

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет "Запорізька політехніка"**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**до лабораторних робіт**  
**з дисципліни**

"Проектування телекомунікаційних та радіотехнічних систем",  
цикл 1 "Захист від дестабілізуючих факторів"  
для студентів спеціальності 172 "Телекомунікації та  
радіотехніка" освітніх програм "Радіоелектронні апарати та засоби",  
"Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки"  
усіх форм навчання

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Проектування телекомунікаційних та радіотехнічних систем", цикл 1 "Захист від дестабілізуючих факторів" для студентів спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка" освітніх програм "Радіоелектронні апарати та засоби", "Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки" усіх форм навчання / Уклад. : Ірина ПОСПЕСВА, Олександр МАЛИЙ, Олександр ПРОЖЕНКО. – Запоріжжя : НУЗП, 2023. – 71 с.

Укладачі: Ірина ПОСПЕСВА, ст. викладач;  
Олександр МАЛИЙ, к.т.н., доц.  
Олександр ПРОЖЕНКО, асистент

Рецензент: Наталія ФУРМАНОВА, канд. техн. наук, доцент;

Відповідальний за випуск: Микола ЄФИМЕНКО, д.т.н, зав. каф.  
ІТЕЗ

Затверджено  
на засіданні кафедри ІТЕЗ  
протокол № 8 від 01.06.23 р.

Рекомендовано до видання  
НМК ФРЕТ  
протокол № 7 від 02.06.23 р.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
Загальні відомості.....	5
Вміст лабораторних робіт та порядок їх виконання .....	6
1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НОРМАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ .....	8
1.1 Теоретична частина.....	8
1.1.1 Вплив температури на працездатність РЕЗ. Поняття нормального теплового режиму .....	8
1.1.2 Вимоги захисту РЕЗ від температурних впливів .....	9
1.1.3 Механізми теплообміну.....	11
1.1.4 Заходи щодо забезпечення нормального теплового режиму РЕЗ.....	15
1.2 Контрольні питання.....	22
1.3 Порядок виконання роботи .....	23
1.4 Зміст звіту.....	23
2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. ЗАХИСТ ВІД ВПЛИВУ ВОЛОГИ.....	24
2.1 Теоретична частина.....	24
2.1.1 Джерела та шляхи проникнення вологи в РЕЗ.....	24
2.1.2 Взаємодія вологи із матеріалами конструкцій РЕЗ	25
2.1.3 Вплив підвищеної вологості на працездатність РЕЗ .....	26
2.1.4 Вплив пилу на працездатність РЕЗ.....	28
2.1.5 Способи герметизації РЕЗ .....	29
2.1.6 Захист від корозії .....	38
2.2 Контрольні питання.....	42
2.3 Порядок виконання роботи .....	43
2.4 Зміст звіту.....	44
3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. ЗАХИСТ ВІД МЕХАНІЧНИХ ВПЛИВІВ .....	45
3.1 Теоретична частина.....	45
3.1.1 Види механічних впливів на РЕЗ та їхні джерела. Характеристики динамічних впливів.....	45
3.1.2 Результати впливу механічних чинників на працездатність РЕЗ .....	48

3.1.3 Вимоги до захисту РЕЗ від механічних впливів в залежності від умов експлуатації .....	50
3.1.4 Захист РЕЗ від впливу вібрацій .....	50
3.1.5 Захист РЕЗ від впливу ударів, лінійних прискорень та акустичних шумів .....	57
3.1.6 Способи підвищення міцності й жорсткості компонентів та вузлів конструкцій .....	60
3.1.7 Захист від механічних впливів друкованих плат ....	64
3.1.8 Захист від механічних впливів складальних одиниць та виробу в цілому. Стопоріння.....	64
3.1.9 Захист РЕЗ при транспортуванні .....	66
3.2 Контрольні питання.....	69
3.3 Порядок виконання роботи .....	69
3.4 Зміст звіту.....	70
ЛІТЕРАТУРА .....	71

## ВСТУП

### Загальні відомості

Сучасні телекомунікаційні системи та радіоелектронні засоби (РЕЗ), які місять електронні схеми, багатогранно взаємодіють із своїм оточенням. Щоб створити життєздатну конструкцію, інженеру необхідно враховувати й тримати в поле зору величезну кількість умов, обмежень, параметрів, показників якості. Часто вимоги, обмеження, умови бувають суперечливі, несумісні. Наприклад, вимоги з надійності можуть вступити в протиріччя з вимогами з вартості, а обмеження за габаритами і масою конструкції можуть входити в суперечність з вимогами з ремонтпридатності й забезпеченню нормального теплового режиму і т. ін. інженер-конструктор повинен знати способи і засоби рішення складних і суперечливих технічних задач, накопичувати і поповнювати "особисту бібліотеку" сучасних технічних рішень. Системний аналіз існуючих виробів допоможе студентам самостійно знаходити й аналізувати засоби досягнення поставлених цілей, давати оцінку їхньої ефективності й доцільності. Цінність даного комплексу робіт полягає також у тому, що студенти, аналізуючи існуючі конструкції, самостійно "розпредмечують знання", закладені в реальних конструкціях, виробляють у собі навички аналізу, уміння виділяти протиріччя і відшукувати засоби для їх усунення, що, безумовно, сприяє їх професійному становленню і росту.

У процесі проєктування РЕЗ інженер-конструктор неминуче зіштовхується з проблемою вибору остаточного варіанта рішення. Цей етап є обов'язковою частиною при ухваленні нового рішення і полягає в аналізі альтернативних варіантів на відповідність визначеним критеріям і виборі оптимального. Критерії вибору відбивають сукупність найбільш істотних ознак, за якими можна виділити оптимальний варіант серед безлічі можливих. Ці критерії задаються в технічному завданні (ТЗ) на проєктування у вигляді вимог і обмежень.

Вимоги, пропоновані до конструкції РЕЗ, визначаються її призначенням, областю застосування, умовами експлуатації, типом виробництва і підрозділяються на наступні групи:

– вимоги до показників призначення РЕЗ, безпосередньо пов'язані з функціональним призначенням розроблювального виробу;

- вимоги з надійності РЕЗ, що оцінюються кількісними показниками (основним є наробіток на відмову);

- вимоги, пов'язані з захистом виробу від дестабілізуючих факторів, основними в цій групі, є вимоги стійкості апаратури до механічних і кліматичних впливів, забезпечення електромагнітної сумісності й стійкості до індустриальних радіоперешкод;

- вимоги до технологічності виробу, що включають у себе виробничу й експлуатаційну технологічність;

- вимоги, пов'язані з експлуатацією виробу людиною, що включають у себе вимоги естетики, ергономіки, техніки безпеки.

Рішення, що дозволяють реалізувати окремі вимоги, бувають найчастіше суперечливими. Традиційний шлях розрешення протиріч – компромісний – полягає у тому, що із сукупності вимог шляхом їх ранжирування виділяються найбільш значимі, інші не приймаються до уваги. Цей шлях, звичайно, не може привести до оптимального варіанта рішення.

В даний час розроблені методики, що дозволяють відшукати оптимальні варіанти рішення шляхом усунення технічних протиріч.

### **Вміст лабораторних робіт та порядок їх виконання**

**Мета робіт:** вивчити традиційні методи забезпечення технічних вимог до РЕЗ; навчитися аналізувати вироби середньої складності на відповідність вимогам забезпечення захисту від дестабілізуючих факторів (захист від теплових, механічних впливів, вологості), а також вимогам забезпечення виробничої й експлуатаційної технологічності (виробнича технологічність, ремонтпридатність, вимоги ергономіки та технічної естетики).

Лабораторні роботи поділені на два цикли.

До *першого циклу* відносяться роботи з аналізу виробів на відповідність вимогам забезпечення захисту від дестабілізуючих факторів (захист від теплових, механічних впливів, вологості) – лабораторні роботи 1, 2, 3.

До *другого циклу* відносяться роботи з аналізу виробів на відповідність вимогам забезпечення виробничої й експлуатаційної технологічності (виробнича технологічність, ремонтпридатність, вимоги ергономіки та технічної естетики) – лабораторні роботи 4, 5, 6.

При виконанні робіт академічна група розбивається на бригади по 2–3 особи. Кожна бригада виконує послідовно всі роботи відповідно до графіка.

У процесі виконання кожної роботи студенти складають один звіт на бригаду. Звіт виконується на аркушах формату А4 із титульним листом, на якому повинні бути зазначені: тема роботи, прізвища членів бригади, що виконували дану роботу, прізвище викладача, що прийняв роботу.

Захист кожної роботи відбувається у вигляді співбесіди з викладачем кожним студентом індивідуально.

# 1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НОРМАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ

## 1.1 Теоретична частина

### 1.1.1 Вплив температури на працездатність РЕЗ. Поняття нормального теплового режиму

Зазвичай компоненти РЕЗ функціонують у строго обмеженому температурному діапазоні. Відхід температури за зазначені межі може привести до незворотніх структурних змін компонентів.

Але у процесі виробництва, зберігання та експлуатації РЕЗ можуть піддаватися впливу *підвищених* та *знижених температур*, обумовлених впливом навколишнього середовища, об'єкта установки та тепловиділенням самого РЕЗ. Наприклад, на наземних рухомих об'єктах діапазон зміни температури, де можуть бути встановлені РЕЗ, досягає  $-60 \dots +60^{\circ}\text{C}$ .

*Підвищена температура* може викликати:

- міграцію домішок в напівпровідниках, що призводить до теплового пробою;
- втрату магнітних властивостей ферромагнетиків;
- зміну електричних характеристик електрорадіокомпонентів;
- деформацію деталей з різними температурними коефіцієнтами розширення;
- зниження діелектричних властивостей матеріалів;
- збільшення струмів витоку;
- зниження пробивної напруги;
- прискорення корозії матеріалів конструкції, контактів;
- пересихання захисних покриттів з деформацією або розтріскуванням.

*Знижена температура* викликає:

- конденсацію вологи;
- зміну електричних характеристик електрорадіокомпонентів;
- деформацію сполучених деталей;
- затвердіння та розтріскування гумових деталей;
- підвищення крихкості матеріалів.

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

Розходження в коефіцієнтах лінійного розширення при термоударі можуть привести до руйнування залитих смолами конструкцій і, як наслідок, порушенню електричних з'єднань, зміні характеру посадок, ослабленню кріплень і т.ін.

Усі ці явища можуть привести до перекручування сигналів до рівня, при якому нормальне функціонування РЕЗ стає неможливим, або повному виходу з ладу окремих елементів та усього виробу в цілому. Але оскільки діапазон робочих температур не завжди задовольняє припустимим нормам на виріб, то при конструюванні необхідно вирішувати задачу захисту всього виробу чи його складових частин від неприпустимих температурних впливів, тобто, забезпечувати **нормальний тепловий режим**.

**Нормальним тепловим режимом РЕЗ** називають такий режим, коли при зміні у визначених межах зовнішніх температурних впливів забезпечується зміна параметрів і характеристик конструкції, схем, компонентів, матеріалів у межах, зазначених у ТУ.

### **1.1.2 Вимоги захисту РЕЗ від температурних впливів**

В залежності від характеру температурних впливів до РЕЗ пред'являються вимоги **холодостійкості, теплостійкості та стійкості до перепаду температур** (термоудару).

**Холодостійкість** характеризує властивість апаратури зберігати здатність функціонувати у штатному режимі за умов зниженої температури навколишнього середовища.

Для забезпечення холодостійкості застосовують морозостійкі матеріали (наприклад, звичайна гума, як відомо, зберігає свої властивості тільки в діапазоні температур від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+55^{\circ}\text{C}$ . У разі потреби забезпечити морозостійкість апаратури вибирають спеціальну гуму, кремнійорганічного типу, таку, що не втрачає еластичності за температур до  $-100^{\circ}\text{C}$ ).

Крім того, апаратуру обладнують засобами повітряного підігріву, що запобігає замерзанню елементів апаратури і попереджує обмерзання. За умов холодного клімату апаратуру слід розмішувати в укриттях, добре захищених від безпосередньої дії снігу, дощу та вітру.

У разі застосування в апаратурі радіоелектронних компонентів, для нормальної роботи яких необхідно забезпечити постійну температуру навколишнього середовища (кварцові стабілізатори, контури задавальної частоти тощо), застосовують *термостабілізацію* таких елементів, тобто, *захист від термоудару*.

В окремих випадках застосовують *термостат* – пристрій, який має певний внутрішній об'єм з автоматично підтримуваною заданою температурою. Цей спосіб забезпечує високу стабільність параметрів схеми. Регулювання температури усередині термостата здійснюють термоелементами, які управляють схемою підігріву внутрішнього об'єму.

Для запобігання механічних порушень з'єднань жорсткі механічні зв'язки слід здійснювати однорідними матеріалами для забезпечення мінімальної різниці їхніх температурних коефіцієнтів розширення.

Як правило, у РЕЗ із усієї споживаної від джерел живлення електроенергії лише незначна частина її перетворюється в енергію корисного сигналу, а інша перетворюється в теплову і розсіюється в навколишнє середовище. Завдяки цьому джерелами підвищених температур при експлуатації РЕЗ є, крім зовнішнього середовища, елементи самої системи. Тому найбільш важливою є задача захисту від впливів підвищених температур, тобто забезпечення теплостійкості.

Оскільки ККД РЕЗ завжди менше 100% (наприклад, для підсилювача на транзисторах він становить від 50% до 60%), то під час роботи він є джерелом теплоти. Якщо цю енергію не розсіювати в елементах конструкції або навколишньому просторі, то підвищується температура РЕЗ, порушується його нормальний режим функціонування або настає відмова. Саме тому найбільш критичним з кліматичних чинників є вплив *підвищеної температури*, а забезпечення нормального теплового режиму – однією з найважливіших задач при проектуванні РЕЗ.

*Теплостійкість* характеризує властивість апаратури зберігати здатність функціонувати у штатному режимі за умов підвищеної температури навколишнього середовища. Для забезпечення теплостійкості необхідно в першу чергу використовувати теплостійкі матеріали з високою теплопровідністю.

