– **одиничне виробництво**, що характеризується малим обсягом випуску однакових виробів, повторне виготовлення та ремонт яких, як правило, не передбачаються, а коефіцієнт K не регламентується;

– **серійне виробництво**, що характеризується виготовленням чи ремонтом виробів періодично повторюваними партіями (**дрібносерійне виробництво** при $2 < K < 40$, **середньосерійне виробництво** при $10 < K < 20$, **багатосерійне виробництво** при $1 < K < 10$);

– **масове виробництво**, що характеризується великим обсягом випуску виробів, які безперервно виготовляються або ремонтуються тривалий час, протягом якого на більшості робочих місць виконується одна робоча операція ($K = 1$).

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО РЕЗ

4.1 Сукупність технічних вимог до РЕЗ. Їх класифікація

Уся радіоелектронна апаратура, що розробляється, повинна відповідати ряду груп технічних вимог, що наведені на рис. 4.1.



Рисунок 4.1 - Вимоги до РЕЗ

Тактико-технічні вимоги містяться в ТЗ на розробку РЕЗ і включають в себе:

- функціональне призначення (прийом, передача, обробка сигналів, індикація, та ін.);
- значення параметрів, що визначають конструктивне рішення (потужність, що випромінюється, споживана, частота, смуга пропускання та ін.);
- об'єкт установки;
- кліматичне виконання;
- категорію розміщення на об'єкті, - масогабаритні характеристики;
- закріплення на об'єкті (жорстке, швидкознімне, на амортизаторах та ін.);

- комунікаційні мережі на об'єкті (мережі живлення, антенних кабелів, шин заземлення та ін.);
- електромагнітний захист на об'єкті (наявність одночасно працюючих РЕЗ на одному об'єкті і їх взаємний вплив, екранування, усунення наведень).

Конструктивно-технологічні вимоги включають:

- принципи побудови конструкції виробу;
- технологічність;
- мінімальну номенклатуру комплектуючих виробів;
- передбачення заходів захисту від кліматичних і механічних дестабілізуючих факторів;
- ремонтпридатність.

Експлуатаційні вимоги включають:

- простоту управління та обслуговування;
- наявність сигналізації небезпечних режимів роботи (вихід з ладу, відкривання дверей шаф, обрив заземлення та ін.);
- наявність апаратури контролю і наладки (стенди, імітатори і т. д.);
- забезпечення нормальної роботи оператора з урахуванням ергономіки;
- техніку безпеки.

До **економічних вимог** відносять:

- мінімально можливі витрати часу, праці і матеріальних засобів на розробку, виготовлення і експлуатацію РЕЗ,
- мінімальну вартість виробу після освоєння його у виробництві і ринкову ціну.

4.2 Дестабілізуючі фактори, що діють на РЕЗ. Кліматичне виконання

4.2.1 Класифікація дестабілізуючих факторів, що діють на РЕЗ

Фактори, що впливають на працездатність РЕЗ, можна згрупувати за трьома ознаками: **кліматичні, механічні та радіаційні.**

До кліматичних також відносяться *біологічні фактори* (які іноді розглядають як окрему групу).

Ці ознаки впливають на конструктивне виконання апаратури, застосування тих чи інших радіоматеріалів і радіокомпонентів, проведення випробувань, упаковку, зберігання та транспортування. У табл. 4.1 представлена структурна схема класифікації факторів зовнішнього середовища.

При конструюванні РЕЗ повинна бути забезпечена стійкість до впливів тих факторів зовнішнього середовища, які характерні для заданих умов експлуатації, зберігання і транспортування об'єкта.

Таблиця 4.1 - Класифікація зовнішніх дестабілізуючих факторів, що діють на РЕЗ

Фактори зовнішнього середовища		
Кліматичні	Механічні	Радіаційні
Температура Вологість Атмосферний тиск Активні речовини Пил, пісок Сонячна радіація Біологічні фактори	Вібραції Удари Лінійні прискорення Акустичні шуми Невагомість	Космічна радіація Ядерна радіація від реакторів та двигунів Ядерна радіація від ядерного вибуху

4.2.2 Кліматичне виконання

Кліматичне виконання обумовлене у стандарті **ГОСТ 15150-69** «Машины, приборы та и другие технические изделия. Исполнение для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды»

Згідно з цим стандартом, в залежності від району передбачуваної експлуатації РЕЗ розрізняють дев'ять основних кліматичних виконань виробів:

Виконання У (Помірна) - для районів з помірним кліматом, що характеризується порівняно стійкою температурою, вологістю та

тиском. Температура повітря змінюється від -45°C до $+40^{\circ}\text{C}$ при відносній вологості повітря 70 ... 80% (Європа, Сибір західна і південна, США, Північна Японія, Південь Африки, Америки).

Виконання УХЛ (Холодна) - для районів з помірним і холодним кліматом при середньорічному мінімумі температури нижче -45°C (Середня та Східна Сибір, Аляска, Антаркида, Арктика).

Виконання ТВ (Тропічна волога) - для районів з вологим тропічним кліматом, при якому поєднання температури, рівної і вищої $+20^{\circ}\text{C}$, і вологості, що дорівнює або вище 80%, спостерігається не менше 12 годин на добу протягом двох і більш місяців в році (Індія, Індокитай, Індонезія).

Виконання ТС (Тропічна суха) - для районів з сухим тропічним кліматом із середньорічною температурою, що дорівнює або вище $+40^{\circ}\text{C}$, що не віднесені до районів з вологим тропічним кліматом (Туреччина, Іран, Афганістан, Мексика).

Виконання М (Морська) - для районів з помірно холодним морським кліматом, що включають моря, океани та прибережні території, розташовані на північ від 30° північної широти або на південь від 30° південної широти.

Виконання ТМ (Тропічна морська) - для районів з тропічним морським кліматом, що включають моря, океани та прибережні території, розташовані між 30° північної широти і 30° південної широти.

Виконання О (Загальна) - загальнокліматичне виконання для суші (крім Антарктиди).

Виконання ОМ (Загальна морська) - загальнокліматичне морське виконання для судів з необмеженим районом плавання.

Виконання В - усекліматичного виконання для суші і моря (крім Антарктиди).

ГОСТ 15150-69 також встановлює категорії розміщення РЕЗ на об'єкті експлуатації:

- на відкритому повітрі;
- під навісом і на об'єктах, де коливання температури або вологості несуттєво відрізняються від умов відкритого повітря;
- в закритих приміщеннях з природною вентиляцією та без кондиціонування;
- в приміщеннях з штучним кліматом, у опалюваних приміщеннях;

- у приміщеннях з підвищеною вологістю (підвалах, шахтах і трюмах з наявністю води).

Існує поняття *нормальних кліматичних умов (НКУ)*. За НКУ приймають:

- температуру навколишнього повітря: +15... +35°C;
- відносну вологість повітря: 45 ... 7%,
- атмосферний тиск: 86 ... 104 кПа (650 ... 808 мм рт. ст.).

4.2.3 Вплив дестабілізуючих факторів. Вимоги до стійкості конструкції

Усі дестабілізуючі фактори можуть проявляти себе незалежно один від одного, але вони також підсилюють дію факторів інших груп. Існує певний зв'язок між конкретним видом зовнішнього впливу на апаратуру фізико-хімічним процесом в конструкції, що прискорюється під час його дії.

Підвищена температура призводить до пересихання захисних покриттів з деформацією або розтріскуванням; міграції домішок в напівпровідниках; зміні електричних характеристик; деформації деталей з різними температурними коефіцієнтами розширення.

Знижена температура викликає конденсацію вологи; зміну електричних характеристик; деформацію сполучених деталей.

Тепловий удар (термоудар) викликає механічні напруження в місцях пайки та інших рухомих з'єднаннях; розтріскування металевих і неметалевих покриттів.

Підвищена вологість призводить до зниження опору ізоляції між гальванічно не пов'язаними ланцюгами, електролізу, корозії.

Знижений тиск призводить до зниження пробивної напруги, погіршення тепловіддачі.

Вплив цвілі, мікроорганізмів, комах, гризунів може призводити до розкладання та знищення елементів конструкції з органічних матеріалів.

Вплив *механічних* і ряду кліматичних факторів (*пил, пісок, теплові удари*) може призвести до виникнення механічної напруги,

що викликає фізичні проблеми в конструкції, наслідком яких є втрата працездатності РЕЗ.

Вплив *невагомості* позначається на зміні властивостей мастил (зміна тертя), а також значень початкових механічних напружень в місцях кріплення великих блоків, обусловлених собственным весом блоків. Під час невагомості відсутня конвекція, тому значно погіршуються умови охолодження РЕЗ.

Радіаційні фактори (космічна радіація та опромінювання ядерними частинками) призводять до виникнення процесу іонізації в матеріалах, наслідком чого є зворотні, напівзворотні та незворотні зміни властивостей матеріалів. До незворотних змін відносяться порушення структури напівпровідникових переходів, залишкова іонізація та відповідне погіршення ізоляційних властивостей діелектриків.

Оскільки дестабілізуючі фактори зовнішнього середовища можуть призвести до виходу з ладу апаратури, процес розробки та конструювання РЕЗ повинен бути спрямований на вибір таких ЕРЕ і матеріалів, схемотехнічних і конструкторських рішень, які в сукупності можуть забезпечити стійкість апаратури до зовнішніх факторів заданої інтенсивності.

Більш детально питання захисту РЕЗ від впливу дестабілізуючих факторів буде розглянуто у **другій частині** даного курсу, а також у курсах "**Зовнішні впливи на електронні апарати та засоби захисту**" та "**Тепло- та масообмін у РЕЗ**".

4.3 Вимоги з надійності РЕЗ

Надійність - один з показників якості технічного виробу (об'єкта); властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах всі параметри, що характеризують його здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання і транспортування.