Серед елементів, що входять у РЕЗ, можна виділити *теплонанвантажені чи тепловиділяючі* (тобто такі, при

функціонуванні яких виділяється тепло) і **термокритичні** (тобто такі, для яких верхня межа припустимої температури порівняно невисока). Особливу увагу слід приділяти тим елементам, що є одночасно тепловиділяючими і термокритичними (міцні транзистори, тиристори, деякі типи мікросхем).

### 1.1.3 Механізми теплообміну

Основним шляхом забезпечення нормального теплового режиму при впливі підвищених температур є відведення теплової енергії від електрорадіокомпонентів та елементів конструкції, що є критичними до цього впливу.

Перенос тепла від нагрітих елементів до холодних здійснюється за рахунок трьох механізмів: **теплопровідності (кондукції), теплового випромінювання і теплової конвекції**.

Процес передачі теплоти за рахунок **теплопровідності (кондукції)** характерний для твердих тіл і полягає у обміні кінетичною енергією на атомно-молекулярному рівні.

Процес описується законом Фур'є, згідно з яким тепловий потік через плоску стенку  $\Phi$  (Вт), спрямований від гарячої ( $T_2$ , К) до холодної ( $T_1$ , К) поверхні, прямо пропорційний її площі  $S$  ( $\text{м}^2$ ) та різниці температур й обернено пропорційний товщині стінки  $d$  (м):

$$\Phi = \lambda \cdot \frac{T_2 - T_1}{d} \cdot S \quad (1.1)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності матеріала стінки (Вт/м К).

Значення коефіцієнту теплопровідності деяких конструкційних матеріалів наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Значення коефіцієнту теплопровідності конструкційних матеріалів

Матеріал	Теплопровідність $\lambda$ , Вт / м К	
	від	до
1	2	3
Алюміній, Al	230	236
Сплав Д16	116	169
Сплав Ал2	145	160
Мідь, Cu	354	393
Латунь ЛС-59	110	200

Продовження табл. 1.1

1	2	3
Латунь Л62	106	200
Бронза БрМЦ-5	94	127
Залізо, Fe	75	95
Сталь 08кп	35	51
Сталь 45	30	43
Золото, Au	310	318
Срібло, Ag	420	429
Кремній, Si	120	130
Германій, Ge	52	58
Ковар	17	21
Резистивні плівки	68	74
Полікор	25	38
BeO	205	211
MgO	236	242
Сплав 22ХС	18	20
Полістірол удароміцний	0,012	0,015
Склотекстоліт	0,369	0,372
Ебоніт	0,159	0,163

*Теплове випромінювання* являє собою передачу теплової енергії у вигляді електромагнітних коливань від випромінюючого тіла з температурою  $T_2$  до поглинаючого тіла з температурою  $T_1$  ( $T_2 > T_1$ ) в середовищі, прозорому для даного діапазону хвиль.

Для абсолютно чорного тіла, нагрітого до температури  $T$ , енергетична світимість  $E$  (Вт/м<sup>2</sup>) визначається за законом Стефана-Больцмана:

$$E_0 = \sigma \cdot T^4 \quad (1.2)$$

де  $\sigma$  – стала Стефана-Больцмана,  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>

Для будь-якого реального (сірого) тіла закон Стефана-Больцмана приймає вигляд:

$$E = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4 \quad (1.3)$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт чорноти.

Коефіцієнт чорноти знаходиться у межах від 0 до 1 та залежить від стану поверхні, що випромінює.

Найбільше значення коефіцієнта чорноти мають грубі шорсткі поверхні та поверхні, вкриті матовими емаллями й лаками.

Найменше значення коефіцієнта чорноти мають дзеркальні та поліровані поверхні.

Значення коефіцієнтів чорноти деяких поверхонь наведені у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Значення коефіцієнтів чорноти для деяких поверхонь

<b>Матеріал</b>	<b>Коефіцієнт чорноти</b>
Алюміній полірований	0,039
Алюміній шорсткий	0,055
Сталь полірована	0,520
Сталь окислена	0,800
Золото поліроване	0,018
Латунна пластина з природною поверхнею	0,060
Латунна пластина окислена	0,610
Мідь полірована	0,018
Мідь окислена	0,570
Нікелева проволочка	0,096
Олово лужене	0,043
Срібло поліроване	0,020
Асбест	0,960
Бумага	0,924
Вода	0,950
Кварц шорсткий	0,932
Резина тверда	0,945
Резина м'яка	0,859
Скло гладке	0,937
Фарфор глазурований	0,924
Лаки емалеві глянцеві різних кольорів	0,875
Лаки емалеві матові різних кольорів	0,960
Фарби масляні різних кольорів	0,920
Пластмаси різні	0,910

**Теплопередача конвекцією** має місце в середовищі газу чи рідини, що рухається вздовж нагрітої поверхні твердого тіла.

Процес конвективного теплообміну описується законом Ньютона-Ріхмана:

$$\Phi = \alpha \cdot (T - T_c) \cdot S \quad (1.4)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі, Вт / (м<sup>2</sup> К);  
 $T$  – температура поверхні тіла, що охолоджується;  
 $T_c$  – температура потоку рідини.

В залежності від матеріалу потоку розрізняють **повітряну, газову** та **рідинну** конвекцію. Рідинна конвекція, особливо з застосуванням матеріалів з високою теплопровідністю, дозволяє відводити значні теплові потужності, але її конструктивна реалізація досить складна.

Найпростішою з точки зору конструктивної реалізації є повітряна конвекція, але її ефективність значно менша.

В залежності від способу створення потоку розрізняють **конвекцію вільну (природну)** і **примусову**.

**Вільна конвекція** має місце при нагріванні часток середовища, що знаходяться в безпосередньому контакті з нагрітим тілом, їх природному переміщенні нагору в силу зміни щільності середовища й заміні холоднішими, у результаті чого відбувається безупинне перемішування середовища.

**Примусова конвекція** відбувається за рахунок примусового руху середовища за допомогою технічних засобів (вентиляторів, нагнітачів тощо).

В залежності від характеристик потоку розрізняють **ламінальний, перехідний** та **турбулентний** потік.

Для **ламінарного** потоку характерні порівняно невеликі швидкості руху рідини (при вільній конвекції та примусовій з невеликими потужностями нагнітача) та досить спокійний рух, коли струмені потоку ріхуються паралельно один до одного.

Для **турбулентного** потоку характерні високу швидкості та хаотичний рух з завихреннями та циркуляцією окремих струменів.

Незважаючи на значні швидкості, турбулентний потік за деяких умов (особливо при переході від одного типу потоку до іншого) може

бути менш ефективним за рахунок того, що вихрі можуть обтікати одну й ту саму ділянку поверхні декілька разів.

#### **1.1.4 Заходи щодо забезпечення нормального теплового режиму РЕЗ**

У процесі переносу теплової енергії у РЕЗ беруть участь усі три механізми теплопередачі. В залежності від конкретних режимів роботи й умов експлуатації відносний внесок кожного з видів теплопередачі в загальному балансі може істотно відрізнятися.

##### **1.1.4.1 Кондуктивне охолодження**

Зі збільшенням щільності компонування РЕЗ більша частка теплоти видаляється *кондукцією*, тобто, передачею теплової енергії від нагрітого елемента до елемента з меншою температурою за рахунок теплопровідності. Для покращення умов відведення теплоти від тепловиділяючих елементів у конструкції застосовують теплові роз'єми, тепловідвідні шини, друковані плати на металевій основі і т.ін.

Для підвищення ефективності теплообміну за рахунок теплопровідності слід:

- збільшувати площу теплопровідної поверхні;
- зменшувати шлях передачі теплоти;
- використовувати матеріали з високою теплопровідністю.

Для збільшення площі теплопровідної поверхні *електрорадіокомпонентів* та *вузлів* РЕЗ найчастіше застосовують різні види радіаторів. Теплота передається від поверхні охолоджуваного елемента до поверхні радіатора і поширюється за тілом радіатора і його поверхнею за рахунок теплопровідності і далі в навколишнє середовище – за рахунок конвекції й випромінювання.

Основні вимоги до радіаторів: висока теплопровідність матеріалу, велика площа поверхні при порівняно невеликому співвідношенні габаритних розмірів і займаному об'ємі.

Найбільш розповсюдженими видами радіаторів є:

- *пластинчасті* – у вигляді пластин, кутових, Т– та П – подібних профілів;
- *ребристі* (однобічні й двобічні);
- *штирові* й *голчасті*.

Конструкції радіаторів різних типів наведені на рис. 1.1.

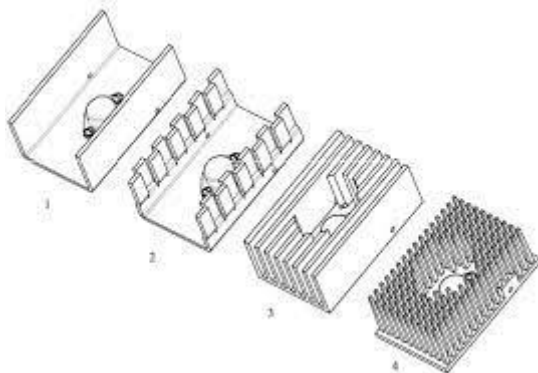


Рисунок 1.1 – Конструкції радіаторів охолодження РЕЗ

**Пластинчасті** радіатори мають найменшу площу охолоджуваної поверхні, а якщо її підвищувати, невиправдано збільшуються габарити радіатора, а разом з цим також довжина теплових шляхів від нагрітої зони до віддалених боків радіатора, що стикаються з оточуючим середовищем, віддаючи теплову енергію за рахунок конвекції та випромінювання. Однак вони найпростіші у виготовленні – виготовляються з листового матеріалу штампуванням.

Пластинчасті радіатори застосовуються, якщо треба відводити порівняно невеликі теплові потужності.

**Ребристі** радіатори більш ефективні в порівнянні з пластинчастими, однак складніші у виготовленні. В умовах серійного виробництва вони зазвичай виготовляються методом лиття під тиском; у дрібносерійному та одиничному виробництві – механічною обробкою (фрезеруванням).

**Штирові** й **голчасті** радіатори найефективніші, але й найскладніші у виготовленні; вони виготовляються за допомогою лиття під тиском.

Слід зазначити, що ефективність ребристих та штирових радіаторів максимальна при конвекційному теплообміні. При випромінюванні ж внутрішні поверхні ребер і штирів віддають теплоту не в навколишнє середовище, а на сусідні поверхні, й не виконують функцію збільшення охолоджуваної поверхні; у зв'язку з цим висота ребра для ребристого радіатора та штиря для штир'яного не повинна перевищувати 32 мм.

Однак, враховуючи, що частка тепла, яка розсіюється випромінюванням, значна лише при високих температурах (кілька сотень градусів за Цельсієм), при відносно низьких температурах роботи РЕЗ (не більше 100°C) нею можна знехтувати.

Як було відмічено вище, для виготовлення радіаторів слід застосовувати матеріали з високою теплопровідністю. Крім того, важливими критеріями є низька питома вага та технологічність виготовлення.

Серед конструкційних матеріалів найбільшу теплопровідність мають мідь та алюміній, але густина міді приблизно у три рази більша за густину алюмінію, тому у якості матеріала для радіаторів використовуються сплави з алюмінію: деформовані марок АД, АМ, АД16, або ливарні марок АЛ2, АЛ9 тощо. Іноді у якості матеріала радіатора застосовують магнієві сплави марок МА, ВМ тощо.

Для зменшення теплового опору контакту елемент-радіатор контактна поверхня радіатора повинна мати шорсткість не менш, ніж Ra 2,5. Крім того, контактні поверхні рекомендується покривати теплопровідною пастою (КПТ-8), або поліметилсилоксановою рідиною. Застосування цих засобів зменшує контактний тепловий опір у 2...2,5 рази.

Поліпшити передачу тепла за рахунок теплопровідності можна також збільшенням контактного тиску, що забезпечується зусиллям затягування гвинтів, які електрорадіокомпонент до радіатора.

Якщо на радіатор слід встановлювати декілька електрорадіокомпонентів, які повинні бути електрично ізольовані один від одного, застосовують ізоляційні прокладки зі слюди, окису берилія, триацететної плівки тощо. Наявність прокладки збільшує контактний тепловий опір, тому такі прокладки слід встановлювати під елементи з меншою потужністю розсіювання.

Для покращення тепловіддачі випромінюванням поверхню радіатора покривають покриттям, яке забезпечує ступінь чорноти не менш, ніж 0,85. Найчастіше для цього застосовують матові лаки та емалі.

Якщо радіатор встановлюється на горизонтальне шасі, знизу слід передбачити отвір для проходження повітря, або підняти радіатор над шасі на висоту від 10 мм до 15 мм.

При природному охолодженні радіатора його пластину слід встановлювати вертикально; при вимушеній конвекції – за напрямком потоку.

Радіатори охолодження відносяться до локальних систем охолодження, оскільки забезпечують відведення тепла від окремих елементів або груп елементів.

Тепловідведення кондукцією застосовується також при охолодженні *радіоелектронного пристрою* цілком.

Так, для підвищення ефективності охолодження за умови конвективного теплообміну у деяких випадках корпус РЕЗ виконують з матеріалу з високою теплопровідністю та з оребренням зовнішньої поверхні (див. рис. 1.2), що дозволяє суттєво збільшити площу охолодження при обмеженні габаритів.



Рисунок 1.2 – Алюмінієвий оребрений корпус РЕЗ

На рис. 1.3 показаний принцип кондуктивного охолодження друкованих плат у складі РЕЗ.

Плата 1, на якій змонтовані електрорадіоеlementи (мікросхеми), має хороший тепловий контакт з металевими шинами 2, що виконують роль теплостоків. За цими теплостоками теплова енергія надходить до колектора 3, що охолоджується за допомогою повітряного або рідинного теплообміну.

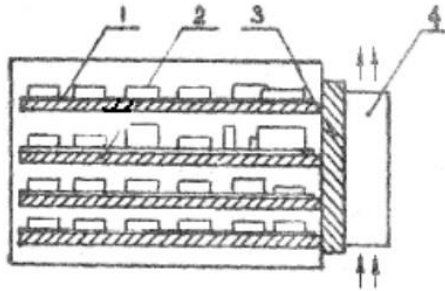


Рисунок 1.3 – Кондуктивне охолодження друкованих плат

До кондуктивних систем охолодження відносяться також термоелектричні пристрої і теплові трубки.

Кондуктивне охолодження найчастіше використовується в пристроях з високою щільністю монтажу.

#### 1.1.4.2 Конвективне охолодження

Найбільш розповсюдженими є системи конвективного охолодження, які поділяються на повітряні, рідинні та випарувальні.

Крім того, в залежності від способу створення потоку такі системи бувають природними та вимушеними.

**Природне повітряне охолодження** будується за двома схемами: з *герметичним* і з *перфорованим корпусом* є найпростішим і надійнішим способом охолодження: воно не вимагає витрат додаткової енергії, однак забезпечує охолодження при невеликих питомих потужностях розсіювання. Цей режим роботи характерний для РЕЗ, що працюють у полегшеному режимі.

За рахунок раціонального використання перфорації кількість тепла, що відводиться, може бути збільшена приблизно на 30%, а перегрів усередині блоку зменшений на 20%. Але слід враховувати, що оптимальний коефіцієнт перфорації (відношення площі перфораційних отворів до площі поверхні, на якій вони знаходяться) не повинен перевищувати значення 0,3; при його подальшому збільшенні ефективність тепловідведення практично не змінюється, а механічні характеристики конструкції суттєво погіршуються.

Системи природного повітряного охолодження дозволяють відводити теплові потоки щільністю  $q < 0,2 \text{ Вт/см}^2$ , примусового повітряного охолодження – щільністю  $q < 1 \text{ Вт/см}^2$ .

Конструкції РЕЗ із природним повітряним охолодженням повинні задовольняти наступним вимогам:

- забезпечувати добре обтікання холодним повітрям усіх елементів конструкції, особливо теплонавантажених;
- теплонавантажені елементи повинні розташовуватися у верхній частині блоку;
- термочитичні елементи повинні бути захищеними від обтікання нагрітим повітрям;
- при впливі променистої енергії термочитичні елементи повинні бути захищеними екранами;
- усі термочитичні елементи повинні мати добрі теплові контакти з несучими конструкціями (корпуса, шасі, кожухи і т.ін.).
- температура нагрітої зони поблизу кожного з елементів не повинна перевищувати допустиму для даного елемента (обумовлену в ТУ на елемент);
- температура повітря в корпусі не повинна перевищувати допустиму для усього виробу, обумовлену у стандартах на умови експлуатації;
- температура корпусу виробу не повинна перевищувати обумовлену у стандарті з техніки безпеки (ДСТУ ГОСТ 12.2.006-87) для даного матеріалу корпусу.

**Примусова вентиляція** може відводити до 60...80% тепла, що виділяється в блоці.

Конструкції з примусовою повітряною вентиляцією повинні задовольняти наступним вимогам:

- мати малий аеродинамічний опір повітрю, що протікає крізь блок;
- забезпечувати гарний доступ холодного повітря до теплонавантажених елементів;
- мати захист внутрішнього об'єму від пилу;
- містити в собі елементи конструкції для вирівнювання поля швидкостей потоку охоложеного повітря (перфоровані ґрати, екрани, патрубки і т.ін.);
- здійснювати автоматичне відключення живлення РЕЗ при виході з ладу системи вентиляції.

Для підвищення ефективності процесу конвекційного теплообміну необхідно:

- застосовувати в якості теплоносія середовища з високим коефіцієнтом теплопровідності, високою теплоємністю;
- збільшувати в'язкість рідини;

- збільшувати швидкість руху потоку теплоносія (що можливо при примусовій конвекції);
- збільшувати площу охолоджуваної поверхні, що досягається, в основному, застосуванням радіаторів (при цьому необхідно погоджувати їхню орієнтацію в корпусі виробу з напрямком руху теплоносія).

#### **1.1.4.3 Охолодження випромінюванням**

Частка *випромінювання* в загальному балансі теплопередачі порівняно мала, однак цим механізмом не слід зневажати, особливо для вакууму (космосу).

Кількість енергії, що відводиться випромінюванням, пропорційна четвертому ступеню температури тіла. Щільність теплового потоку звичайно не перевищує  $0,001...0,005 \text{Вт/см}^2$ . Підвищення ефективності теплопередачі випромінюванням досягається такими способами:

- покриттям охолоджуваних поверхонь матеріалами з високим ступенем чорноти;
- збільшенням площі поверхні, що випромінює.

#### **1.1.4.4 Захист термочутливих елементів**

При конструюванні РЕЗ необхідно приділяти увагу захисту елементів, особливо критичних до теплових впливів від теплоти, яка виділяється іншими елементами цього ж виробу (а іноді і зовнішніми джерелами). Для цього застосовують різні види теплових екранів. Незважаючи на безліч варіантів конструктивного виконання, існують наступні різновиди теплових екранів.

*Віддзеркалюючі екрани*, які мають поверхню з високим коефіцієнтом відбиття (дзеркальну). Перевагою цих екранів є простота конструктивного виконання, недоліком те, що вони відбивають теплоту у внутрішнє середовище виробу, часто на тепловиділяючі елементи, ще більш погіршуючи їхній власний тепловий режим.

*Поглинаючі екрани*, що мають поверхню з високим ступенем чорноти. Їх недоліком є те, що вони обов'язково вимагають наявності системи відводу теплоти від самого екрана в навколишнє середовище. У протилежному випадку, нагріваючись, ці екрани можуть самі стати джерелами тепла і порушувати роботу термочутливих елементів.

**Нейтральні екрани** виготовляються з матеріалів, що мають низьку теплопровідність і високу теплостійкість (наприклад, асбест). У них відсутні недоліки екранів попередніх типів.

## 1.2 Контрольні питання

1 Як впливають на працездатність РЕЗ підвищені та знижені температури?

2 Що таке нормальний тепловий режим?

3 Вимоги захисту РЕЗ від температурних впливів. Що таке холодостійкість? Як вона забезпечується?

4 Захист від термоудару. Як реалізується термостабілізація?

5 Що таке теплостійкість? Як вона забезпечується?

6 Які елементи відносяться до теплонавантажених, а які – до термочувливих?

7 Наведіть основні механізми теплообміну.

8 У чому полягає процес кондуктивного теплообміну? Закон Фур'є.

9 Що таке коефіцієнт теплопровідності? Його значення для різних матеріалів.

10 У чому полягає процес радіаційного теплообміну? Закон Стефана-Больцмана.

11 Що таке коефіцієнт чорноти? Його значення для різних поверхонь.

12 У чому полягає процес конвективного теплообміну? Закон Ньютона-Ріхмана.

13 Види конвекції в залежності від матеріалу потоку.

14 Види конвекції в залежності від способу створення потоку.

15 Види потоків. Їхні характерні особливості.

16 У чому полягає кондуктивне охолодження? Шляхи підвищення його ефективності.

17 Конструкції радіаторів та їх порівняльна характеристика.

18 У чому полягають недоліки ребристих та штирових радіаторів при відведенні тепла за рахунок випромінювання? Чому їхнє застосування все одно ефективне?

19 Матеріали, що застосовуються для радіаторів.

20 Тепловідведення кондукцією при охолодженні радіоелектронного пристрою цілком.

21 Схеми реалізації природного повітряного охолодження.

22 Вимоги до конструкцій з природним повітряним охолодженням.

23 Вимоги до конструкцій з примусовою вентиляцією.

24 Підвищення ефективності теплопередачі випромінюванням.

25 Захист термочутливих елементів.

### **1.3 Порядок виконання роботи**

1.3.1 Отримати у викладача об'єкт дослідження.

1.3.2 Для об'єкту дослідження визначити:

- призначення та особливості експлуатації;
- групу експлуатації за об'єктом установки;
- кліматичні умови та категорію розміщення;
- межі можливих температурних впливів;
- наявність теплонавантажених та термочутливих елементів.

1.3.3 Проаналізувати об'єкт із точки зору захисту конструкції від температурних впливів.

1.3.4 Виявити вдалі конструкторські рішення, спрямовані на забезпечення вимог захисту від впливу підвищеної температури.

1.3.5 Виявити недоліки конструкції з точки зору захисту від впливу підвищеної температури.

1.3.6 Запропонувати варіанти технічних рішень, спрямованих на усунення знайдених недоліків.

### **1.4 Зміст звіту**

1.4.1 Тема та мета роботи.

1.4.2 Відповіді на контрольні питання (за вказівкою викладача).

1.4.3 Опис об'єкта дослідження відповідно до пункту 1.3.2.

1.4.4 Результати аналізу об'єкта на відповідність вимогам захисту від впливу підвищеної температури.

1.4.5 Короткий опис запропонованих варіантів удосконалення об'єкта.

1.4.6 Висновки.

## **2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. ЗАХИСТ ВІД ВПЛИВУ ВОЛОГИ**

### **2.1 Теоретична частина**

#### **2.1.1 Джерела та шляхи проникнення вологи в РЕЗ**

Одним із кліматичних факторів, що викликає суттєві порушення роботи РЕЗ та вихід її з ладу, є підвищена вологість. Вплив вологи на матеріали та компоненти конструкції РЕЗ може виявлятися порівняно швидко (секунди, хвилини) або через великий проміжок часу, що призводить як до поступових та і до раптових відмов.

Так, наприклад, поступові відмови систем радіолокації та навігації виявляються у погіршенні точності визначення координат та зниженні дальності дії РЛС. У радіомовних і телевізійних приймачів знижується чутливість і вибірковість, звужуються діапазони робочих частот (у бік нижчих), з'являється нестійкість гетеродину.

Раптові відмови обумовлюються електричним пробоем, розшаруванням діелектриків і т.ін.

РЕЗ піддаються впливу вологи, що міститься в навколишньому просторі, внутрішньому середовищі гермоблоків, матеріалах конструкції, а також у матеріалах, що використовуються при їх виготовленні (електролітах, травниках, миючих засобах тощо), на більшості етапів життєвого циклу: у процесі виробництва, зберігання та експлуатації.

Максимально можливий вміст вологи в повітрі залежить від температури та тиску. При нормальному тиску вміст вологи у повітрі збільшується при збільшенні температури та при 20°C перевищує 0,01 кг/м<sup>3</sup>.

При зниженні температури вологого повітря нижче рівня, що відповідає максимально можливому вмісту вологи (точці роси), надлишок вологи випадає у вигляді конденсату (роси).

Наявність вологи у внутрішньому середовищі гермокорпусу РЕЗ обумовленим наступними причинами:

- проникненням через мікропори із зовнішнього середовища;
- неможливістю повного осушення (без вологопоглинача) середовища заповнення (наприклад, точка роси газоподібного азоту після централізованого осушення становить – 70°C);
- наявністю вологи у конструкційних матеріалах гермокорпусу.

Значно збільшують вміст вологи полімерні матеріали, які застосовують для герметизації з'єднувачів, контрówki різьбових з'єднань, у якості демпфуючих та віброізолюючих шарів, для маркування, виконання нероз'ємних з'єднань при складанні вузлів з деталей та компонентів, виготовлених з різних матеріалів (металів, сплавів, кераміки, феритів, гум, пластмас і т.ін) та різних конструктивних компонентів (друкованих плати, стрічкових кабелів, об'ємних провідників, екранів, вологозахисних та тепловідвідних конструкцій тощо). Полімери входять до складу таких конструкційних матеріалів як склотекстоліт, гетинакс, лакоткань.

При цьому слід враховувати, що усі полімерні матеріали гігроскопічні. Матеріали анізотропної будови поглинають вологу в різних напрямках з різною швидкістю. Пористі (волокнисті) матеріали гігроскопічніші, ніж щільні матеріали.

У процесі виробництва та зберігання полімерні матеріали поглинають вологу з навколишнього середовища, а при нагріванні ця волога виділяється у внутрішнє середовище гермокорпусу. Часто в конструкціях полімери мають вигляд тонких плівок, випаровування вологи з яких може відбуватися лише з торцевих поверхонь. Це зумовлює тривалість процесу виділення вологи та накопичення її у внутрішньому середовищі до концентрації, за якої можуть відбуватися відмови РЕЗ.

Рідини, що використовуються в технологічному процесі, також є джерелом вологи і забруднень, які посилюють дію вологи. Так, електроліти, травники, миючі засоби та інші матеріали (гліцерин, флюси) порушують структуру, створюють порожнини для накопичення вологи та вносять забруднення.

До таких самих наслідків призводить механічна обробка (фрезерування, свердління) шаруватих пластиків.

Джерелами вологи та забруднення також є відбитки пальців та пил; негативний вплив може мати і неповне сушіння після промивання компонентів та вузлів.

### **2.1.2 Взаємодія вологи із матеріалами конструкцій РЕЗ**

Механізм взаємодії вологи з матеріалами конструкцій РЕЗ залежить від характеру матеріалу (органічний, неорганічний) та його здатності поглинати (сорбувати) вологу або утримувати її на поверхні (адсорбувати).

Поглинання води обумовлено тим, що матеріали містять пори, значно більші за розмір молекули води, який дорівнює  $3 \cdot 10^{-10}$  м (міжмолекулярні проміжки в полімерах можуть досягати  $10^{-9}$  м, капіляри в целюлозі –  $10^{-7}$  м, пори в кераміці –  $10^{-5}$  м).

Органічні матеріали поглинають вологу через капіляри або дифузією. Неорганічні взаємодіють з водою, що конденсується або адсорбується на поверхні.

З металами вода входить у хімічну взаємодію, що викликає корозію; вона також може проникати через пори та капіляри. Дія води посилюється при контакті металів з електрохімічними потенціалами, що сильно відрізняються, а також у місцях зварних швів, що містять інтерметалеві з'єднання.

### 2.1.3 Вплив підвищеної вологості на працездатність РЕЗ

Підвищена вологість негативно впливає на параметри та характеристики різноманітних матеріалів, які використовуються у конструкціях РЕЗ.

Так, зволоження *органічних матеріалів* супроводжується наступними явищами:

- збільшення діелектричної проникності ( $\epsilon$ ) та втрат ( $\text{tg}\delta$ );
- зменшення об'ємного опору, електричної та механічної міцності;
- зміною геометричних розмірів та форми (короблення при видаленні води після набухання);
- зміною властивостей мастил.