Надійність є єдиним показником якості, що враховує мінливість властивостей об'єкта, обумовлену розкидом характеристик вихідних матеріалів і відхиленнями в технології виготовлення, а також розкидом характеристик зовнішніх навантажень, що діють на об'єкт, і накопичення змін, що відбуваються в об'єкті в процесі експлуатації (старіння, зношування і т. п.).

Надійність формується при проектуванні та розрахунках, забезпечується при виготовленні (виробництві), реалізується та підтримується в експлуатації.

Вона залежить:

- від конструкції об'єкта і його елементів, застосовуваних матеріалів, методів захисту від шкідливих впливів, пристосованості до ремонту і обслуговування та ін. конструктивних особливостей

- від якості матеріалів, якості виготовлення елементів і складання об'єкта, методів контролю над процесом виготовлення, можливостей управління технологічними процесами, методів випробувань та ін.;

- від методів і умов експлуатації, прийнятої системи технічного обслуговування і ремонту, режимів роботи та інших експлуатаційних факторів.

Надійність є комплексним показником якості та в залежності від особливостей об'єкта і умов його експлуатації, технічного обслуговування і ремонту, зберігання і транспортування може включати **безвідмовність, довговічність, збереженість і ремонтпридатність.**

Безвідмовність - властивість об'єкта безупинно зберігати працездатний стан (працездатність) протягом деякого часу або напрацювання (величини пробігу, кількості циклів та ін.).

Довговічність - властивість об'єкта зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування та ремонту.

Збереженість - властивість об'єкта зберігати в заданих межах значення показників якості протягом і після зберігання та (або) транспортування.

Ремонтпридатність - пристосованість об'єкта до підтримання та відновлення працездатності шляхом технічного обслуговування та ремонту.

Надійність може включати всі чотири властивості або певне поєднання цих властивостей як виробу в цілому, так і його елементів. Якщо, наприклад, об'єкт не підлягає ремонту, то його надійність оцінюють за безвідмовністю та зберіганням.

При оцінці надійності об'єкта розрізняють наступні його стану:

- **справний**, при якому об'єкт відповідає показникам якості та іншим вимогам, встановленим нормативно-технічною документацією;
- **несправний**, при якому об'єкт не відповідає хоча б одній з вимог нормативно-технічної документації, наприклад пошкодження забарвлення; перегорання лампочки, запобіжника;
- **працездатний**, при якому об'єкт здатний виконувати задані функції, зберігаючи значення показників якості в межах, встановлених нормативно-технічною документацією;
- **непрацездатний**, при якому об'єкт не здатний виконувати задані функції (наприклад, пошкодження забарвлення означає несправний стан об'єкта, але в той же час такий об'єкт працездатний; непрацездатний об'єкт є одночасно і несправним);
- **граничний**, при якому подальша експлуатація об'єкта недопустима або недоцільна.

Після настання граничного стану об'єкт списують або направляють в капітальний ремонт.

Основним поняттям, що використовується в теорії надійності, є поняття **відмови**, тобто втрати об'єктом працездатності.

Подія, що складається в порушенні справного стану об'єкта при збереженні його працездатності, називається **ушкодженням**.

Процес переведення об'єкта з непрацездатного в працездатний стан називають **відновленням**, яке може відбуватися при **поточному** або **капітальному ремонті** або при заміні частини, яка відмовила, новою.

За причиною виникнення відмови підрозділяються на **конструкційні, виробничі та експлуатаційні**.

Конструкційні відмови виникають в результаті порушення встановлених норм і (або) правил проектування, наприклад, відмови несучих деталей можуть виникнути через неправильний вибір співвідношення між характеристиками міцності та експлуатаційної навантаженості.

Виробничі (технологічні) відмови пов'язані з порушенням встановленого процесу технології виготовлення або ремонту об'єкта; їх появі можна запобігти шляхом підвищення технологічної дисципліни.

Експлуатаційні відмови з'являються через порушення встановлених правил і умов експлуатації.

Конструктор повинен керуватися інформацією стандартів, що містять вимоги до надійності, які включають в себе забезпечення ймовірності безвідмовної роботи, напрацювання на відмову, середнього часу відновлення працездатності, довговічності, зберігання.

Для побутової РЕЗ основним є показник безвідмовності - *середнє напрацювання на відмову T*. Значення *T* повинні вибиратися з ряду 3400, 3900, 4500, 5500, 6800, 7800, 9150, 11000, 13750, 18000, 27500 годин відповідно до ГОСТ 21317-87 і ГОСТ 23262-88.

Для професійної РЕЗ середнє напрацювання на відмову встановлюється в залежності від умов експлуатації, категорії розміщення, складності апаратури, типу елементної бази (ГОСТ 14663-83).

Конкретні вимоги до надійності для різних типів РЕЗ наведені: для приладів електровимірювальних в ГОСТ 22261-82, апаратури зв'язку в ГОСТ 14663-83, приладів і засобів автоматизації в ГОСТ 12997-84 і ГОСТ 27.003-90, засобів обчислювальної техніки в ГОСТ 21552-84, медичних приладів в ГОСТ 27.003-90, морської апаратури в ГОСТ 25792-85.

4.4 Вимоги з технологічності та уніфікації

Технологічність конструкції виробу (згідно ГОСТ 14.205-83) - сукупність властивостей конструкції виробу, що визначають її пристосованість до досягнення оптимальних витрат при виробництві, технічному обслуговуванні та ремонті для заданих показників якості, обсягу випуску та умов виконання роботи.

До умов виготовлення або ремонту виробу відносяться: тип виробництва, його спеціалізація і організація, річна програма та повторюваність випуску, а також застосовані технологічні процеси.

Стандарти ЄСТПІ передбачають обов'язкове відпрацювання РЕЗ на технологічність на всіх стадіях її створення з метою підвищення продуктивності праці, зниження витрат і часу на проектування, технологічну підготовку виробництва, виготовлення, технічного обслуговування та ремонту при забезпеченні необхідної якості виробів.

Кількісна оцінка технологічності РЕЗ будується на основі системі показників (ГОСТ 14.201-73), яка включає базові показники технологічності, досягнуті при розробці виробу та внесені в стандарти або ТУ.

Розрізняють *виробничу і експлуатаційну технологічність*. Перша проявляється в скороченні витрат при підготовці та виготовленні виробів, друга - в скороченні витрат на обслуговування та ремонт.

При відпрацюванні виробу на технологічність для умов виробництва необхідно враховувати: обсяги випуску та рівень спеціалізації робочих місць, види заготовок і методи їх отримання; види та методи обробки, види та методи складання, монтажу, налагодження, контролю та випробувань, можливість використання типових технологічних процесів, наявного технологічного обладнання та оснащення: можливість механізації та автоматизації процесів виготовлення та технологічної підготовки виробництва; умови матеріально-технічного забезпечення, кваліфікаційний рівень робітників.

При розгляді РЕЗ як об'єкту експлуатації аналізуються умови роботи з апаратурою, зручності обслуговування, ремонту, вимоги техніки безпеки, можливості зберігання та транспортування.

Як відомо, з кількох варіантів конструкції, що виконують однакові функції, оптимальним є тільки один, який і повинен бути прийнятий до розробки. Він використовується в наступних розробках, поки не буде створений новий, більш якісний варіант. Такий принцип покладено в основу стандартизації і створює сприятливі умови для складових стандартизації - *спадковості, повторюваності, типізації та уніфікації* елементів конструкції.

Стандартизація - метод забезпечення єдності якості параметрів масової промислової продукції, зниження трудомісткості її виготовлення шляхом встановлення обов'язкових норм на параметри виробів або виробничі процеси.

Спадковість - це обсяг застосування в новому виробі раніше розроблених і освоєних виробництвом деталей і вузлів. Вона знижує терміни розробки конструкції та вартість підготовки виробництва (за рахунок використання наявного інструменту).

Повторюваність характеризується числом однакових вузлів і деталей у виробі. При цьому спрощується конструкція та вартість її виготовлення.

Типізація - це процес доцільного скорочення різноманіття конструкцій за рахунок створення типових широко застосовуваних деталей і вузлів. Найвищий ступінь типізації - уніфікація.

Уніфікація - це процес скорочення різноманіття типових деталей і вузлів або виробів шляхом об'єднання їх в групи за певними ознаками та функціями. Уніфіковані елементи конструкції дозволяють створювати різні прилади та пристрої на базі вихідних моделей з мінімальними витратами часу та коштів. Це здійснюється шляхом створення уніфікованих рядів функціональних виробів, які схожі за формою та відрізняються між собою параметрами, або розмірами. Ці ряди утворюють відповідно параметричні та розмірні ряди.

Параметричні ряди охоплюють елементи з варіацією параметрів. У таких рядах параметри представляються у вигляді потужності, ємності, опору, коефіцієнта підсилення, кількості певних можливостей цифрового пристрою і т.д.

Ступінь уніфікації оцінюють коефіцієнтом уніфікації:

$$K_v = \frac{N_v}{N}$$

де N_v - кількість уніфікованих деталей,

N - загальна кількість деталей.

Уніфікація конструкцій може проводитися на різних рівнях - окремі параметри, конструктивні елементи, вузли, частини несучих конструкцій, а також цілком окремі блоки та пристрої. На її основі будуються базові несучі конструкції (БНК).

Застосування уніфікації дозволяє значно підвищити рівень виробничої технологічності, особливо для одиничного та дрібносерійного виробництва.

Нормалізація - метод впровадження в межах підприємства, об'єднання або відомства норм, що раціонально обмежують різноманітність типорозмірів конструкції, матеріалів, напівфабрикатів, обробного та вимірювального інструменту та інших норм загального призначення. Документом, який регламентує

обов'язкове застосування будь-яких з норм, є *нормаль*. Нормалі обмежують також і загальні технічні регламенти.

4.5 Вимоги з ергономіки, технічної естетики та техніки безпеки

Зовнішнє середовище, що оточує людину під час роботи з технікою, впливає на організм людини, на його фізіологічні функції, психіку, продуктивність праці.

Проблемами пристосування виробничого середовища до можливостей людського організму займається наука ергономіка.