Це призводить до:

- збільшення ємності (у тому числі паразитної);
- виникнення додаткових паразитних ємностей між елементами конструкцій;
- зменшення добротності контурів;
- зниження пробивної напруги і, як наслідок, електричного пробоя ізоляції.

В *ізоляційних матеріалах* зменшується поверхневий електричний опір; відбувається зміна фізико-хімічних властивостей (розбухання, відшарування, хімічне руйнування тощо).

Для *металевих* деталей РЕЗ найбільш несприятливим проявом впливу води є *корозія*, яка викликає:

- порушення паяних і зварних герметизуючих швів;

- обриви електромонтажних зв'язків;
- збільшення перехідного електричного опору контактних пар;
- зменшення міцності та ускладнення розбирання кріплення;
- потускнення відбиваючих та руйнування захисних покриттів;
- збільшення зносу поверхонь тертя;
- часткове або повне руйнування металевих деталей і т.ін.

Корозія може бути атмосферною та контактною (електрохімічною). У першому випадку одночасний вплив вологи й атмосферного кисню на поверхню металу приводить до появи плівки – окисла. Якщо окисна плівка утворюється швидко (наприклад, на алюмінієвих, магнієвих сплавах), то видалення продукту корозії не відбувається і він захищає матеріал від подальшої корозії. Якщо ж окисна плівка утворюється повільно (сталі, чавуни), то вона виходить пухкою, гігроскопічною, видаляється й збільшує корозію. Електрохімічна корозія виникає при механічному контакті двох різних металів під плівкою вологи, що містить залишки солей. При цьому відбувається руйнування контактуючих матеріалів.

Дуже суттєво впливає волога на елементи структури *інтегральних мікросхем (ІМС)* та мікробірок:

- попадання вологи на поверхню тонкоплівкових резистивних елементів призводить до зміни опору (зменшення при шунтуванні вологою, збільшення при корозії);

- волога в діелектриках плівкових конденсаторів ІМС збільшує їх ємність і призводить до пробою діелектрика;

- волога на поверхні напівпровідникових елементів ІМС сприяє накопиченню на межі Si – SiO<sub>2</sub> додатних іонів (Na + та ін), утворенню шару накопичених зарядів у напівпровіднику під впливом поверхневих іонів, дрейфу зворотних струмів, зміні параметрів напівпровідникових приладів, таких, як пробивна напруга, коефіцієнт посилення біполярних транзисторів, порогова напруга та крутість передавальної характеристики МДН-транзисторів.

Наявність вологи на поверхні *прозорих вікон* (наприклад, телевізійних передаючих трубок на структурах з поверхневим зарядовим зв'язком) призводить до розпливчастості зображення.

При температурі нижче точки роси становить небезпеку *сконденсована волога*. При замерзанні вологи, що сконденсувалася, і електрохімічної корозії може порушитися механічна міцність паяних і зварних герметизуючих швів, відбутися розшарування багат шарових

друкованих плат, обрив друкованих провідників при їх відшаровуванні від підкладки, поява тріщин в підкладках гібридних інтегральних схем.

Все це, як правило, призводить до повної відмови РЕЗ, як негерметичних, так і герметичних, але в першому випадку вплив надає зовнішнє середовище, а в другому – ще й внутрішнє.

При проектуванні РЕЗ конструктор повинен у кожному конкретному випадку вирішувати питання про необхідність висунення вимог захисту від впливу вологи. Ці вимоги визначаються умовами експлуатації і є обов'язковими для виробів, що експлуатуються за кліматичними виконаннями: ТВ (тропічний вологий); М (морський); ТМ (тропічний морський); О (загально кліматичний); ОМ (загально кліматичний морський); В (усекліматичний).

Для інших кліматичних виконань істотними є вимоги для категорій розміщення 1 і 2 (експлуатація на відкритому повітрі чи на об'єктах, де коливання температури й вологості несуттєво відрізняються від умов відкритого повітря).

#### **2.1.4 Вплив пилу на працездатність РЕЗ**

Пил – суміш твердих частинок малої маси, що знаходиться в повітрі у зваженому стані. Розрізняють пил природний, завжди присутній у повітрі, і технічний, який є наслідком зносу обладнання, обробки матеріалів, спалювання палива та ін.

При відносній вологості повітря вище 75% та нормальній температурі спостерігається зростання кількості частинок пилу, їхньої коагуляції, збільшується ймовірність тяжіння пилу до нерухомих поверхонь.

При низькій вологості частинки пилу електрично заряджаються, неметалеві – позитивно, металеві – негативно. Заряд часток найчастіше виникає через тертя.

Забрудненість повітря пилом знижує надійність роботи РЕЗ.

Потрапляючи в мастильні матеріали і прилипаючи до поверхонь деталей електромеханічних вузлів, що ковзають, пил призводить до прискореного їхнього зносу. Під впливом пилу змінюються параметри і характеристики елементів та вузлів на основі магнітних матеріалів, дряпається і стає непридатним магнітний шар.

У зазорах контактів пил перешкоджає замиканню контактів реле.

Пил, що осідає на поверхні деяких металів, небезпечний через свою гігроскопічність, оскільки вже при відносно невеликій вологості він суттєво підвищує швидкість корозії.

Разом із поглиненими ним розчинами кислот пил досить швидко руйнує навіть дуже якісні фарбовані покриття.

У тропічних країнах пил часто є причиною зростання плісняви.

Пил, що злежався в процесі тривалої експлуатації на поверхні компонентів, знижує опір ізоляції, особливо в умовах підвищеної вологості, що призводить до появи струмів витоків між виводами, дуже небезпечних для мікросхем.

Діелектрична проникність пилу вища за діелектричну проникність повітря, що визначає підвищення ємності між виводами компонентів та, як наслідок, збільшення ємнісних перешкод.

Пил знижує ефективність охолодження виробів, утворює на незахищених лаковим покриттям поверхнях друкованих плат струмопровідні перемички між провідниками.

Пилонепроникність РЕЗ може бути досягнута установкою їх у герметичні корпуси. Однак при цьому зростає вартість РЕЗ та погіршується температурний режим роботи. Якщо корпус РЕЗ виконаний з перфораціями, пил разом із повітрям проникне всередину пристрою природним шляхом або разом із повітряними потоками від вентиляторів. Зменшити потрапляння пилу всередину РЕА можливо установкою на вентиляційні отвори дрібноячейкових сіток та протипилових фільтрів.

### 2.1.5 Способи герметизації РЕЗ

Одним з напрямків забезпечення надійності функціонування РЕЗ під час дії вологи є використання різних способів герметизації.

**Герметизація** полягає в забезпеченні практичної непроникності несучих конструкцій РЕЗ та окремих вузлів й компонентів для рідин і газів з метою їхнього захисту від вологи, пилу, піску і т.ін.

Розрізняють *індивідуальну (часткову)* та *загальну (повну)* герметизацію.

**Індивідуальна** герметизація полягає у створенні *монолітної оболонки* для кожного окремого вузла або компонента за допомогою лаків, пластмас та компаундів на органічній основі, які одночасно можуть служити несучими конструкціями для їхніх виводів.

Слід також відмітити, що складність створення вологозахисної оболонки полягає ще й у тому, що на неї часто покладаються функції несучої конструкції, тепловідведення, захисту від електромагнітних впливів та іонізуючих випромінювань, пилу, світла, мікроорганізмів.

Недоліком цього способу є те, що в даному випадку тривала герметизація не забезпечується, а перевагою – те, що при індивідуальній герметизації можлива заміна окремих компонентів РЕЗ при виході їх із ладу.

**Загальна** герметизація полягає у герметизації *пустотилого корпусу* усього виробу; при цьому герметичність корпусу досягається застосуванням нероз’ємних з’єднань або ущільненням його стиків за допомогою різних прокладок.

Такий спосіб герметизації забезпечує надійний захист виробу протягом тривалого часу експлуатації, але при цьому заміна окремих компонентів можлива тільки під час демонтажу корпусу.

Правильний вибір способу герметизації впливає на такі параметри РЕЗ, як маса, габарити, вартість, надійність, зручність ремонту, обслуговування, виготовлення, можливість механізації та автоматизації виробництва.

Таким чином, в залежності від способу герметизації вологозахисні конструкції поділяють на дві групи: монолітні та пустотілі (див. рис. 2.1).

#### **2.1.5.1 Герметизація за допомогою монолітних оболонок**

**Монолітні оболонки** становлять нерозривне ціле з вузлом, що захищається.

Монолітні плівкові оболонки використовуються переважно як технологічний захист безкорпусних компонентів, що підлягають герметизації у складі блоку, а також компонентів з покращеними частотними властивостями (за рахунок зменшення паразитних параметрів зовнішніх висновків). Органічні плівкові покриття являють собою на поверхні деталі тонкий суцільний шар органічної сполуки (лаку, емалі, компаунда).

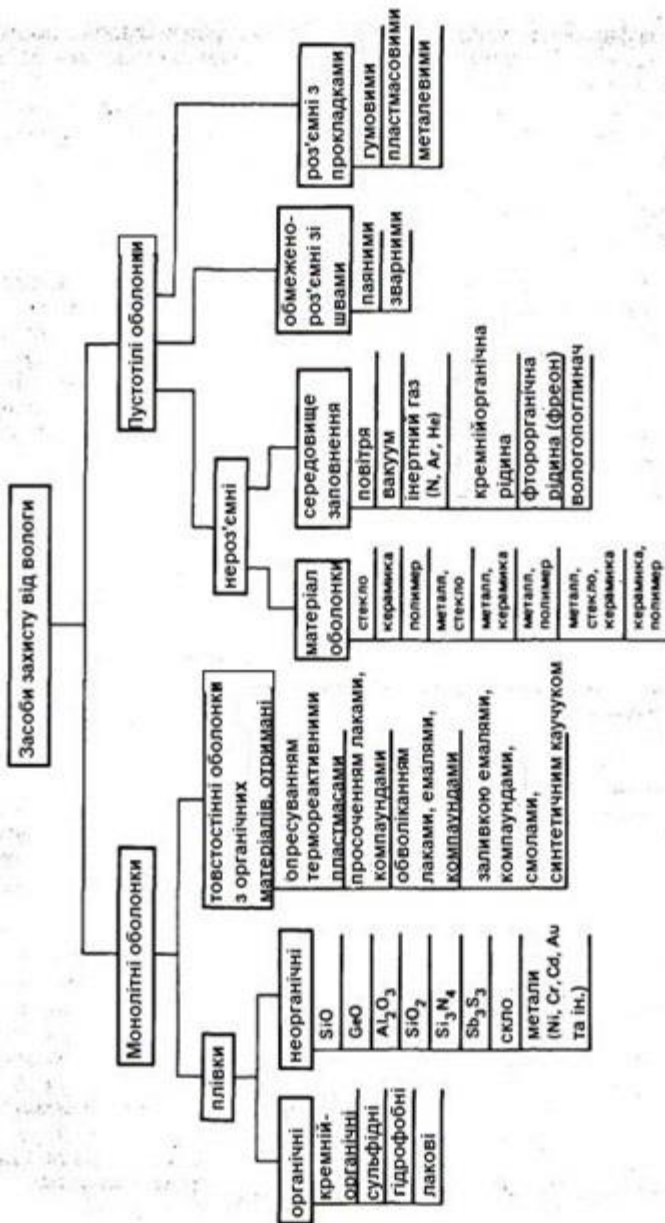


Рисунок 2.1 - Класифікація засобів захисту від підвищеної вологи

До матеріалів захисних плівок висувається ряд вимог:

- якісні вологозахисні властивості (мала вологопроникність, відсутність порожнин, пасивуючі властивості тощо);
- можливість роботи в заданому діапазоні температур;
- висока адгезія до компонента, що захищається.

Монолітні оболонки з органічних матеріалів, що виконують функції несучих конструкцій, виготовляють методами *опресування, просочення, обволікання, заливка*.

**Опресування** – захист виробу від вологи товстим шаром полімерного матеріалу (терморективної чи термопластичної пластмаси) методом трансферного чи ливарного пресування в спеціальних формах.

Цей вид вологозахисту використовують, в основному, для малогабаритних компонентів (електрорадіокомпоненти, інтегральні мікросхеми, мікрозбірки).

**Просочення** – процес заповнення ізоляційним плівкоутворювальним матеріалом пір і малих зазорів у компонентах РЕЗ. При цьому з порожнин і пір витісняється повітря і вони заповнюються лаком чи компаундом. Це збільшує електричну й механічну міцність, поліпшує теплопровідність; але при цьому збільшуються маса, паразитні зв'язки, інтенсифікуються хімічні й електрохімічні процеси в місцях пайки виводів.

Просочення застосовується для моточних виробів, деталей з волокнистих і пористих матеріалів. Для цього використовують лаки УР-231, ГФ-95, МЛ-92 і т.ін.

У виробках з такою герметизацією заборонено застосовувати ізоляційні матеріали, які вже мають просочення: лакоткань, бавовняні і хлорвінілові трубки, фібру тощо.

**Обволікання** – процес утворення покривних оболонок на поверхні виробу, призначених для короткочасної роботи в умовах впливу вологи.

Його застосовують для захисту від вологи друкованих плат, дискретних електрорадіокомпонентів, безкорпусних напівпровідникових приладів.

Основною перевагою обволікання є висока економічність, недоліками: досить товстий і неконтрольований шар покриття, можливість використання тільки в нежорстких умовах експлуатації, складність видалення вологи при її попаданні під захисний шар.

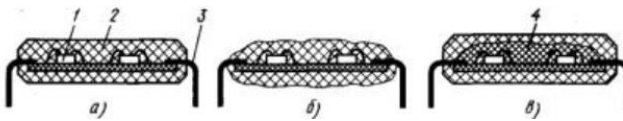
Для обволікання застосовують лаки УР-231, Э-4100, компаунди, емалі.

До обволікання можна віднести також герметизацію компаундами паяних і зварених швів і місць контактування металів із різними електрохімічними потенціалами, дуже чутливими до впливу вологи.

**Заливка** – процес суцільного упакування компонента чи вузла в ізоляційну масу шляхом заповнення нею вільного проміжку між виробом і стінками корпуса чи між виробом і заливальною формою. Заливка вузлів РЕЗ, крім захисту від кліматичних чинників, дозволяє одержувати вироби з точними геометричними розмірами, високою чистотою обробки поверхні, підвищує механічну міцність.

За ступенем забезпечення вологостійкості заливка перевершує інші види герметизації. Слабким місцем виробу після заливки є виводи, уздовж яких утворюються капілярні капелі на межі зіткнення матеріалів із різними температурними коефіцієнтами лінійного розширення. Матеріалами для заливки служать епоксидні компаунди ЭЗК, Э-242, ЭК-16Б і т.ін.

На рис. 2.2, 2.3 наведені монолітні вологозахисні конструкції вузлів РЕЗ.



а – заливка у форму без підшарку; б – обволікання; в – заливка у форму з підшарком з еластичного матеріалу

Рисунок 2.2 – Монолітні вологозахисні конструкції вузлів РЕЗ

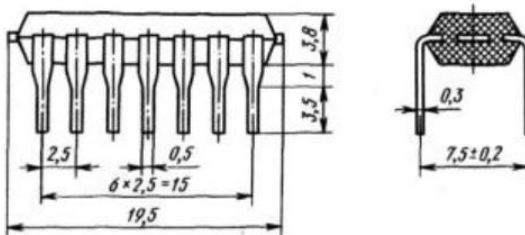


Рисунок 2.3 – Монолітний полімерний корпус інтегральної мікросхеми, отриманий методом опресування

### 2.1.5.2 Герметизація за допомогою порожнистих оболонок

Повна герметизація вузлів, комірок, блоків РЕЗ і пристроїв у цілому найчастіше полягає в застосуванні *пустотілих герметизованих корпусів*. Такий вид герметизації дешевший, крім того, він дозволяє виключити механічний контакт із виробами, що захищаються, і передачу їм механічних напружень, а також хімічний вплив на них із боку матеріалів корпусу.

Існують *роз'ємні, обмежено-роз'ємні і нероз'ємні* корпуси.

Для блоків багаторазового використання, що вимагають забезпечення ремонтпридатності, найбільш ефективною є використання *роз'ємних корпусів* з герметизацією за допомогою прокладок: пластмасових, металевих, гумових.

Пластмасові прокладки мають низьку вартість, стійкість до агресивних середовищ, однак у них низька теплостійкість і недостатньо висока пружність.

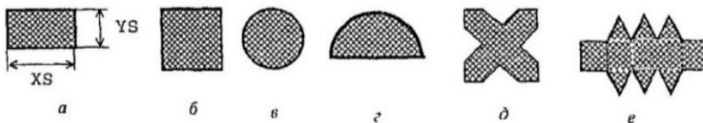
У прокладок із пластичних металів (алюмінію, свинцю, міді, індію) відсутній цей недолік, однак їх можна використовувати лише один раз через деформацію при установці. Крім того, ці прокладки не стійкі до впливу вібрацій.

Найбільш широке застосування для герметизації блоків РЕЗ знайшли гумові прокладки, що мають високу волого- і термостійкість. Найчастіше використовуються гуми марок ТМКЩ (тепло- морозо- кислото- лугостійка).

Найбільш розповсюджені форми металевих прокладок наведені на рис. 2.4, гумових – на рис. 2.5.



Рисунок 2.4 – Форми металевих прокладок

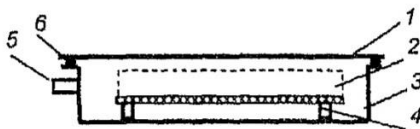


а – прямокутна; б – квадратна; в – кругла; г – напівкругла; д – Х-подібна; е – гребінчаста

Рисунок 2.5 – Форми гумових прокладок

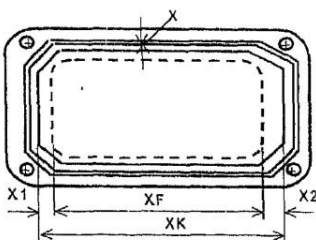
Конструкції РЕЗ з гумовими ущільнювачами рекомендується виконувати з мінімальною кількістю площин роз'єму. На рис. 2.6 наведена схематична конструкція пристрою РЕЗ у роз'ємному герметичному корпусі з застосуванням гумових прокладок, на рис. 2.7 – ескіз герметизуючого фланцю; на рис. 2.8 – розміри та пропорції герметизованого різьбового з'єднання.

Основними компонентами гумових ущільнювачів є синтетичні каучуки: СКН – бутадієн-нітрильний; СКФ – фторкаучук; СКМС – бутадієн-метилстирольний; ХП – хлоропреновий; СКЕП – етилпропіленовий. Крім каучуків, до складу гумових ущільнювачів входять наповнювачі, вулканізатори, пластифікатори та домішки, які забезпечують деякі спеціальні властивості: холодостійкість, зносостійкість, міцність, пружність тощо.



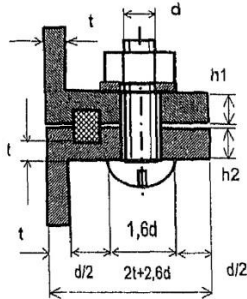
1 – кришка; 2 – друкований вузол; 3 – металевий корпус; 4 – бобишка; 5 – вихідний з'єднувач; 6 – гумова прокладка

Рисунок 2.6 – Конструкція пристрою РЕЗ у роз'ємному герметичному корпусі



XF – габаритний розмір внутрішнього монтажу; X1, X2 – зазори "монтаж-корпус"; XK – внутрішній розмір корпусу; X – ширина гумового ущільнювача

Рисунок 2.7 – Ескіз герметизуючого фланцю

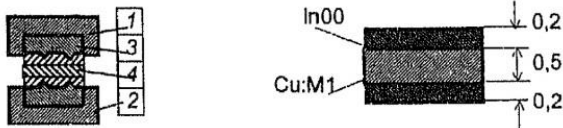


$d$  – діаметр різьби гвинта;  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $t$  – розміри деталей, що з'єднуються

Рисунок 2.8 – Розміри та пропорції герметизованого різьбового з'єднання

Для роз'ємних вакуумних з'єднань використовуються багатшарові прокладки у вигляді пружної серцевини та пластичної поверхневої оболонки. На практиці для цього застосовують біметали або армовані ущільнювачі.

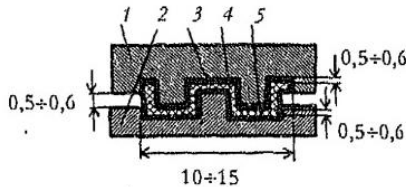
На рис. 2.9 показана багатшарова прокладка індій-мідь-індій, яка здатна працювати у діапазоні температур від  $-120^{\circ}\text{C}$  до  $+120^{\circ}\text{C}$ .



1 – кришка; 2 – корпус; 3 – індій; 4 – мідь

Рисунок 2.9 – Прокладка індій-мідь-індій

Покращити герметичність можна за рахунок застосування пружної серцевини та складного профілю (див. рис. 2.10).



1 – корпус; 2 – кришка; 3, 5 – алюміній або нікель; 4 – гумова прокладка

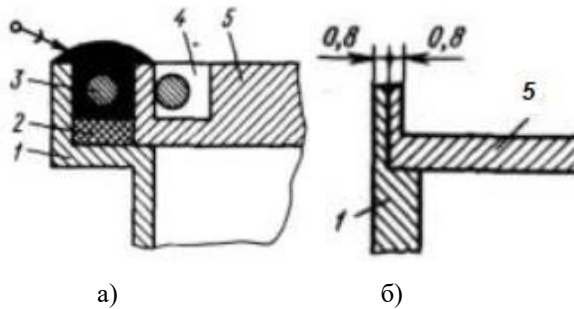
Рисунок 2.10 – Профільна комбінована прокладка

До недоліків роз'ємних корпусів відносяться підвищені вимоги до міцності, труднощі виконання й контролю надійного рознімного гермоз'єднання; до переваг – висока ремонтпридатність.

Для обмежено-роз'ємних і нероз'ємних корпусів (паяних, зварених) значно легше забезпечити герметизацію, але при цьому ускладнений (чи зовсім неможливий) доступ до компонентів РЕЗ.

Для блоків об'ємом менш 3 дм<sup>3</sup> при необхідності забезпечення невеликої кількості розгерметизацій (до 3...5) і повторних герметизацій використовуються *обмежено-роз'ємні корпуси* з регенеруємим паяним чи зварним швом.

Приклад з'єднання елементів несучої конструкції РЕЗ за допомогою регенеруємого паяного шва наведений на рис. 2.11 а, зварного – на рис. 2.11 б.



1 – корпус; 2 – гумова прокладка; 3 – сталевий провідник; 4 – паз за периметром; 5 – кришка

Рисунок 2.11 – З'єднання елементів несучої конструкції РЕЗ за допомогою регенеруємого паяного (а) та зварного (б) шва

Більш дорогими, але й надійнішими є порожнисті *нероз'ємні* металополімерні оболонки (рис. 2.12). Наявність металевих кришок зменшує площу, через яку може дифундувати волога, однак на межі вивід-полімер волога може проникати.

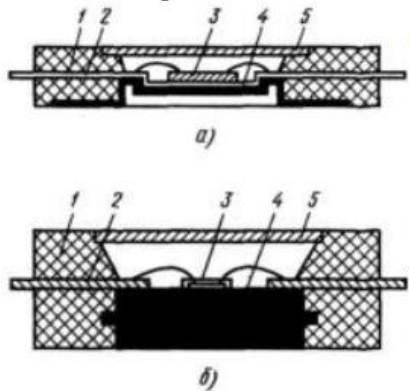


Рисунок 2.12 – Металополімерні корпуси з тепловивідною шиною: а – малого перерізу; б – збільшеного перерізу

Слід відмітити, що при проектуванні РЕЗ варто враховувати марку матеріалу герметичного корпусу. Це особливо важливе для пластмасових корпусів, оскільки всі полімерні матеріали гігроскопічні. У процесі виробництва й збереження вони поглинають вологу з навколишнього середовища, а в процесі роботи (при нагріванні) виділяють її у внутрішнє середовище гермокорпуса.

При застосуванні пустотілих герметизованих корпусів особливу увагу слід приділяти герметизації зовнішніх електричних зв'язків. Для приєднання зовнішніх електричних ланцюгів використовуються ізолятори (керамічні, скляні), герметизовані штепсельні роз'єми, вулканізовані кабельні виводи.

Органи керування герметизують гумовими чохлами, шайбами, фетровими чи фторопластовими сальниками. Для передачі механічного руху використовують сальфони, магніти і т.ін.

### 2.1.6 Захист від корозії

Для захисту металів від корозії застосовуються різні види антикорозійних покриттів.

Слід відмітити, що більшість покриттів виконують не тільки захисну функцію, але й покращують зовнішній вигляд виробів або надають поверхням спеціальних властивостей. У зв'язку з цим покриття підрозділяються на *захисні*, *захисно-декоративні* та *спеціальні*.

В залежності від матеріалу покриття підрозділяються на *металеві, неметалеві, хімічні, органічні* (лакофарбові, емалеві і т.ін.).

У табл. 2.1 наведені деякі найбільш розповсюджені *металеві покриття* та їхнє призначення.

Таблиця 2.1 – Металеві покриття та їхнє призначення

Покриття	Призначення та область застосування	Матеріал деталі	Товщина, мм
Цинкове	Захист від корозії деталей несучих конструкцій, різьбових деталей, отримання світлопоглинаючих поверхонь	Сталь, мідь та її сплави	6...30
Кадмієве	Захист від корозії деталей несучих конструкцій у морських умовах	те ж саме	12...30
Нікелеве	Захист від корозії деталей несучих конструкцій, різьбових деталей, осердь, екранів, отримання світловідбиваючих поверхонь, підвищення твердості	те ж саме	6...12
Хромове (з підшарком)	Захист від корозії і декоративна відділка деталей несучих конструкцій, панелей, ручок, підвищення твердості	те ж саме	6...24
Сплав олово-свинець	Покращення умов пайки	те ж саме	9...12
Срібне (з підшарком)	Покращення електропровідності, захист від корозії контактів, пружин, пелюстків, покращення пайки	Сталь, мідь та її сплави, алюміній та його сплави, ковар	6...9
Золоте (з підшарком)	Зменшення перехідних опорів контактів, пелюстків, створення покриття без оксидної плівки	Мідь та її сплави, ковар	3

При виборі матеріалу металевого покриття слід обов'язково враховувати, що деякі метали утворюють гальванічну пару, і при їхньому механічному контакті під плівкою вологи, яка містить залишки солей, виникає електрохімічна корозія, що призводить до їхнього

руйнування. У табл. 2.2 наведена гальванічна сумісність для деяких металів, що використовуються у конструкціях РЕЗ.

Таблиця 2.2 – Гальванічна сумісність деяких металів

Метал	Сталь	Al та його сплави	Cu та її сплави	Кадмій	Цинк	Хром	Нікель	Срібло	Золото	Олово	Припой ПОС
Сталь	+	+	-	+	+	+	+	-	-	+	+
Алюміній та його сплави	+	+	-	+	+	+	-	-	-	П	П
Мідь та її сплави	-	-	+	-	-	+	+	+	+	П	П
Кадмій	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+
Цинк	+	+	-	+	+	+	+	-	-	+	+
Хром	+	+	+	-	+	+	+	+	+	П	П
Нікель	+	-	+	-	+	+	+	+	+	П	П
Срібло	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+
Золото	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+
Олово	+	П	П	+	+	П	П	+	+	+	+
Припой ПОС	+	П	П	+	+	П	П	+	+	+	+

Позначення у табл. 2.2:

“+” – контакт припустимий

“-” – контакт неприпустимий

“П” – контакт припустимий за умови паяння

Якщо все-таки є необхідність застосування покриття, що утворює із матеріалом деталі гальванічну пару, то застосовують багат шарове покриття з внутрішніми шарами з нейтральних металів. Наприклад, якщо необхідно застосувати мідне покриття по сталі, то

можна використовувати підшар хрому, нейтральний відносно й сталі, й міді.

Багатошарові покриття використовуються такою у тих випадках, коли треба надати поверхні певних властивостей, наприклад: шар нікелю по сталі товщиною 3...6 мкм для надання високої твердості та шар хрому товщиною 0,5 мкм для надання антифрикційності і гідрофобності.