Ергономіка вивчає систему «людина - знаряддя праці - виробниче середовище» і ставить своїм завданням розробити рекомендації щодо її оптимізації.

Оптимізація цього процесу передбачає поставити людину в найбільш сприятливі умови при виконанні функціональних завдань. Вона включає розробку науково обґрунтованих організаційно-технічних вимог і рішень до знарядь і процесів праці, навколишнього середовища з урахуванням особливостей людини: *фізичних, психофізичних, психологічних та антропометричних*.

Для оцінки якості виробничого середовища використовуються ряд ергономічних показників.

Гігієнічні показники визначають рівень освітленості, температуру, вологість, тиск, запиленість, шум, радіацію, вібрацію та ін.

Антропометричні показники визначають відповідність виробів антропометричним властивостям людини (розміри, форма). Ця група показників повинна забезпечувати раціональну та зручну позу, правильну поставу, оптимальну хватку руки та ін., забезпечувати охорону людини від швидкого стомлення тощо.

Фізіологічні показники визначають відповідність виробу особливостям функціонування органів почуттів людини. Вони впливають на обсяг і швидкість робочих рухів людини, обсяг зорової, слухової, тактильної (дотикальної), смакової та нюхової інформації, що надходить через органи чуття.

Психологічні показники визначають відповідність виробу психологічним особливостям людини. Психологічні показники

характеризують відповідність виробу закріпленим і знову сформованим навичкам людини, можливостям сприйняття і переробки людиною інформації.

Останнім часом все більше уваги приділяється проблемам *естетики сфери праці* і перебудови виробничого середовища на естетичних основах. Важливе значення для поліпшення умов праці має *технічна естетика*.

Технічна естетика передбачає конструювання та експлуатацію обладнання, пристосувань, інструменту та включає:

- *архітектоніку* (урахування форм, пропорцій, гармонійність планування);
- *безпеку і нешкідливість* роботи (огородження небезпечних зон, запобіжні пристрої);
- *виробничий мікроклімат*.

Техніка безпеки - сукупність заходів і правил щодо забезпечення гідного рівня безпеки праці, захисту від виробничих травм підвищує продуктивність праці в цілому. Техніка безпеки спирається на певні вимоги до специфіки діяльності людини, умов праці тощо.

Заходи щодо забезпечення вимог техніки безпеки при конструюванні РЕЗ наведені у ГОСТ12.2.006-87.

4.6 Вимоги із забезпечення електромагнітної сумісності

Надійність і достовірність роботи РЕЗ залежать від їх заводозахисності по відношенню до зовнішніх та внутрішніх випадкових і регулярних перешкод. Від правильного вирішення завдання забезпечення заводозахисності елементів і вузлів РЕЗ залежать як терміни розробки виготовлення та наладки РЕЗ, так і нормальне його функціонування в процесі експлуатації.

Завада - непередбачений при проектуванні РЕЗ зовнішній або внутрішній сигнал, здатний порушити її функціонування. Завади приводять до спотворення аналогової або дискретної інформації у виробі під час її зберігання, перетворення, обробки або передачі.

Оскільки сигнали в РЕЗ мають електричну природу, то при конструюванні необхідно враховувати перешкоди тієї ж природи, як

найбільш ймовірні джерела спотворення інформації. Завадами можуть бути напруги, струми, електростатичні заряди, напруженість поля і ін. Джерела завад різноманітні за фізичною природою і підрозділяються на **внутрішні та зовнішні**.

Внутрішні завади виникають всередині працюючої апаратури. Джерелами електричних завад є, в основному, блоки живлення і струморозгалужуючі ланцюги. Джерелами магнітних завад є трансформатори і дроселі. При наявності пульсації вихідної напруги вторинних джерел електроживлення ланцюгів розподілу електроенергії, тактуючі та синхронізуючі ланцюги слід розглядати як джерела електромагнітних завад. Значні завади створюють електромагніти, електричні двигуни, реле та електромеханічні пристрої. Внутрішніми завадами є також завади від неузгодженості хвильових опорів ліній зв'язку з вхідними та вихідними опорами модулів, які ці лінії з'єднують, а також завади, що виникають на земельних шинах.

Під **зовнішніми завадами** розуміються завади мережі електроживлення, зварювальних апаратів, щіткових двигунів, передавальної радіоелектронної апаратури та ін., а також завади, викликані розрядами статичної електрики та атмосферними явищами. Дія на апаратуру зовнішніх завад за фізичною природою аналогічна дії внутрішніх завад.

Приймачами завад є високочутливі підсилювачі, лінії зв'язку, магнітні елементи. Завади проникають в апаратуру безпосередньо по дротах або провідниках (гальванічні завади), через електричне (ємнісні завади), магнітне (індуктивні завади) або електромагнітне поле. Численні провідники, що входять до складу будь-якої апаратури, можна розглядати як приймально-передавальні антенні пристрої, які приймають або випромінюють електромагнітні поля.

Гальванічний зв'язок виникає в результаті протікання струмів і падіння напруги на електричних з'єднаннях, загальних по ланцюгах живлення. Тому провідники, які об'єднують модулі в єдину систему, повинні бути по можливості короткими, а їх поперечні перерізи можливо великими, що призводить до зменшення активного опору та індуктивності проводів. Радикальним способом усунення гальванічної завади є усунення ланцюгів, за якими проходять спільні струми живлення і землі як чутливих до завад схем, так і порівняно потужних схем.

4.7 Патентно-правові вимоги до конструкторських розробок

В сучасних умовах постійної конкурентної боротьби особливої важливості набуває забезпечення *патентно-правових вимг*, до яких відносяться: *вимоги охороноздатності та патентної чистоти*.

Вимоги охороноздатності. Технічні рішення, в тому числі конструкторські розробки, за певних умов є промисловою власністю з винятковим правом на неї підприємства-розробника з впливаючим з цього економічним і престижним ефектом.

Промислова власність є поняттям міжнародного права. Згідно з нормами цього права, в поняття промислової власності на технічні рішення входять в основному винаходи, промислові зразки і товарні знаки. Патентно-правові вимоги регламентують умови, при яких технічні рішення стають промисловою власністю.

Вимогам охороноздатності відповідає технічне рішення, яке має *новизну, істотні відмінності від інших рішень, корисність і яке юридично оформлене*.

Вважається, що технічне рішення має *новизну*, якщо до дати пріоритету його сутність не стала відомою невизначено широкому колу осіб.

Визнається, що технічне рішення має *істотні відмінності*, якщо в порівнянні з рішеннями, відомими до дати пріоритету, воно характеризується новою сукупністю ознак, що дають позитивний ефект.

Корисністю називають позитивний ефект, який принесе технічне рішення в разі його застосування, причому не один раз, а багато разів, стабільно.

Юридичне оформлення означає оформлення технічного рішення в вигляді *патенту*.

Патент це юридичний документ, що засвідчує визнання технічного рішення винаходом на основі експертизи та фіксує авторство та пріоритет (першість). За характером своєї роботи конструктору часто доводиться оформляти патенти на винаходи, забезпечуючи охороноздатності розробленої конструкції.

Вимоги патентної чистоти. Патентна чистота характеризує непідлягаємість даного технічного рішення під дію патентів тієї країни, де воно використовується.

Патентна чистота є поняттям локальним, тобто визначається тільки щодо конкретних країн і на певну дату.

Дія патенту обмежена за терміном. Закон кожної країни передбачає граничний термін (15 - 20 років), після закінчення якого патент втрачає силу. У ряді країн закон передбачає можливість продовження терміну дії патенту з відповідною публікацією про це.

Залежно від складності, вироби можуть містити від невеликого числа (одиниці - десятки) до значного (сотні) різних технічних рішень, які стосуються об'єкта в цілому або його деталей і складальних одиниць. Однак перевірки на патентну чистоту піддаються тільки головні частини, тобто, завдяки яким виріб набуває якості, не притамані відомим пристроям, і вигідно відрізняють його від виробів аналогічного призначення. Встановлено три групи значущості: **особливо важлива, основна і допоміжна**. Залежно від приналежності до тієї чи іншої групи значущості кожна частина конструкції набуває відповідний коефіцієнт вагомості.

Обидві групи властивостей (охороноздатності і патентна чистота) виявляються поза прямим зв'язком один з одним. Об'єкт може бути патенточистим, але не охороноздатним, коли його особливості описані в технічній літературі, відкрито застосовувалися або свого часу були захищені патентами, що вже втратили дію. Об'єкт може бути охороноздатним, але не патенточистим, якщо частина його особливостей підпадає під дію чийось патентів, а інші особливості мають істотну новизну.

Промисловою власністю є також **промислові зразки та товарні знаки**.

До **промислового зразку** відносять особливості зовнішнього вигляду виробу: його форму, елементи зовнішнього оформлення, що надають виробу естетичні особливості та переваги і відрізняються новизною і оригінальністю. Охороні підлягають зовнішні, видимі в готовому виробі риси, якщо вони є результатом самостійної творчої розробки.

Порушенням патенту на промисловий зразок вважається випуск в продаж контрафактних виробів - таких, які можуть бути не цілком ідентичними зареєстрованому зразку, проте справляють на

споживача враження аналогією з цим зразком і тим самим можуть ввести в оману щодо виробника даного виробу.

Під **товарними знаками** розуміють позначення, що поміщаються на виробах з метою відрізнити товари одного підприємства-виробника від однорідних товарів інших підприємств. Товарний знак відноситься до виробу в цілому, а не до його частин. Помістивши товарний знак на виріб, виробник бере на себе відповідальність за якість виробу в цілому, включаючи покупні комплектуючі вироби, напівфабрикати і матеріали, що входять до нього.

Розглянуті патентно-правові вимоги заповнюються в патентному формулярі, складання якого обов'язково при розробці конструкції виробу.

4.8 Комплексна оцінка якості РЕЗ

При порівнянні якості конструкції за деякими параметрами, як правило, не вдається отримати її об'єктивну оцінку. Формальне використання параметрів при порівнянні може створити невірну уяву про якість конструкції. Наприклад, різниця тільки у вартості не дозволяє судити про якість виробів без аналізу їх функціональних характеристик.

На практиці порівняння якості варіантів конструкції виробів проводять на основі комплексних (інтегральних) показників, які формуються з окремих (диференціальних) параметрів.

Для комплексної оцінки якості РЕМ використовують два методи:

- підсумок нормованих диференціальних показників якості з урахуванням їх вагових коефіцієнтів;
- використання аналітичних співвідношень, що зв'язують групи диференціальних показників.

Оптимальний варіант конструкції визначається за мінімальною величиною комплексного показника якості:

$$Q_j = \sum \varphi_i \alpha_{ij}^*$$

де j - номер варіанта конструкції,

φ_i - вагові коефіцієнти, що визначають значущість параметрів конструкції,
 α_{ij}^* - нормовані значення параметрів конструкції.

Найчастіше використовується вид нормування, що дає діапазон значень нормованих величин $|1,0|$:

- для показників, зі збільшенням яких якість підвищується:

$$\alpha_i^* = (\alpha_{i\max} - \alpha_i) / \alpha_{i\max};$$

- для показників, зі зменшенням яких якість підвищується:

$$\alpha_i^* = (\alpha_i - \alpha_{i\min}) / \alpha_i,$$

де $\alpha_{i\max}$ і $\alpha_{i\min}$ - максимальне і мінімальне значення параметра α_i для порівнюваних варіантів конструкції.

При великій кількості порівнюваних варіантів конструкції нормування зручно проводити за формулою:

$$\alpha_i^* = (\alpha_i - \alpha_{i\min}) / (\alpha_{i\max} - \alpha_{i\min}).$$

Для вибору вагових коефіцієнтів може використовуватися один з наступних методів:

- директивний;
- статистичний;
- вартісний;
- аналітичний;
- евристичний.

До *директивної групи* відносяться всі випадки, коли вагові коефіцієнти призначаються замовником, організацією і т.п.

Статистичні методи знаходження вагових коефіцієнтів можуть бути застосовані при досить великому досвіді проектування систем аналогічного призначення. За ваговий коефіцієнт приймається ступінь наближення значення і-го показника до еталону. Це значення обчислюється як середнє арифметичне при обробці великої кількості варіантів готових виробів.

При використанні *вартісного методу* вважається, що ваговий коефіцієнт є монотонно зростаючою функцією від аргументу C , що виражає грошові або трудові витрати для отримання і-ї властивості, тобто:

$$\varphi_i = C_i / \sum C_i.$$

Однак труднощі диференціювання витрат на кожен показник ускладнюють використання такого підходу.

До *аналітичних* відносяться методи, для яких не потрібно ніякої додаткової інформації до того, що міститься в самих значеннях показників і допустимих галузей їх застосування.

В даний час найбільшого поширення знайшли *евристичні методи*. Вони пов'язані з урахуванням думок груп фахівців (експертів), тобто це способи прийняття рішень, що використовують узагальнений людський досвід.

5 ОРГАНІЗАЦІЯ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РОБІТ

5.1 Стадії конструювання

Введемо поняття *життєвого циклу виробів*.

В життєвому циклі виробу можна виділити два періоди.

Перший - протягом якого здійснюється розробка нової продукції. Другий - протягом якого нова продукція освоюється, виробляється та реалізується до припинення випуску і утилізації.

До *першого періоду життєвого циклу виробу* входить повний комплекс робіт зі створення нової техніки:

5.1.1 Науково-дослідна розробка (НДР). На цій стадії проходять перевірку нові ідеї та винаходи. Теоретичні передумови вирішення наукових проблем перевіряються в ході дослідно-експериментальних робіт.

5.1.2 Дослідно-конструкторська розробка (ДКР). На цій стадії ідеї і рішення, що виникають в процесі НДР, реалізуються в технічній документації і дослідних зразках.

5.1.3 Конструкторська підготовка виробництва (КПВ). На даному етапі здійснюється проектування нового виробу, розробляються робочі креслення і технічна документація.

5.1.4 Технологічна підготовка виробництва (ТПВ). Тут розробляються та перевіряються нові технологічні процеси, проектується та виготовляється технологічне оснащення для виробництва виробів.

5.1.5 Організаційна підготовка виробництва (ОПВ). На цій стадії вибираються методи переходу на випуск нової продукції, проводяться розрахунки потреби в матеріалах і комплектуючих, визначається тривалість виробничого циклу виготовлення виробу, розміри партій та ін.

5.1.6 Відпрацювання виробу в дослідному виробництві (ВДВ). Тут освоюється випуск дослідного зразка (дослідної партії), проводиться налагодження нових технологічних процесів.

Другий період життєвого циклу включає освоєння виробу в серійному виробництві (ОСВ). На цій стадії виникають конструкторські зміни, зміни у технологічних процесах та рівні оснащеності виробництва спеціальними видами оснащення та обладнання.

Завершальним етапом життєвого циклу є експлуатація нової продукції, коли вона використовується відповідно до її призначення та приносить економічний ефект. Цей період обмежений тим, що будь-яка продукція з моменту її появи забезпечує соціально-економічний ефект до певного часу, після якого вона морально старіє. Завершується життєвий цикл будь-якого виробу *утилізацією*.

Стадії першого етапу життєвого циклу - процесу проектування нового виробу - регламентовані у ГОСТ 2.103-68 "Стадії проектирования". Цей ГОСТ передбачає 5 основних стадій проектування.

Технічна пропозиція - сукупність конструкторських документів, які повинні містити технічні та техніко-економічні обґрунтування доцільності розробки документації виробу на підставі аналізу технічного завдання замовника та різних варіантів можливих рішень виробів, порівняльної оцінки рішень з урахуванням конструктивних і експлуатаційних особливостей розроблюваного та існуючих виробів і патентні дослідження.

Технічна пропозиція після узгодження і затвердження в установленому порядку є підставою для розробки *ескізного (технічного) проекту*. Обсяг робіт - згідно з ГОСТ 2.118-73.

Ескізний проект - сукупність конструкторських документів, які повинні містити принципові конструктивні рішення, що дають загальне уявлення про будову та принцип роботи виробу, а також дані, що визначають призначення, основні параметри та габаритні розміри розроблюваного виробу.

Ескізний проект після узгодження і затвердження в установленому порядку служить підставою для розробки *технічного проекту або робочої конструкторської документації*. Обсяг робіт - згідно з ГОСТ 2.119-73.

Технічний проект - сукупність конструкторських документів, які повинні містити остаточні технічні рішення, дають повне уявлення про пристрій розроблюваного виробу, і вихідні дані для розробки робочої документації.

Технічний проект після узгодження і затвердження в установленій ном порядку служить підставою для *розробки робочої конструкторської документації*. Обсяг робіт - згідно з ГОСТ 2.120-73.

Стадії розробки та роботи, що виконується на цих стадіях згідно ГОСТ 2.103-68, наведені у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Стадії розробки конструкторської документації та етапи виконання робіт

Стадії розробки	Етапи виконання робіт
1	2
Технічна пропозиція	Підбір матеріалів. Розробка технічної пропозиції з присвоєнням документам літери "П". Розгляд та затвердження технічної пропозиції.
Ескізний проект	Розробка ескізного проекту з присвоєнням документам літери "Е". Виготовлення та випробування макетів. Розгляд та затвердження ескізного проекту.
Технічний проект	Розробка технічного проекту з присвоєнням документам літери "Т". Виготовлення та випробування макетів.. Розгляд та затвердження технічного проекту.
Робоча конструкторська документація:	
а) дослідного зразка (дослідної партії) виробу, призначеного для серійного (масового) або одиничного виробництва	Розробка конструкторської документації, призначеної для виготовлення та випробування дослідного зразка (дослідної партії), без присвоєння літери. Виготовлення та попередні випробування дослідного зразка (дослідної партії).

Продовження табл..5.1

1	2
	<p>Коригування конструкторської документації за результатами виготовлення і попередніх випробувань дослідного зразка (дослідної партії) з присвоєнням документам літери "О". Приймальні випробування дослідного зразка (дослідної партія). Коригування конструкторської документації за результатами приймальних випробувань дослідного зразка (дослідної партії) з присвоєнням документам літери "О1". При необхідности коригування конструкторських документів з присвоєнням їм літери "О2".</p>
б) серійне (масове) виробництво	<p>Виготовлення та випробування установчої серії за документацією з літерою "О1" (або "О2"). Коригування конструкторської документації за результатами виготовлення і випробування установчої серії, а також оснащення технологічного процесу виготовлення виробу, з присвоєнням конструкторським документам літери "А". При необхідности коригування документів з присвоєнням їм літери "Б".</p>

Робчим конструкторським документам виробів одиничного виробництва, призначеним для разового виготовлення, привласнюють літеру "Г".

5.2 Види конструкторської документації

Конструкторські документи (КД) - графічні та текстові документи, які по окремоті або в сукупності визначають склад і

побудову виробу і містять усі необхідні дані для його виготовлення, контролю, прийому, експлуатації, ремонту, утилізації.

За формою КД поділяють на **графічні та текстові**.

Графічні конструкторські документи - документи, в яких за допомогою символів і правил пояснюються пристрій, принцип дії, склад та зв'язки між окремими частинами виробу. До них відносять:

- креслення деталі - зображення деталі для її виготовлення і контролю;

- складальне креслення (СК) - зображення складальних одиниць і інших деталей, необхідних для складання та контролю;

- креслення загального вигляду (ВЗ) - зображення конструкції виробу, що дає уявлення про взаємодію його основних частин і принцип роботи;

- теоретичне креслення (ТК) - геометрична форма виробу та координати розташування його основних частин;

- габаритне креслення (ГК) - спрощене контурне зображення виробу з габаритними, установочними та приєднувальними розмірами;

- монтажне креслення - спрощене контурне зображення виробу, що містить дані для його установки (монтаже);

- електромонтажне креслення (ЕМ) - дані для електричного монтажу виробу;

- встановче креслення (ВК) - дані для установки виробу;

- схема - складові частини виробу у вигляді умовних зображень або позначень і зв'язків між ними;

- специфікація - склад складальної одиниці, комплексу або комплекту.