Для захисту корпусів із алюмінієвих сплавів використовують багатошарові покриття, наприклад Cu-Ni-(Sn-Bi). Додаток вісмуту дозволяє уникнути олов'яної чуми за низьких температур і перешкоджає зростанню дендритів при нанесенні покриття.

**Неметалеві неорганічні покриття** – це металізаційні покриття, що складаються з неорганічних сполук металів. Зазвичай їх отримують методами **термічного напилювання**, серед яких:

– **хімічне окисне покриття** – плівка окислу на поверхні металу, отримана в розчинах лугів, кислот, солей;

– **анодно-окисне покриття** – захисне покриття плівкою окислів основного матеріалу, отриманою в електроліті;

– **пасивування** – створення адгезійної плівки на поверхні металу шляхом обробки її розчинами солей;

– **фосфатне покриття** – захисна плівка фосфатом марганцю й заліза, отримана хімічним шляхом.

Прикладами таких покриттів є: окисне, окисно-фосфатне, фосфатне, фторидне, окисно-фторидне та ін.

В залежності від способу нанесення покриття підрозділяються на **електролітичні (гальванічні), гарячі, дифузійні** і т.ін.

**Гальванічні металопокриття** одержують виділенням металів з розчинів їх солей під дією електричного струму. Деталь, що покривається, є катодом, а анодом – електрод, виконаний з матеріалу покриття.

У конструкторській документації на виріб вказується матеріал покриття, його товщина, послідовність нанесення шарів.

Наприклад, мідно-нікелево-хромове покриття, що служить захистом від корозії і одночасно є декоративним, позначається M24N12X (товщина міді 24 мкм, нікелю 12 мкм, хрому до 1 мкм).

У ряді випадків несучі конструкції захищають від вологи за допомогою **органічних лакофарбових покриттів**, які являють собою

плівкоутворюючі органічні речовини, що наносяться в один або кілька шарів на поверхню, що захищається.

Лакофарбові покриття хімічно більш інертні, ніж покриття з металу, а тому мають кращі антикорозійні властивості, але меншу механічну міцність порівняно з металевими.

Основою будь-якого лакофарбового покриття є органічна плівкоподібна речовина та пігмент (фарбувальна речовина), а всі лаки і фарби, що застосовуються, проникні для води і кисню в деякій мірі.

Лакофарбові покриття наносять на ґрунтовану поверхню.

У РЕЗ використовують лакові ґрунти типу АЛГ-1 та ін. Для сталевих деталей застосовують фосфатуючі ґрунти типу ФО-ОЗ-К та ін. Товщина ґрунту має бути не менше 0,04 мм. Для вирівнювання заґрунтованої поверхні роблять шпаклювання пастоподібною масою, що складається з пігментів, наповнювачів та лаків. Максимальна товщина шпаклівки 0,4 мм. На поверхню, що шпаклюється, наносять лакофарбові покриття, товщина яких складає від 0,1 мм до 0,2 мм.

## 2.2 Контрольні питання

- 1 Джерела вологи та її вплив на працездатність РЕЗ.
- 2 Шляхи проникнення вологи в корпуси РЕЗ.
- 3 Як впливають полімерні матеріали на збільшення вмісту вологи у РЕЗ?
- 4 Механізми взаємодії вологи з матеріалами конструкцій РЕЗ.  
Вплив вологи на органічні матеріали.
- 5 Вплив вологи на метали. Види корозії.
- 6 Вплив вологи на ІМС.
- 7 Для яких кліматичних умов обов'язковий захист від підвищеної вологи?
- 8 Вплив пилу та способи пилозахисту.
- 9 Способи герметизації. У чому полягає індивідуальна герметизація? Її переваги та недоліки.
- 10 У чому полягає загальна герметизація? Її переваги та недоліки.
- 11 Класифікація монолітних оболонок.
- 12 Що таке опресування? Коли воно застосовується?
- 13 Що таке просочення? Коли воно застосовується?
- 14 Що таке обволікання? Коли воно застосовується?
- 15 Що таке заливка? Коли вона застосовується?

16 Наведіть приклади монолітних вологозахисних конструкцій вузлів РЕЗ.

17 Класифікація пустотілих герметизованих корпусів.

18 Вимоги до роз'ємних корпусів з герметизацією за допомогою прокладок.

19 Які матеріали використовуються у якості герметизуючих прокладок? Наведіть розповсюджені форми прокладок.

20 Недоліки роз'ємних корпусів.

21 Особливості конструкцій та застосування обмежено-роз'ємних корпусів.

22 Особливості конструкцій та застосування порожнистих нероз'ємних оболонок.

23 Класифікація покриттів. Металеві покриття та їхнє призначення.

24 Гальванічна сумісність матеріалів.

25 Неметалеві та лакофарбові покриття.

### **2.3 Порядок виконання роботи**

2.3.1 Отримати у викладача об'єкт дослідження.

2.3.2 Для об'єкту дослідження визначити:

– призначення та особливості експлуатації;

– групу експлуатації за об'єктом установки;

– кліматичні умови та категорію розміщення;

– максимальне значення відносної вологості;

– наявність у конструкції матеріалів, критичних до впливу підвищеної вологості.

2.3.3 Проаналізувати об'єкт із точки зору захисту конструкції від впливу вологи.

2.3.4 Виявити вдалі конструкторські рішення, спрямовані на забезпечення вимог захисту від впливу вологи.

2.3.5 Виявити недоліки конструкції з точки зору захисту від впливу вологи.

2.3.6 Запропонувати варіанти технічних рішень спрямованих на усунення знайдених недоліків.

## **2.4 Зміст звіту**

2.4.1 Тема та мета роботи.

2.4.2 Відповіді на контрольні питання (за вказівкою викладача).

2.4.3 Опис об'єкта дослідження відповідно до пункту 2.3.2.

2.4.4 Результати аналізу об'єкта на відповідність вимогам захисту від впливу вологи.

2.4.5 Короткий опис запропонованих варіантів модернізації об'єкта.

2.4.6 Висновки.

## 3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. ЗАХИСТ ВІД МЕХАНІЧНИХ ВПЛИВІВ

### 3.1 Теоретична частина

#### 3.1.1 Види механічних впливів на РЕЗ та їхні джерела.

##### Характеристики динамічних впливів

##### 3.1.1.1 Класифікація механічних впливів

На РЕЗ у процесі виробництва, збереження, транспортування й експлуатації можуть впливати внутрішні й зовнішні механічні чинники (впливи), що викликають порушення їхньої працездатності.

Усі механічні впливи, що діють на РЕЗ, розділяються на дві групи: *статичні* та *динамічні*.

До *статичних* механічних впливів відносяться:

- розтягування;
- стиснення;
- вигин;
- кручення;
- зріз;
- вдавнення.

Статичні впливи діють постійно, незалежно від того, рухається об'єкт, чи перебуває у спокої, тобто, їх треба враховувати для об'єктів усіх класів експлуатації. Джерелами цих впливів є маси елементів об'єкту та засоби їх з'єднання.

Кількісно вони характеризуються величинами *механічних напружень* елементів конструкцій та їх *деформацією*.

*Динамічні* механічні впливи поділяються на:

- вібраційні (вібрації),
- ударні (удари),
- інерційні (лінійні прискорення).

Іноді до них ще відносять впливи невагомості та акустичного шуму.

Джерелами динамічних механічних впливів можуть бути двигуни та усі рухомі елементи самого об'єкту (внутрішні впливи), або рухомі об'єкти для їх транспортування (зовнішні впливи).

### 3.1.1.2 Характеристики динамічних впливів

Кількісно динамічні механічні впливи характеризуються *діапазоном частот, амплітудою, прискоренням, часом дії коливань.*

У загальному випадку ці впливи мають випадковий характер.

**Вібрації** – коливання конструкції, викликані періодичним знакоперемінним впливом.

Вібрації діють на апаратуру, розміщену на транспортних засобах (бортова), у виробничих приміщеннях. На стаціонарну апаратуру вібрації впливають у процесі транспортування. Крім того, джерелами вібрацій можуть бути складові частини самого виробу, наприклад, електродвигуни, механічні перетворювачі.

Вібрації можуть бути гармонійними, негармонійними, періодичними, випадковими (див. рис. 3.1).

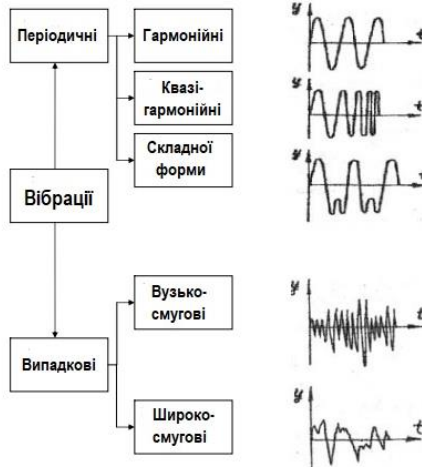


Рисунок 3.1 – Вібрації різних видів

Параметри гармонійної вібрації визначаються зі співвідношення (3.1):

$$x = A \cdot \sin \omega t = A \cdot \sin 2\pi f t \quad (3.1)$$

де:  $x$  – переміщення, м;  
 $A$  – амплітуда вібрацій, м;  
 $\omega$  – кругова частота, рад/с;  
 $f$  – частота, Гц;  
 $t$  – час, с.

Частота пов'язана з іншим параметром вібрації – періодом коливань  $T$  – співвідношенням (3.2):

$$f = \frac{1}{T} \quad (3.2)$$

Крім перерахованих вище, гармонійна вібрація характеризується такими параметрами, як швидкість  $v$  (м/с), прискорення  $a$  (м/с<sup>2</sup>) та різкість  $n$  (м/с<sup>3</sup>), між якими існують співвідношення (3.3):

$$v = \frac{dx}{dt}; a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}; n = \frac{da}{dt} = \frac{d^2v}{dt^2} = \frac{d^3x}{dt^3} \quad (3.3)$$

При аналізі негармонійних вібрацій їх представляють як суму гармонійних шляхом розкладання у ряд Фур'є.

**Удари** – короткочасні впливи, що супроводжуються стрибкоподібними змінами швидкості.

Розрізняють удари, викликані транспортуванням, падінням, зіткненням, приземленням, вибуховою хвилею. За характером впливу удари бувають *періодичними* й *аперіодичними*.

Удари характеризуються амплітудою основного параметра (переміщення, швидкості чи прискорення), тривалістю  $\tau$ ,  $\epsilon$  та формою імпульсу, а також кількістю (одиначні та багаторазові).

**Лінійні прискорення** можна розглядати як окремий випадок ударного впливу, коли удар одиничний, а його тривалість велика. Найчастіше вони спостерігаються у РЕЗ, які експлуатуються у процесі руху (транспортованих РЕЗ).

Найнебезпечнішим для конструкції є виникнення **механічного резонансу**, при якому частота зовнішнього впливу  $f$  збігається із власною резонансною частотою механічної системи  $f_0$ . У цьому випадку амплітуда коливань починає різко зростати, що викликає неприпустимі механічні напруження в елементах конструкції і наступне її руйнування.

Кожна конструкція має власну резонансну частоту, яка визначається за формулою (3.4):

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3.4)$$

де  $m$  – маса конструкції, кг;

$k$  – жорсткість конструкції, Н/м.

### 3.1.2 Результати впливу механічних чинників на працездатність РЕЗ

Основні види реакцій елементів РЕЗ на впливи механічних чинників наведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні види реакцій елементів РЕЗ на впливи механічних чинників

Елементи РЕЗ	Можлива механічна реакція	Можлива електрична реакція	Захисні заходи
1	2	3	4
<b><i>Резистори та конденсатори:</i></b>			
дискретні	руйнування місць пайки, обрив виводів	розрив електричного ланцюга	виключення резонансних коливань
плівкові (SMD)	тріщини у плівці	тензоефект	розміщення елементів на ділянках підкладки з мінімальними деформаціями
змінні	обертання осей резисторів, роторів конденсаторів, зсув пластин	зміна значень опорів, ємностей	стопоріння осей
<b><i>Напівпровідникові прилади, мікросхеми</i></b>	обриви виводів, руйнування місць пайки, деформація та розтріскування підкладки	п'єзоефект, тензоефект	додаткове кріплення компаундом, розміщення елементів на ділянках плат з мінімальними деформаціями

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4
<b>Контактні пристрої</b>	взаємне переміщення контактних елементів	змінне значення перехідного контактного опору	певна орієнтація контактних груп відносно вектора діючих вібрацій
<b>Провідники, дроти, кабелі</b>	переміщення у просторі, деформація, обриви	віброшуми за рахунок електромагнітної індукції та кабельного ефекту	додаткові точки кріплення, особливо біля місць пайки, використання антивібраційних кабелів

Крім того, механічні чинники викликають суттєві порушення роботи РЕЗ цілком, серед яких:

- порушення герметичності внаслідок руйнування паяних, зварених і клейових швів і появи тріщин у металевоскляних спаях;
- повне руйнування корпусу чи окремих його частин унаслідок механічного резонансу чи втоми;
- відшарування друкованих провідників;
- розшарування багатошарових друкованих плат;
- поломка (розтріскування) керамічних і ситалових підкладок;
- тимчасовий чи остаточний вихід із ладу роз'ємних і нероз'ємних електричних контактів;
- ослаблення чи вихід із ладу механічних вузлів (кріплень окремих елементів конструкції, саморозгвинчування, поломка несучих конструкцій);
- виникнення (збільшення) паразитних зв'язків;
- спотворення корисних сигналів внаслідок виникнення шумів та паразитної модуляції через тензорезистивні, п'єзоелектричні та електромагнітні явища в елементах;
- збій цифрових пристроїв.

### 3.1.3 Вимоги до захисту РЕЗ від механічних впливів в залежності від умов експлуатації

В залежності від умов експлуатації до апаратури можуть пред'являтися вимоги *вібро-* та *удароміцності*, *вібро-* та *ударостійкості*.