Текстові конструкторські документи - документи, містять опис пристрою, принципу його дії і експлуатаційні показники. До них відносять:

- відомість специфікацій (ВС) - перелік всіх специфікацій складових частин виробу із зазначенням їх кількості та входимості;

- відомість посилань (ВП) - перелік довідкових документів, на які є посилання в конструкторських документах виробу;

- відомість покупних виробів (ВП);

- відомість погодження застосування виробів (ВІ) - підтвержене узгодження з відповідними організаціями застосування певних покупних виробів;
- відомість власників оригіналів (ВО) - перелік підприємств, на яких зберігаються оригінали документів, що застосуються в даному виробі;
- відомість технічної пропозиції (ВТ);
- відомість ескізного проекту (ЕП);
- відомість технічного проекту (ТП);
- пояснювальна записка (ПЗ) - до пропозицій, звітів, проектів та ін.;
- технічні умови (ТУ) - вимоги до виробу, його виготовлення, контролю якості, приймання та постачання;
- програма і методика випробувань (ПМ);
- розрахунок (РР) - розрахунки параметрів і величин (теплого режиму та ін.);
- таблиця (ТБ) - дані, зведені в таблицю;
- експлуатаційні документи - для експлуатації та обслуговування;
- ремонтні документи - для проведення ремонтних робіт;
- інструкція (І) - вказівки та правила виготовлення (регулювання, контроль і т. п.);
- патентний формуляр (ПФ).

Існує поняття *основного конструкторського документу*.

Особливу групу документів становить КД на програмне забезпечення. Правила складання програмної документації встановлюється єдиною системою програмної документації (ЕСПД).

Для неспецифікованих виробів (деталей) основним конструкторським документом є креслення деталі.

Для усіх специфікованих виробів (складальних одиниць, комплексів, комплектів) основним конструкторським документом є специфікація.

За способом виконання та характером використання КД підрозділяється на:

- оригінали - документи, виконані на будь-якому матеріалі та призначені для виготовлення по ним першотворів;

- першотвори - документи, оформлені зі справжніми підписами та виконані на будь-якому матеріалі, що дозволяє багаторазове відтворення з них копій;
- дублікати - документи, ідентичні оригіналу та виконані на будь-якому матеріалі, що дозволяє зняття з них копій;
- копії - документи, виконані способом, що забезпечує їх ідентичність з оригіналом (дублікатом), і призначені для безпосереднього використання при розробці, виготовлені, ремонті та експлуатації виробів;
- проектні КД - документи, виконані на етапах технічної пропозиції, ескізного і технічного проектів;
- робочі КД - документи, виконані на етапі випуску робочої документації.

Особливості РЕЗ як окремого, самостійного класу продукції привели до створення деяких специфічних конструкторських документів: схем алгоритмів; діаграм часових і мікропрограмної логіки; таблиць сигналів, ідентифікаторів сигналів, перевірки параметрів та ін.

Види КД, що найчастіше розробляються при проектуванні РЕЗ, наведені у табл. 5.2.

5.3 Деякі загальні вимоги до виконання конструкторської КД

5.3.1 Вимоги до виконання графічної КД

Основні вимоги до виконання конструкторських графічних документів встановлені у стандартах системи ЄСКД. Вони включають: вибір формату креслення і масштабів зображення, правила проставляння розмірів і введення позначень, виконання креслень різних видів виробів і побудову специфікацій.

Основними форматами прийнято:

- А4 (розміри сторін 297x210);
- А3 (297x420);
- А2 (594x420);
- А1 (594x841);

– А0 (1189x841).

Таблиця 5.2 - Види КД для виробів РЕЗ

Вид конструкторського документу	Шифр
Складальне креслення	СК
Креслення загального виду	ВЗ
Теоретичне креслення	ТК
Габаритне креслення	ГК
Монтажне креслення	МК
Схема електрична структурна	Е1
Схема електрична функціональна	Е2
Схема електрична принципова	Е3
Схема електрична з'єднань	Е4
Схема електрична підключень	Е5
Схема електрична загальна	Е6
Схема електрична розташування	Е7
Креслення електромонтажне	МЕ
Специфікація	-
Таблиця з'єднань	ТБ
Таблиця сигналів	ТБ
Схема розпаювання	Д1
Таблиці	ТБ
Розрахунки	РР

У графічній КД дозволяються:

- масштаби зменшення (1: 2, 1: 2,5; 1: 4, 1: 5; 1:10; 1:15; 1:20; 1:25; 1:40; 1: 50; 1:75; 1: 100; 1: 200; 1: 400; 1: 500; 1: 800; 1: 1000)
- масштаби збільшення (2: 1; 2,5: 1; 4: 1; 5: 1; 10: 1; 20: 1; 40: 1; 50: 1; 100: 1).

Основні правила нанесення розмірів і граничних відхилень на кресленнях:

- загальна кількість розмірів на кресленні має бути мінімальною, але достатньою для виготовлення і контролю виробу;
- розміри, зазначені для зручності користування, називають довідковими та відзначають знаком «*» з вказівкою у технічних вимогах «Розміри для довідок»;

- лінійні розміри та їх допустимі відхилення вказують на кресленнях у міліметрах без позначення одиниці виміру;
- при позначенні розмірів прості дроби не застосовують, за винятком розмірів у дюймах;
- повторення розмірів одного і того ж елемента виробу на різних видах не допускаються;
- нанесення розмірів у вигляді замкнутого розмірного ланцюга не допускається;
- при вказівці радіусу перед розмірним числом проставляють прописну букву R, при вказуванні розміру діаметра - знак Ø;
- граничні відхилення розмірів вказують після номінальних значень.

5.3.2 Вимоги до виконання текстової КД

Для розміщення підписів ствердження та узгодження у текстовій КД рекомендується складати один або кілька титульних аркушів.

Зміст текстової КД розбивають на розділи та підрозділи, при великому обсязі - на частини. Розділи повинні мати порядкові номери арабськими цифрами в межах усього документа. Підрозділи в межах кожного розділу повинні мати складові номери через точку, перша частина яких - номер розділу, а друга - номер підрозділу. У межах підрозділу допускається розбивати текст на пункти та підпункти з аналогічним через точку продовженням нумерації.

Зміст рекомендується розташовувати на початку, а список літератури та документації в кінці. Якщо в документі була прийнята специфічна термінологія, то повинен бути перелік прийнятих термінів. Скорочення слів в тексті та під ілюстраціями не допускається - окрім офіційно затверджених.

5.3.3 Вимоги до схем

Схема - графічна конструкторська документація, на якій у вигляді умовних зображень або позначень показані складові частини виробу та зв'язки між ними.

Схеми є вихідним базисом для подальшого конструювання окремих частин і всього виробу в цілому.

За видом елементів, що входять до складу виробу, зв'язків між ними та призначення схеми підрозділяють на види та типи.

При проектуванні РЕЗ використовуються схеми виду "електрична" с позначенням **E**, для яких існує 8 типів.

Структурні схеми (E1) визначають основний склад виробу та його функціональні частини, їх призначення і взаємозв'язки. Структурні схеми використовують як для побудови схем інших типів, так і для загального ознайомлення з виробом.

Функціональні схеми (E2) пояснюють процеси, що відбуваються в окремих функціональних вузлах і частинах виробу або у виробі в цілому. Функціональними схемами користуються для побудови принципів схем, вивчення принципу роботи виробу, а також під час його налагоджування, ремонту і експлуатації.

Принципові схеми (E3) визначають повний склад елементів, зв'язків між ними, дають детальне уявлення про принцип роботи виробу. На основі принципів схем розробляють такі конструкторські документи, як схеми з'єднань (монтажні), креслення конструктивних елементів, вузлів, пристроїв.

Схеми з'єднань (E4) показують з'єднання складових частин виробу і визначають дроти, джгути, кабелі та інші з'єднувальні вироби, а також місця їх приєднання та введення. Схеми з'єднання використовують при розробці конструкторських графічних і текстових документів, а також при ремонті та експлуатації виробу.

Схеми підключень (E5) показують зовнішні підключення виробу. Схеми підключення використовують під час монтажу виробу на місці експлуатації, а також при його ремонті.

Загальні схеми (E6) визначають складові частини комплексу і з'єднання їх між собою на місці експлуатації.

Схеми розташування (E7) встановлюють взаємне розташування окремих складових частин комплексу, а при необхідності і джгутів, проводів, кабелів і т. ін. Схемами розташування користуються при установці і експлуатації виробу.

Складові частини схем:

– **елемент схеми** - складова частина схеми, яка не може бути розділена на частини, що мають самостійне значення (мікросхема, резистор, трансформатор та ін.);

– **пристрій** - сукупність елементів, що представляє єдину конструкцію (блок, модуль); пристрій може не мати конкретного функціонального призначення;

– **функціональна група** - сукупність елементів, що виконують певну функцію і не об'єднані в єдину конструкцію;

– **функціональна частина** - елемент, пристрій або функціональна група, що має строго певне функціональне призначення;

– **функціональний ланцюг** - лінія, канал на схемі, що вказують на наявність зв'язку між функціональними частинами виробу;

– **лінія взаємозв'язку** - відрізок лінії на схемі, що вказує на наявність зв'язку між функціональними частинами виробу;

– **лінія електричного зв'язку** - лінія на схемі, яка вказує шлях проходження струму, сигналу і ін.

При проектуванні схем слід дотримуватися правил, викладених у відповідних стандартах ЄСКД. У яких встановлюються умовні графічні позначення елементів схем, вимоги до викреслювання зв'язків між елементами, правила розміщення різних технічних даних на умовних графічних позначеннях та ін..

6 КОНСТРУЮВАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

6.1 Конструкції друкованих плат (ДП)

Друкована плата є одним із основних компонентів РЕЗ.

Згідно з визначенням, *друкована плата* являє собою пластину або панель, що складається з одного або двох провідних рисунків, розташованих на поверхні діелектричної основи, або з системи провідних рисунків, розташованих в об'ємі та на поверхні діелектричної основи, з'єднаних між собою відповідно до схеми електричної принципової, призначену для електричного з'єднання і механічного кріплення встановлюваних на неї виробів електронної техніки, квантової електроніки та електротехнічних виробів - пасивних і активних електронних компонентів.

Найпростішою друкованою платою є плата, яка містить мідні провідники (тобто провідний рисунок) тільки на одній зі сторін основи. Такі плати називаються *одношаровими або одnobічними друкованими платами (ОДП)*.

На сьогоднішній день найбільш поширеними є друковані плати, які мають два провідних шари, тобто, містять провідний рисунок, розташований з обох боків плати - *двобічні (двошарові) друковані плати (ДДП)*. Для з'єднання провідників між шарами використовуються наскрізні монтажні та перехідні металізовані отвори.

Проте, в залежності від фізичної складності конструкції друкованої плати, коли розводка провідників на двобічній платі стає занадто складною, використовуються *багатошарові друковані плати (БДП)*, де провідний рисунок формується не тільки на двох зовнішніх боках плати, а й у внутрішніх шарах діелектрика. Залежно від складності, багатошарові друковані плати можуть бути виготовлені з 4, 6, ... 24 або більше шарів.

6.2 Матеріали друкованих плат

Матеріали, які використовують для виготовлення друкованих плат, повинні мати високі електроізолюючі властивості та достатню механічну міцність. Для виготовлення друкованих плат

використовують фольговані та нефольговані листові діелектричні матеріали. Найширше використовують фольговані діелектрики - склотекстоліт та гетинакс фольгований марок СФ та ГФ відповідно.

Приклад матеріалу для двобічної друкованої плати: СФ-2-50-1,5 ГОСТ 10316-78 (склотекстоліт фольгований, фольга з двох боків, товщина фольги - 50 мкм, товщина платини 1,5 мм).

Гетинакс дешевший за склотекстоліт, але він здатен розтріскуватися, розшаровуватись під час механічної обробки, в нього нижча тепло- та вологостійкість, гірші частотні властивості.

Також основою друкованих плат може служити металева основа, покрита діелектриком (наприклад, анодований алюміній), поверх діелектрика наноситься мідна фольга доріжок. Такі друковані плати застосовуються в силовій електроніці для ефективного відводу тепла від електронних компонентів. При цьому металева основа плати кріпиться до радіатора.

Як матеріал для друкованих плат, що працюють в діапазоні СВЧ і при температурах до $+260^{\circ}\text{C}$, застосовується фторопласт, армований склотканиною (наприклад, ФАФ-4Д), і кераміка.

Гнучкі плати роблять з поліамідних матеріалів, таких як каптон.

Для багат шарових друкованих плат використовують стандартний склотекстоліти типу FR4, високотемпературний FR4 High Tg або FR5. При вимогах до постійної роботи на високих температурах або при різких перепадах температур застосовується поліімід. Крім того, поліімід використовують для виготовлення плат підвищеної надійності, для військової промисловості, а також у випадках, коли потрібна підвищена електрична міцність.

6.3 Процес проектування друкованих плат

Процес проектування ДП передбачає виконання ряду взаємопов'язаних операцій: вибір типорозміру плати, способу її кріплення, кількості шарів, топологічне конструювання, розробку топології плати.

Топологічне конструювання ДП включає в себе розміщення ЕРЕ на робочій площі ДП і трасування з'єднань між контактними площинками. Вибір розмірів і виду плати (ОДП, ДДП або БДП) може

проводитися як до процесу конструювання, виходячи з міркувань уніфікації в межах пристрою, так і в його процесі за проміжними результатами розробки топології плати, а також виходячи з освоєного на підприємстві технологічного процесу.

При розміщенні ЕРЕ виходять найчастіше з критерію двох мінімумів: мінімуму перетинів і мінімуму довжини зв'язків. Перша умова означає і мінімум перехідних отворів, що забезпечує технологічність з мінімуму кількості шарів, друга умова означає максимум зв'язків між сусідніми елементами. Можливо також застосування й інших критеріїв: мінімуму кількості з'єднань, довжина яких більше заданої; максимум кількості ланцюгів простої конфігурації; мінімум сумарної зваженої довжини з'єднань тощо.

Розміщення ЕРЕ на платі регламентується умовною координатної сіткою з двох взаємно перпендикулярних систем паралельних ліній, розташованих на однаковій відстані одна від одної. Це відстань - крок координатної сітки - встановлюється рівною 1,25 або 2,5 мм. Дві взаємно перпендикулярні лінії координатної сітки з точкою перетину в лівому нижньому кутку креслення плати використовують як осі координат, а точку їх перетину (вузол координатної сітки) - як початок або базу координат. В окремих конструктивно виправданих випадках можливе застосування не прямокутної, а полярної системи координат з розміщенням початку координат в центрі умовного вписаного або описаного кола.

Робоча площа ДП, або зона розташування посадочних місць на ДП, дорівнює загальній площі ДП за винятком площі крайового поля - вільної смуги уздовж периметра ДП, що передбачається для технологічних цілей і не займається рисунком, навісними елементами та з'єднувачами.

Розмір крайового поля з боку з'єднувача становить 15...30 мм в залежності від типу та кількості контактів роз'єму, в інших місцях ширина крайового поля визначається конструкцією ДП і друкованого модуля в цілому і повинна бути не менше товщини плати; для плат товщиною менше 1 мм крайове поле повинно бути не менше 1 мм.

Центри монтажних отворів і контактних площинок під висновки навісних ЕРЕ розташовують у вузлах координатної сітки. Якщо крок розташування висновків многовиводних елемента не збігається з кроком координатної сітки, то в вузол міститься щонайменше один з отворів, що приймається за основний, а решта

розташовуються відповідно до конструкції елемента (по можливості на лініях координатної сітки).

Навісні елементи мають виводи прямокутного або круглого перетину. Діаметр отвору під вивід вибирають з умови отримання зазору між виводом і стінкою отвори, що забезпечує капілярне проникнення припою в процесі пайки (він дорівнює 0,1...0,4 мм). Допускається використання монтажних, перехідних і металізованих отворів з ряду: 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 2,0; 2,1; 2,2; 2,4; 2,5; 2,6; 2,7; 2,8; 3,0 мм.

В результаті розрахунків ДП визначають розміри елементів провідного рисунку: номінальні значення діаметрів монтажних отворів, мінімальні діаметри контактних площинок, мінімальні відстані для прокладки заданої кількості провідників між двома отворами та ін.

Прив'язка контактних груп та інших стандартних зображень до координатної сітки робочої площі ДП на кресленні здійснюється за допомогою опорної позиції (ключа) - спеціального конструктивного елемента на корпусі ЕРЕ; контактна площинка, призначена для першого виводу багатовивідних елементів, повинна відрізнитися за формою від інших.

Друковані провідники розташовуються рівномірно за робочою площею плати на максимально можливій відстані від сусідніх елементів друкованого рисунку плати з урахуванням дотримання таких вимог: паралельно лініям координатної сітки або під кутом 45° , паралельно напрямку руху хвилі припою або під кутом до нього не більше 30° з боку пайки, якщо друкований рисунок не покривається захисною маскою.

Друковані провідники виконують однаковою максимально можливою шириною за всією довжиною. У вузьких місцях можливо звуження провідників до мінімального значення; таке звуження повинно відбуватися на можливо меншій довжині. При прокладанні провідників шириною 0,25 мм і менше передбачають місцеві розширення провідників у вигляді контактної площадки будь-якої форми площею не менше 1 мм^2 . Відстань між розширеннями або між розширенням і металізованим отвором (контактною площадкою) має бути не менше 100 мм.

При конструюванні ДП допускається використання навісних перемичок в разі неможливості реалізації зв'язків схеми друкованими

провідниками, але кількість цих перемичок за можливості не повинна перевищувати 5% кількості зв'язків.

Допускається також застосування об'ємних екранованих провідників, коли їх кількість зазначено в технічному завданні на розробку.

Процес технологічного конструювання ДП є в загальному випадку процесом поступового наближення до результату - розміщення навісних елементів і трасування з'єднань багаторазово коригуються в пошуку найкращого рішення. Істотне підвищення продуктивності праці при конструюванні ДП досягається при застосуванні систем автоматизованого проектування (САПР).

Креслення друкованих плат виконують відповідно до ОСТ 4.010.019-81 та ГОСТ 2.417-91.

На кресленні ДП розміри повинні вказуватися одним із таких способів:

- нанесенням координатної сітки в прямокутній системі координат;
- нанесенням координатної сітки в полярній системі координат;
- комбінованим способом за допомогою розмірних ліній і координатної сітки в прямокутній або полярній системі координат.

При завданні розмірів нанесенням координатної сітки, лінії сітки повинні нумеруватися. Крок нумерації визначається конструктивно з урахуванням насиченості і масштабу зображення.

Координатну сітку слід наносити або на все поле креслення, або на зображену поверхню ДП, або на частину поверхні ДП, або рисками за периметром контуру ДП. При цьому риси наносяться або за контуром, або на деякій відстані від контуру ДП.

Крок координатної сітки обирається рівним 1,25 або 2,5 мм. За нуль в прямокутній системі координат на головному вді ДП слід приймати:

- центр крайнього лівого нижнього отвору, що знаходиться на полі плати, в тому числі і технологічного;
- лівий нижній кут ДП;
- ліву нижню точку, утворену лініями побудови.

На кресленнях круглих ДП за нуль в прямокутній системі координат допускається приймати центр ДП.

Координатну сітку в полярній системі координат застосовують для креслень ДП з певною послідовністю розташування повторюваних провідників з радіальною симетрією. Крок координатної сітки задають за кутом і діаметром.