Система є *вібро-* або *удароміцною*, якщо при механічних впливах (вібраціях і ударах) не порушується її цілісність, не виникає руйнування матеріалів конструкцій і т. ін. Ці умови стосуються, в основному, стаціонарних систем, механічні впливи на які відбуваються у неробочому положенні (при транспортуванні).

Система є *вібро-* або *ударостійкою*, якщо при механічних впливах вона нормально функціонує і її параметри не виходять за межі, встановлені у технічній документації. Такі вимоги пред'являються до систем, що експлуатуються в процесі руху (рухомі та транспортвані).

### 3.1.4 Захист РЕЗ від впливу вібрацій

Захист РЕЗ від впливу вібрацій можна реалізувати декількома способами:

- зменшенням інтенсивності джерел вібрацій шляхом їхнього балансування, зменшення зазорів, віброізоляції самого джерела механічних впливів (ці способи використовують фахівці з двигунів);

- зменшенням параметрів вібрацій, які передаються від джерела до РЕЗ, шляхом його віброізоляції, демпфування, усунення тощо (ці способи використовують проєктувальники РЕЗ).

До способів, що забезпечують зменшення параметрів вібрацій, що передаються від джерела до РЕЗ, відносяться *демпфування*, *частотна селекція* та *віброізоляція*.

Для оцінки ефективності віброзахисту *коефіцієнт динамічності*  $\mu$ , який показує ступінь зміни амплітуди вимушених коливань під дією зовнішньої збіджуючої сили:

$$\mu = \frac{A}{A_0} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^2 + \frac{4n^2 \cdot \omega^2}{\omega_0^4}}}, \quad (3.5)$$

де  $A$  – амплітуда коливань, м;

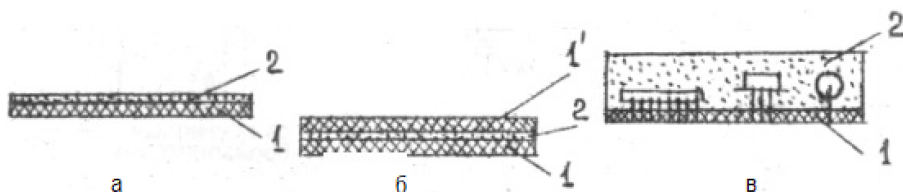
$A_0$  – рівноважна амплітуда, яка являє собою статичну деформацію пружного зв'язку під дією максимальної сили  $P_0$ , м;

$\omega$  – кругова частота зовнішньої збуджуючої сили, рад/с;  
 $\omega_0$  – власна резонансна частота (кругова), рад/с;  
 $n$  – коефіцієнт, що характеризує сили в'язкого тертя, рад/с.

### 3.1.4.1 Демпфування

З метою зменшення амплітуди коливань (особливо при резонансі) застосовують **демпфування** – зменшення добротності механічної системи за рахунок введення дисипативних елементів – елементів, які перетворюють механічну енергію у інші види, наприклад, у тепло. Демпфування полягає в поглинанні механічних коливань за рахунок тертя в матеріалі конструкції пружної опори (гума, поролон, вібропоглинаюче покриття тощо). Цей спосіб найчастіше використовується для захисту елементної бази, друкованих плат або окремих вузлів РЕЗ.

Конструктивно демпфування реалізується за допомогою вібропоглинаючих прокладок та покриттів. Суттєвий ступінь демпфування можна забезпечити, наприклад, використанням демпфуючих покриттів плат, шаруватих конструкцій або заливкою поверхні плати з елементами демпфуючими матеріалами (епоксідними смолами, компаундами тощо). Деякі варіанти конструкцій плат з демпфуванням наведені на рис. 3.2.



а – плата 1 з демпфуючим покриттям 2; б – плати 1 та 1' з вібропоглинаючим шаром 2; в – плата 1 з елементами, залита демпфуючим матеріалом 2

Рисунок 3.2 – Конструкції плат з демпфуванням

Використання демпфуючих покриттів та шаруватих конструкцій дозволяє зменшити значення коефіцієнту динамічності плат в області резонансів з декількох десятків до декількох одиниць. При цьому бажаного ефекту можна досягти, не збільшуючи (або збільшуючи незначно) габарити й масу виробу в цілому.

До недоліків демпфування слід віднести погіршення ремонтпридатності, виникнення значних внутрішніх напружень у

компаундах при їх полімеризації, залежність характеристик матеріалів покриттів та заливок від температури, зміна їх властивостей з часом. Крім того, величина розсіювання енергії механічних коливань за допомогою полімерних матеріалів залежить від багатьох чинників: частоти, амплітуди, форми коливань, складу компонентів, виду напруженого стану тощо, що значно ускладнює аналітичну оцінку ефективності демпфування та потребує застосування експериментальних методів, а це подовжує та удорожчує процес проектування.

### 3.1.4.2 Частотна селекція

**Частотна селекція** механічних коливань – це відстроювання механічної системи від частоти вібрації шляхом зміни її власної резонансної частоти  $f_0$  за рахунок жорсткості чи маси системи без її розв'язування від носія. Її суть полягає в тому, що система демпфування або віброізоляції в зарезонансній області є фільтром нижніх частот, а саме в цій області найчастіше знаходяться частоти зовнішніх впливів. Але треба пам'ятати, що при збігу власної резонансної частоти системи й частоти зовнішніх впливів система перейде у резонансний режим. Це слід враховувати при виборі системи віброзахисту для заданого діапазону частотних впливів.

### 3.1.4.3 Віброізоляція

**Віброізоляція** здійснюється для об'єктів, встановлених на деякій основі (у якості основи для елементів об'єкту може виступати нижня поверхня корпусу) шляхом установки між ними пружних опор (**амортизаторів**), які утворюють разом складну коливальну систему. При цьому одночасно відбувається відстроювання власної частоти амортизаційної системи від діапазону частот вібраційного впливу, тобто, віброізоляція поєднує властивості демпфування та частотної селекції механічних коливань.

Віброізоляція є найбільш ефективним способом віброзахисту, оскільки тільки в цьому випадку можна отримати значення коефіцієнта динамічності  $\mu < 1$  у діапазоні частот діючих вібрацій. Це пов'язане з тим, що установка блоків на амортизаторах забезпечує значення власних резонансних частот  $f_0$  в діапазоні від 10 Гц до 25 Гц, тому, починаючи з частот зовнішніх впливів від 30 Гц до 40 Гц і вище, забезпечується захист блоків з коефіцієнтом динамічності  $\mu < 1$ ,

причому, чим вище частота зовнішнього впливу, тим віброзахист ефективніший.

**Амортизацію** проводять звичайно для закінчених об'єктів цілком. Але у системах, які містять невелику кількість вузлів чи блоків, доцільно амортизувати тільки ці вузли. І тільки в дуже відповідальній техніці, яка працює в складних умовах експлуатації, амортизують одночасно і сам об'єкт, і його складові частини.

#### 3.1.4.4 Амортизатори

Амортизатори застосовують для захисту блоків РЕЗ від як від вібраційних, так і від ударних впливів.

Конструкція амортизатора обов'язково включає в себе пружний елемент (найчастіше це сталеве циліндричне або конічне пружина) і демпфуючий елемент, в якому енергія коливань розсіюється за рахунок явищ в'язкого або сухого тертя. За відсутності демпфуючого елемента енергія коливань може розсіюватися за рахунок внутрішнього тертя у матеріалі пружного елемента.

При виборі типів та типорозмірів амортизаторів слід враховувати, що вони одночасно повинні відповідати сукупності динамічних, кліматичних та конструктивних вимог.

Відповідно до **динамічних вимог** амортизатори повинні забезпечувати надійний вібро- і ударозахист за заданими напрямками і в заданому діапазоні частот, мати ефективне демпфування для швидкого гасіння коливань при резонансах, ударах і поштовхах, а частоти їхніх власних коливань повинні бути меншими за нижню граничну частоту  $f_H$  діапазону впливів під час експлуатації.

Відповідно до **експлуатаційних вимог** амортизатори повинні надійно функціонувати в заданих кліматичних умовах: за підвищеної або зниженої температури навколишнього середовища, в умовах впливу вологи, морського туману, сонячної радіації, пилу, грибків, плісняви.

Відповідно до **конструктивних вимог** амортизатори повинні функціонувати при заданій схемі навантаження, бути зручними для монтажу, взаємозамінними, мати невеликі масу та габаритні розміри.

За конструктивним виконанням та принципом дії розрізняють п'ять основних типів амортизаторів (див. рис. 3.3):

- гумометалеві;
- пружинні з повітряним демпфуванням;

- пружинні з фрикційним демпфуванням;
- суцільнометалеві зі структурним демпфуванням;
- пружино-полімерні.

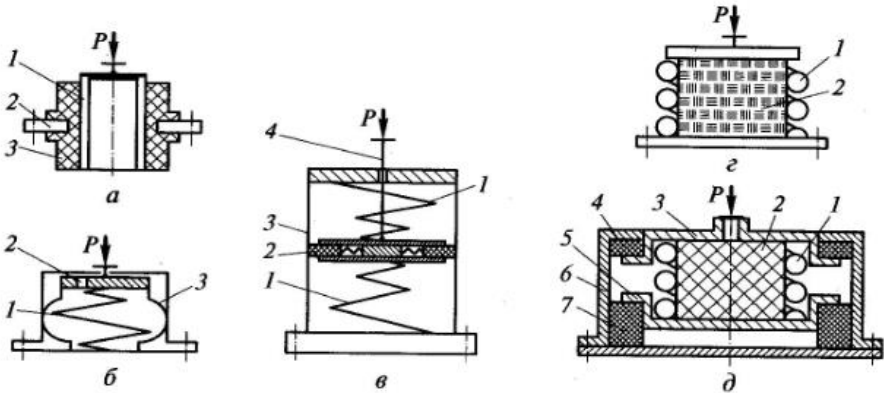


Рисунок 3.3 – Конструкції амортизаторів

**Гумометалеві амортизатори** (рис. 3.3 а) складаються з елементів металеві арматури 1 і 2 та фасонного гумового пружного і демпфуючого елемента 3, який з'єднується з ними за допомогою вулканізації. Амортизатори цього типу прості, компактні, технологічні і дешеві, мають велику навантажувальну здатність і можливість довільного орієнтувати їх відносно основи. Однак вони мають досить вузький діапазон робочих температур та обмежений термін служби через старіння гуми та ослаблення в процесі експлуатації зчеплення металу з гумою. Крім того, їх неприпустимо використовувати в агресивному середовищі, що містить пари бензину, олії тощо.

Найбільш стійкими є амортизатори на основі кремнійорганічної гуми (силікону), що майже не змінює своїх динамічних властивостей в діапазоні температур від  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ , що характеризуються значним внутрішнім демпфуванням і відносно невеликими змінами пружних властивостей.

В **пружинному амортизаторі з повітряним демпфуванням** типу АД (рис. 3.3, б) пружним елементом є фасонна пружина 1 (конічна або експоненційна), яка має нелінійну статичну характеристику. Ефект демпфування виникає внаслідок втрат енергії в потоці повітря, що протікає через калібрований отвір 2 гумової оболонки 3. Цей

амортизатор має властивість рівночастотності, тобто, незалежності частоти власних коливань від навантаження, проте його властивості, що демпфують, залежать від температури і змінюються внаслідок старіння гуми.

В *пружинних амортизаторах з фрикційним демпфуванням* типу АФД і АПН (рис. 3.3, в) пружний елемент складається з двох послідовно з'єднаних конічних пружин 1. Ефект демпфування виникає за рахунок сил сухого тертя між корпусом 3 і пружною пластмасовою діафрагмою 2, на яку спирається виріб, що захищається. Амортизатор має хороші експлуатаційні характеристики, проте при малих амплітудах коливань не забезпечує віброзахисту, оскільки для початку руху діафрагми слід подолати певну силу.

В *суцільнометалевих амортизаторах зі структурним демпфуванням* (рис. 3.3, г) типу АЦП відсутні деталі з органічних матеріалів, вони повністю виготовляються з металу. Металева пружина 1 намотана на структуру 2, яка може являти собою, наприклад, в'язану або плетену сітку у вигляді стрічок чи рукавів, яку гофрують, складають у заготовки потрібного розміру та опресовують. Демпфування коливань досягається за рахунок тертя всередині цієї структури, яке за демпфуючими властивостями подібне до в'язкого тертя. Змінюючи структуру петель, глибину й ширину гофру, чергуючи гофровані та негофровані сітки, можна отримати структурні елементи з різними пружними та демпфуючими властивостями.

До переваг суцільнометалевих амортизаторів відноситься можливість їхнього використання при великих питомих навантаженнях. Вони зазвичай виготовляються з антикорозійних та жароміцних сплавів, що дозволяє застосовувати їх в умовах агресивних середовищ, а також високих і низьких температур, оскільки при цьому характеристики амортизатора та його надійність не погіршуються.

До недоліків суцільнометалевих структур як матеріалу пружних елементів відноситься значно менший, чим, наприклад, у гуми, діапазон відносних пружних деформацій.

*Пружинно-полімерні амортизатори* типу АПП відрізняються від суцільнометалевих матеріалом подушки, в якості якого використовують полімерні матеріали.

Пружинно-полімерний амортизатор (рис. 3.3, д) складається з циліндричної пружини 1, навитої на полімерний демпфер 2,

розміщений в обоймах 3 і 5, що спираються на верхню 4 і нижню 7 полімерні прокладки. Конструкція розміщується в корпусі 6.

Для забезпечення стійкої роботи амортизатора в горизонтальній площині у якості пружного елемента використовують конічну або експоненційну пружину.

Такі властивості полімерних матеріалів, як значний коефіцієнт механічних втрат, можливість зміни в широких межах механічних характеристик, технологічність і простота виготовлення цих матеріалів конструкцій різної форми, дозволяють використовувати їх для виготовлення амортизаторів з хорошими віброізолюючими характеристиками. Ці амортизатори мають широкий частотний діапазон захисту, але їх параметри значною мірою залежать від температури і вологості навколишнього середовища.

На рис. 3.4, а показаний зовнішній вигляд пружинного амортизатора з повітряним демпфуванням опорної дії типу АПНМ, демпуючим елементом яких є пружина-спіраль; на рис. 3.4, б – сучасний пружинно-полімерний амортизатор типу ТА серії TUBUS, виготовлений з особливо пружного елемента на основі поліефіру.