Межі незайнятих (заборонених) ділянок позначають потовщеною штрихпунктирною лінією.

Круглі отвори, що мають зенковку, і круглі контактні площадки з круглим отвором (в тому числі і з зенковкой) слід зображати одним колом, їх форму і розміри слід визначати на полі креслення. Провідники зображуються однією лінією, яка є віссю симетрії провідника, при цьому на кресленні слід вказувати числове значення ширини провідника. При необхідності вказівки способу виготовлення ДП його слід записувати першим пунктом технічних вимог креслення. Інші вимоги слід групувати та записувати в послідовності, відповідній зазначеній в ГОСТ2.316-68.

6.4 Сучасні компоненти для установки на друкованих платах

6.4.1 Основні варіанти конструкцій вузлів, що встановлюються на ДП

Відомі два основні варіанти конструкцій вузлів на ДП:

- з використанням монтажних отворів на ДП для установки компонентів, що мають виводи (традиційний монтаж);
- з установкою компонентів на поверхні ДП без застосування монтажних отворів (поверхневий монтаж).

На практиці зустрічається кілька різних варіацій конструкцій вузлів, серед яких можна виділити характерні групи (рис. 6.1):

- тип I - на двох сторонах плати розміщуються тільки поверхнево-монтажні компоненти, тип пайки з обох боків - оплавлення дозовано нанесеною припойною пастою;
- тип II - з використанням на лицьовому боці поверхнево-монтажних і вивідних компонентів, що встановлюються в отвори, на зворотному боці розміщуються тільки пасивні чіп-компоненти, зворотна сторона паяється хвилею припою;

– тип III - на лицьовому боці тільки вивідні компоненти, на зворотному - тільки пасивні чіп-компоненти, вся плата паяється хвилею припою.

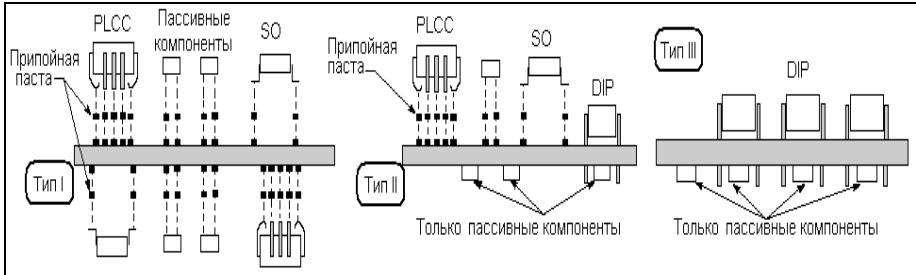


Рисунок 6.1 - Варіанти установкт компонентів на друковану плату

В залежності від конструкції корпусу компонента і форми виводів можна виділити три основні групи компонентів.

6.4.2 Поверхнево-монтавані компоненти

Поверхнево-монтавані компоненти (surface mount component - SMC або surface mount device - SMD). До цієї групи належать пасивні компоненти (резистори, конденсатори, індуктивності) в корпусах, які не мають виводів (0805, 0603, MELF), ІМ та інші напівпровідникові прилади в базових технологічних корпусах SO, PLCC, OFP, BGA, TAB, flip-chip, COB, DCA, а також компоненти, аналогічні за виконанням.

Компоненти з виводами (Pin Through Hole - PTH або Through Hole Assembly - THA). Група включає традиційні пасивні та активні компоненти з осьовими (аксіальними) та радіальними виводами, а також інтегральні схеми в корпусах типу DIP (Dual in-line Package).

Нестандартні компоненти (Odd Form Component - OFC). До цієї групи належать вивідні компоненти, які не увійшли у другу групу, і включають в себе з'єднувачі, роз'єми, трансформатори, колодки, власники, екрани і т.д. Група є найдинамічнішою, оскільки зусиллями виробників ряд нестандартних компонентів або стають поверхнево-монтажними, або переходять в категорію стандартних аксіально-радіальних.

Пасивні компоненти для поверхневого монтажу

виготовляються в двох модифікаціях: у вигляді циліндра (тип MELF - Metal Electrode Face bonding) і чіпа (паралелепіеда).

Зовнішній вигляд чіп-резистора для поверхневого монтажу наведено на рис. 6.2. Його конструкція являє собою прямокутний паралелепіед з металізованими бічними поверхнями, які грають роль зовнішніх виводів і використовуються для пайки. На поверхню керамічної підкладки наноситься методами толстоплівкової технології резистивна плівка, яка і виконує функції резистора.

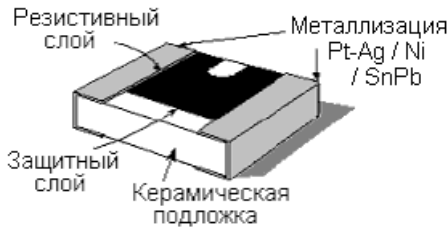


Рисунок 6.2 - Конструкція чіп-резистора для поверхневого монтажу

Стандартне позначення пасивних чіп-компонентів складається з 4 цифр, що несуть інформацію про розмір компонента, наприклад: 0402 - довжина компонента 4 мілідюйма, ширина 2 мілідюйма. Для більшості пасивних компонентів прийнята дюймова система позначення їх корпусів. Загальносвітове споживання чіп-компонентів швидко зростає. Основна тенденція - зменшення розмірів, проте прогрес в цьому напрямку поступово сповільнюється через збільшення вартості компонента зі зменшенням його розміру, а також через втрату коефіцієнта відтворюваності багатьох складальних систем при переході, наприклад, від чіпів 0402 до 0201.

Керамічні чіп-конденсатори представляють собою структуру з діелектричних шарів кераміки та металевих плівок, що замикаються на бічні висновки-електроди. Зовні вони мало відрізняються від чіп-резисторів. Через багат шарової структури керамічні конденсатори сприйнятливі до теплового удару, тому швидкість попереднього нагрівання при пайку не повинна перевищувати 2 °C /с, а різниця температур між конденсатором і ванною з розплавленим припоєм не повинна перевищувати 100 °C.

Приблизно в такому ж вигляді виготовляються і інші компоненти: індуктивності, танталові конденсатори, а також деякі типи діодів. Велика різноманітність видів і номіналів компонентів при невеликому розходженні конструкцій їх корпусів має найважливіше значення, оскільки дозволяє використовувати уніфіковане обладнання для установки компонентів на поверхню ДП.

6.4.3 Інтегральні компоненти

Значно більша різноманітність конструкцій корпусів спостерігається у мікросхем. Можна виділити 4 типи корпусів:

- з вертикальними виводами, розташованими перпендикулярно площині корпусу ІМ (DIP, PGA);
- з плоскими виводами, що виходять паралельно корпусу ІМ (Flat Pack - SO, PLCC, QFP, TAB);
- з безвивідним корпусом (металізація контактних майданчиків на бічних стінках корпусу - LCCC);
- з кульковими виводами на нижній площині корпусу (BGA - Ball Grid Array, flip-chip).

Конструкція корпусів ІМ першої групи (рис. 6.3) характерна для традиційного монтажу, оскільки вимагає наявності на платі отворів, в які мікросхема запаюється, або встановлюваних панелей, в які мікросхема вставляється без пайки.

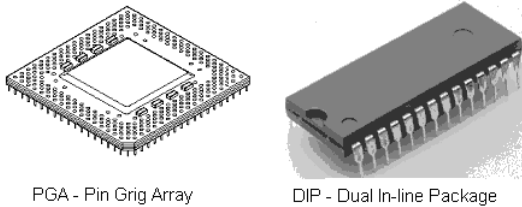


Рисунок 6.3 - Конструкції мікросхем в корпусах першої групи

Корпуси DIP виготовляються з кроком виводів 2,5 мм, кількістю виводів від 16 до 64, масою від 1 до 12 г.

Корпуси PGA застосовуються для мікропроцесорів і ІМ високого ступеня інтеграції. Як правило, вони досить дорогі та встановлюються в установчі панелі (socket). Крок між виводами не менше 2,5 мм, їх кількість від 68 до 387. На корпусі можуть

розташовуватися пасивні чіп-компоненти для розв'язки електричних кіл. Корпуси PGA виготовляються з кераміки або пластмаси та використовуються, як правило, з примусовим охолодженням (вентилятор на верхній кришці). При великій кількості виводів мікросхеми мають істотні масо-габаритні показники (маса до 84 г, розміри до 66x66 мм).

Друга група корпусів (рис. 6.4) - найпоширеніша, має багато підвидів.

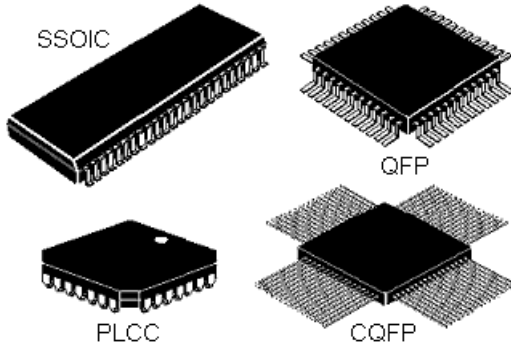


Рисунок 6.4 - Конструкції мікросхем в корпусах другої групи

Існує два різновиди групи.

Власне FP - прямокутна або квадратна пласка упаковка (QFP). Виводи розташовані з двох або чотирьох сторін, їх кількість - від 6 до 304, крок - від 1,27 мм до 0,25 мм, габарити корпусу на платі (довжина і ширина) - від 5x5 мм (32 виведення при кроці 0,5 мм) до 40x40 мм (304 виводи, крок 0,5 мм).

Для QFP процес нанесення пасти припою методами трафаретного друку на контактні площинки ПП залишається найкритичнішим процесом, що викликає зниження коефіцієнтів відтворюваності складальної системи. Це призводить до ускладнення щодо простих автоматичних верстатів для трафаретного друку, оскільки в таких автоматах не обійтися без автоматичного оптичного контролю кількості та якості нанесення пасти припою.

TAB (Tape Automated Bonding, або TCP - Tape Carrier Package) - в технології TAB кремнієві кристали кріпляться до полімерної стрічки, на яку нанесені металеві плівкові провідники, що формують внутрішні з'єднання виводів кристала. Приєднання виводів чіпа до

збірки наступного рівня (друкованої плати) досягається за допомогою зовнішніх виводів полімерної стрічки. Для з'єднання зовнішніх виводів ТАВ з підкладкою зазвичай використовуються методи контактного паяння, паяння гарячим газом або лазерного мікрозварювання. Збірка дуже компактна, висота не перевищує 0,75 мм. 320-вивідний корпус з кроком виводів 0,25 мм важить не більше 0,5 г і має габарити 24x24 мм. Для порівняння: 296-вивідний пластиковий QFP корпус важить 9,45 м. Технологія ТАВ освоєна обмеженим колом провідних технологічних фірм світу.

Третій тип корпусів - LCCC (безвивідні керамічні або пластикові кристалоносії, рис. 6.5).

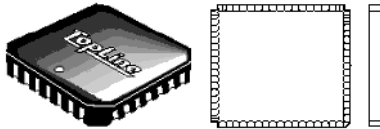


Рисунок 6.5 - Конструкції мікросхем в корпусах третьої групи

Виконується корпус із пластику або кераміки. Кількість виводів - від 5 до 84. Крок виводів від 1,27 мм до 0,5 мм. Відсутність виводів дозволяє збільшити щільність компонування вузлів. Дещо більш ускладнений контроль паяних з'єднань корпусу з контактними площинками ДП, оскільки частина паяного з'єднання знаходиться під корпусом мікросхеми. Крім того, для корпусів великих розмірів актуальними стають дефекти паяних з'єднань, викликані втомним руйнуванням металу припою через термоциклування в процесі експлуатації виробу.

Четвертий тип корпусів для ІМ (рис. 6.6) - компоненти **BGA** (Ball Grid Array - кулькові висновки з матричним розташуванням) і технологія CSP (Chip-Scale Packages), фліп-чіп (flip chip).

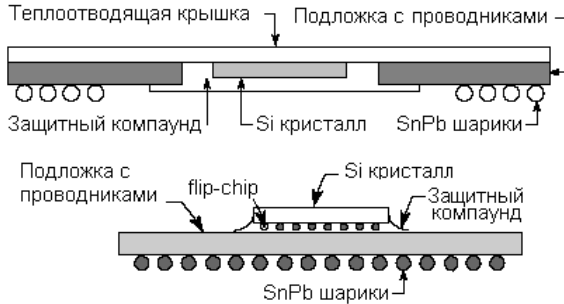


Рисунок 6.6 - Конструкції мікросхем в корпусах типу BGA

Відмінною рисою корпусів є наявність контактів на нижній площині корпусу у вигляді кулькових виводів. Така конструкція корпусу дозволила збільшити крок виводів, і для більшості корпусів він становить 1,0 або 1,27 мм, що спрощує розведення провідників на ДП. Кількість виводів корпусу від 36 до 2401, при цьому габарити від 7x7 до 50x50 мм. Висота корпусу не перевищує 3,5 мм. Крім того, кулькові виводи на основі SnPb сплаву дали дивовижне послаблення технологам при виконанні операцій установки корпусу на плату: неточність попадання виводів на контактну площадку ДП може становити до 50%. завдяки тому, що при оплавленні пастами припою на контактних площадках під час паяння за рахунок сил поверхневого натягу розплавленого припою відбувається самоцентрування корпусу мікросхеми.

Недоліком корпусів типу BGA є ускладнений контроль операції паяння і ремонт вузлів. Для контролю з'єднань BGA в вузлі використовуються найчастіше рентгенівське обладнання. В останні роки інфраструктура BGA розвивалася стрімко, і зараз відомо багато видів цього типорозміру, включаючи пластикові, керамічні, металеві, і інші, а також мікро-BGA, що нагадують собою відкриті кристали. BGA краще там, де кількість каналів вводу / виводу ІС перевищує 256.

CSP зазвичай визначається як компонент, розміром не більше ніж на 20% перевищує розмір самого кристала (рис. 6.7).



Рисунок 6.7 - Конструкції мікросхем в корпусах типу CSP

Першочерговими областями застосування цих компонентів є мікросхеми пам'яті (особливо флеш), аналого-цифрові перетворювачі, процесори цифрової обробки сигналу, а також мікросхеми спеціального застосування (ASIC) і мікропроцесори.

Технологія фліп-чіп являє собою Si-кристал, що безпосередньо встановлюється на комутаційну підкладку вузла (наприклад, ДП) лицьовим боком вниз, на якій виконані зовнішні контакти у вигляді припойних кульок з більш тугоплавкого сплаву, ніж SnPb. Через те, що виводи формуються на кремнієвому кристалі мікросхеми, крок виводів є дуже малим і становить 0,152 мм, що призводить до ускладнення ДП.

Переваги технології:

- економія місця на ДП;
- малі габарити та вага вузла з такими компонентами;
- зниження вартості матеріалів (у кристала немає корпусу);
- скорочення довжини електричних з'єднань, що забезпечує найкращі електричні параметри;
- менша кількість з'єднань, що скорочує кількість потенційних точок відмовита і забезпечує більш ефективне відведення тепла.

Технологія популярна в останні роки, але має і свої недоліки:

- дорожняча технології формування кулькових виводів у кристала;
- надзвичайно щільна розводка плати під посадочне місце для фліп-чіпа, що призводить до підвищення витрат на виготовлення плати;
- більший обсяг роботи технологів з оптимального вибору флюсуєчих речовин і адгезивів в залежності від виду фліп-чіпа, підкладки та процесу;

– труднощі контролю якості в технології фліп-чіпів, а також ремонту плат з їх застосуванням.

6.4.4 Нестандатні та вивідні компоненти

Автоматизація складання плат із нестандартними компонентами є дорогою через їх малу кількість на платі і велику різноманітність типів конструкцій. Однак останніми роками автоматизація процесів, пов'язаних з нестандартними компонентами, розвивається досить активно, що приносить виробникам електронних модулів істотні переваги. Швидко розвивається інфраструктура підтримки даного напрямку технології. Розробляються нові типи корпусів, близькі за формами до стандартних, які здатні витримувати високі температури при пайці оплавленням припойними пастами. Останнім часом електронна промисловість світу швидко рухається до встановлення єдиних стандартів складально-монтажних технологій при використанні нестандартних компонентів.

Складально-монтажні технологічні процеси із застосуванням традиційних вивідних компонентів стояли біля витоків автоматизації складання вузлів РЕА. У свою чергу, зародження технології поверхневого монтажу та її бурхливе зростання в 80-90-і роки породили думку про те, що компоненти з традиційними виводами доживають свій вік. Однак технологія складання вивідних компонентів вистояла перед поверхневим монтажем, показавши себе досить конкурентоспроможною за рядом найважливіших факторів.

Інфраструктура технології монтажу в отвори набагато простіша та ефективніша, ніж технології монтажу на поверхню. Це призводить до того, що в розвиненому виробництві галузевого технічного забезпечення складальні процеси завжди починають з технології вивідних компонентів, що вигідно і з економічних причин, оскільки електронні вироби спеціального призначення в кращому випадку є малосерійними з переважною застосуванням вивідних компонентів.

У сучасній технології складання вивідних компонентів можна відзначити наступні тенденції:

– вона розвивається в тих галузях, де відчувається брак інвестицій, де низька вартість робочої сили, і де кваліфікація

операторів, обслуговуючого персоналу та технологів знаходиться в стані розвитку;

– в ряді випадків повністю відсутні компоненти для поверхневого монтажу, або вони занадто дорогі. Це силові пристрої (регулятори напруги, транзистори, діоди, резистори), а також ряд електролітичних конденсаторів, потенціометрів, індуктивностей, реле і оптоелектронних пристроїв.

Провідні виробники обладнання для складально-монтажних процесів в технології вивідних компонентів бачать своїм головним завданням у найближчому майбутньому значне поліпшення технології складання та розробки машин і систем нового покоління.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 ГОСТи системи ЕСКД з правил виконання КД
- 2 ОСТ 4 ГО.000.058 Конструкторская документация. Выполнение спецификаций.
- 3 ОСТ 4.010.019 Платы печатные. Конструирование.
- 4 ОСТ 4.010.030-81 Установка навесных элементов на печатные платы.
- 5 ГОСТ 12.2.006-83 ССБТ Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Требования безопасности и методы испытаний.
- 6 ГОСТ 11478-88 Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Технические требования и методы испытаний в части механических и климатических воздействий.
- 7 ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнение для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.
- 8 ГОСТ 16019-2001. Аппаратура сухопутной подвижной радиосвязи. Требования по стойкости к воздействию механических и климатических факторов и методы испытаний.
- 9 ГОСТ 21552-84 Средства вычислительной техники. Общие технические требования, приемка, методы испытаний, маркировка, упаковка, транспортирование и хранение.
- 10 Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры. / Е.М. Парфенов, Э.Н. Камышная, В.П. Усачев. М.: Радио и связь, 1989
- 11 Практическое пособие по учебному конструированию РЭА. / В.Т. Белинский, В.П. Гондюл, А.Б. Грозин и др. под ред. проф. К.Б. Круковского-Синевица. Киев.: Вища школа, 1992
- 12 Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов / К.И. Билибин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева и др., Под общ. ред. В.А. Шахнова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. - 568 с.
- 13 Основы конструирования и технологии производства РЭС: Учебное пособие / Е.И. Кротова; Яросл. гос. ун-т им. П.Г. Демидова. - Ярославль: ЯрГУ, 2013. - 192 с.
- 14 Ненашев А.П. Конструирование радиоэлектронных средств. Учебник для радиотехнических спец. вузов. М.: Высш. шк., 1990. - 458 с.

15 Справочник конструктора РЭА: Общие принципы конструирования. Под ред. Р.Г. Варламова. М.: Сов.радио, 1990. - 522 с.