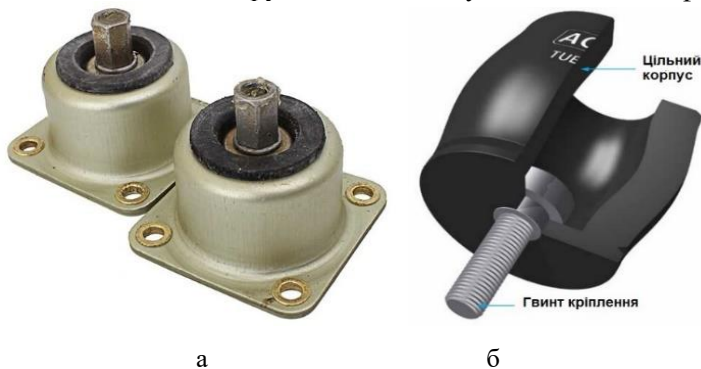


Рисунок 3.4 – Конструкції амортизаторів

На рис. 3.5 показаний зовнішній вигляд електронного блоку, встановленого на пружинні опорні амортизатори серії АП1.3.22-3.



Рисунок 3.5 – Електронний блок, встановлений на пружинні опорні амортизатори серії АПІ.3.22-3

Наприкінці слід відмітити, що при розробці систем віброзахисту конкретного РЕЗ та його складових частин слід обов'язково враховувати такі параметри, як габарити, маса, вартість, надійність і умови експлуатації.

### **3.1.5 Захист РЕЗ від впливу ударів, лінійних прискорень та акустичних шумів**

Реакція елементів та РЕЗ в цілому на *ударні навантаження* визначається не тільки величиною амплітуди прискорення ударного імпульсу, що впливає, але і співвідношенням тривалості ударного імпульсу і періоду власного коливання об'єкта.

Найбільша величина відгуку спостерігатиметься у конструктивних елементів, напівперіод власних коливань яких дорівнює або менший за тривалість ударного імпульсу, тобто, чим коротший ударний імпульс, тим менша кількість конструктивних елементів РЕЗ максимально реагуватиме на таку дію. Завдяки цьому

можна використовувати системи віброізоляції для захисту блоків РЕЗ і від ударних навантажень.

При проектуванні подібних систем віброізоляції слід мати на увазі, що застосування занадто м'яких низькочастотних амортизаторів при ударному навантаженні може призвести до їхньої деформації до упору та втрати ефективності захисту, тому для захисту від ударних навантажень рекомендується використовувати жорсткіші високочастотні амортизатори, які можуть забезпечити при максимальному навантаженні значення власних частот систем віброізоляції від 25 Гц до 30 Гц (див. рис. 3.6).

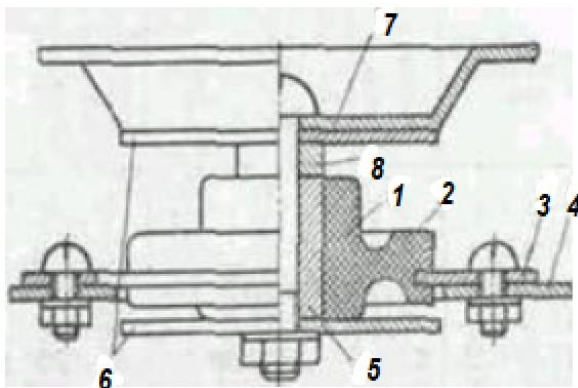


Рисунок 3.6 – Конструкція амортизатора для захисту від вібраційних та ударних впливів

Позначення на рис. 3.6:

- 1 – гумова шайба;
- 2 – поверхня гумової шайби, яка сприймає ударні навантаження;
- 3 – пластина;
- 4 – основа, на якій закріплений РЕЗ;
- 5 – втулка;
- 6 – шайби, що обмежують;
- 7 – футляр РЕЗ;
- 8 – втулка, що збільшує робочий хід амортизатора.

Але такі амортизатори погано захищають апарат від дії вібрацій, тобто, при необхідності захистити РЕЗ від впливу вібрації та

ударів одночасно до амортизатора висувають явно суперечливі вимоги. Для вирішення цього протиріччя у одній конструкції об'єднують амортизатори двох типів: м'якого для захисту від вібрацій та жорсткого для захисту від ударів. При цьому більш жорсткий (протиударний) амортизатор не повинен включатися в роботу, коли на апарат діють вібраційні перевантаження. При впливі значних ударних перевантажень, після того як м'який амортизатор деформувався на величину свого робочого ходу, зусилля, що виникають, повинен сприймати жорсткий протиударний амортизатор.

Прикладом такого амортизатора є амортизатор типу АД, конструкція якого наведена на рис. 3.7.

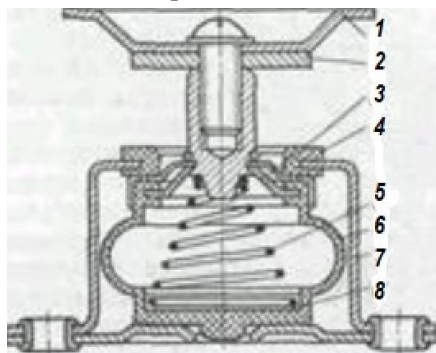


Рисунок 3.7 – Конструкція амортизатора типу АД

Позначення на рис. 3.7:

- 1 – футляр РЕЗ;
- 2 – шайба, що обмежує;
- 3 – калібрований отвір;
- 4 – гумовий фланець, що обмежує хід амортизатора;
- 5 – пружина амортизатора;
- 6 – гумовий балон;
- 7 – корпус амортизатора;
- 8 – опорна пластина.

У амортизаторі, що зображений на рис. 3.7, пружним елементом є спіральна пружина, сконструйована таким чином, що при збільшенні навантаження витки пружини, що входять один в одний, осідають на опорну пластину і виключаються з роботи, що призводить до збільшення жорсткості амортизатора. Пружина цього амортизатора

поміщена в гумовий балон, що має калібрований отвір. При деформації пружини повітря виходить через цей отвір, за рахунок чого створюється додаткове загасання.

Захист від *лінійних навантажень*, які характеризуються впливом на РЕЗ та його елементи інерційних сил, що змінюються з часом досить повільно, зводиться до збільшення властивостей міцності конструктивних елементів та їхньої жорсткості. Ці заходи, які можна оцінити методами технічної механіки, при впливі на об'єкти статичних сил запобігають руйнуванню конструкції та неприпустимому відхиленню їх частин від стандартного положення, що може призвести до коротких замикань, дотиків елементів тощо.

Захист від *акустичних шумів* забезпечується конструкторським демпфуванням (застосуванням вібропоглинаючих покриттів та шаруватих конструкцій друкованих плат) та використанням звукоізолюючих перегородок.

### **3.1.6 Способи підвищення міцності й жорсткості компонентів та вузлів конструкцій**

Під *міцністю* мається на увазі навантаження, яке конструкція може витримати без залишкових деформацій і руйнування.

*Жорсткість* являє собою відношення сили, яка діє на конструкцію, до деформації, викликаної цією силою.

Для підвищення міцності й жорсткості компонентів та вузлів конструкції іноді збільшують товщину деталей, кількість точок кріплення, вводять додаткові перегородки, ребра жорсткості тощо. Можливості цих методів обмежені, оскільки збільшення міцності при цьому зазвичай супроводжується нарощуванням маси, а це призводить до зростання динамічних навантажень.

Замість цього при проектуванні деталей та вузлів несучих конструкцій важливим елементом підвищення міцності і жорсткості є правильний вибір матеріалів та форми як самої деталі, так і її елементів. При цьому для досягнення необхідного ефекту можна оперувати як маркою матеріалу, так і геометричними розмірами й формою елементів несучої конструкції.

Так, для підвищення міцності рекомендується застосовувати матеріали з підвищеною пластичністю.

Оптимальну жорсткість деталей можна отримати наступними способами:

– у листових деталях вводити відбортування, видавки, ребра жорсткості та інші елементи, що підвищують жорсткість;

– для поєднання стрижневих деталей каркасів і рам вводити косинки, які значно підвищують жорсткість останніх;

– напруження вигину в деталях замінювати напруженням розтягування-стискування, вводячи додаткові стрижні (наприклад, прогин консольної балки, що працює на вигин, можна значно зменшити, якщо знизу підперти її стрижнем, що працює на стискування);

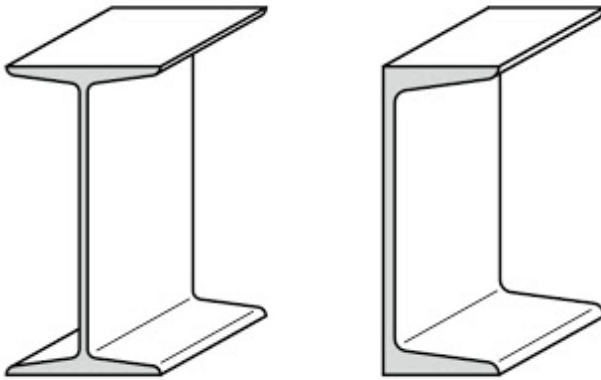
– широко застосовувати гнуті профілі прокату, які виготовляються з листового матеріалу та є більш економічними за масою порівняно зі стандартними профілями;

– вводити в деталі отвори, виїмки, проточки, щоб вилучити зайвий матеріал, який не несе навантаження.

Для плоских конструкцій (панелі, основи, планки тощо) кращою формою є квадрат. Але слід зауважити, що плоскі деталі з перерізом у формі прямокутника мають невисокі механічні властивості, у першу чергу, жорсткість, через великі значення прогинів у точках, віддалених від точок закріплення деталі.

Для зменшення прогинів рекомендуємо співвідношення сторін для таких деталей – не більш, ніж 2:1. Якщо з конструктивних міркувань потрібне більше співвідношення сторін, слід передбачити додаткові точки закріплення впродовж довгої сторони.

Раціональний вибір форми *деталей несучих конструкцій* пов'язаний з матеріалом і методом виготовлення. При цьому слід віддавати перевагу ефективним формам перерізів, які дозволяють витримувати більші механічні навантаження при меншій площі. Найраціональнішими з цього погляду є перерізи у формі швеллера, тавра і двотавра (див. рис. 3.8).



а) – двутавр      б) – швелер

Рисунок 3.8 – Раціональні профілі

На рис. 3.9 показаний корпус РЕЗ з ребрами жорсткості, виконаний методом лиття під тиском, на рис. 3.10 – сталевий штампований корпус з відбортуванням стінок.



Рисунок 3.9 – Корпус РЕЗ з ребрами жорсткості, виконаний методом лиття під тиском



Рисунок 3.10 – Штампований корпус РЕЗ з відбортунням стінок

Загальні приклади конструктивних рішень, які дозволяють підвищити жорсткість як виробу в цілому, так і його елементів, наведені на рис. 3.11.

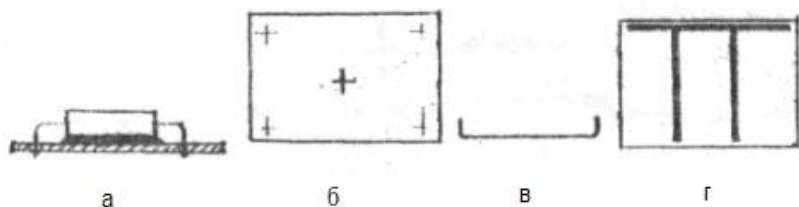


Рисунок 3.11 – Конструктивні рішення, які дозволяють підвищити жорсткість деталей та вузлів

На рис. 3.11, а показано підвищення жорсткості кріплення електрорадіоелемента збільшенням площі кріплення за допомогою клею, на рис. 3.11, б – застосування додаткових точок кріплення плати, на рис. 3.11, в – застосування відбортуння та профілювання деталей несучих конструкцій, на рис. 3.11, г – підвищення жорсткості деталей застосуванням ребер жорсткості.

У деталях несучих конструкцій також рекомендується вводити полегшуючі отвори в місцях, що не несуть механічних навантажень.

### 3.1.7 Захист від механічних впливів друкованих плат

При проектуванні *друкованих плат* слід враховувати ряд конструктивних вимог, спрямованих на забезпечення захисту від механічних впливів. Особливо важливим це є для РЕЗ, які експлуатуються у процесі руху (транспортованих або портативних).

3.1.7.1 Форму плати рекомендується обирати близькою до квадрату, а якщо це неможливе, співвідношення сторін не повинно перевищувати 2:1.

3.1.7.2 Якщо співвідношення сторін плати перевищує 2:1, впродовж довгої сторони слід передбачити додаткові точки кріплення.

3.1.7.3 Елементи на платі рекомендується розміщувати за можливістю рівномірно; бажано, щоб центр мас був якнайближче до геометричного центру плати.

3.1.7.4 Якщо на платі є крупногабаритні та масивні елементи, слід розміщувати їх поблизу точок кріплення плати, тому що в цих точках прогин плат найменший.

3.1.7.5 Елементи на друкованих платах закріплюються за допомогою пайки виводів. Однак при значних зовнішніх впливах і у випадку установки на плату крупногабаритних та масивних елементів слід використовувати додаткові кріплення: локальні (кріплення окремих елементів за допомогою клейового, різьбового з'єднання, і т. ін.) або групові (залівка плати компаундом).

3.1.7.6 Для підвищення віброзахисту рекомендується покривати лаком плату разом з встановленими елементами; це не тільки забезпечує захист від вібрації, а й створює додаткові точки кріплення елементів.

### 3.1.8 Захист від механічних впливів складальних одиниць та виробу в цілому. Стопоріння

Вибір форми *корпусу РЕЗ* пов'язаний з наступними параметрами: площиною зовнішньої поверхні, коефіцієнтом заповнення площин і коефіцієнтом заповнення об'єму.

Найоптимальнішими є форми сфероїда й кулі, однак ці форми незручні в експлуатації. Тому при виборі форми виробу за характеристиками міцності й жорсткості перевагу віддають формі куба.

Компонувати окремі компоненти у виробі слід таким чином, щоб змістити центр мас всього виробу нижче його геометричного центру.

При цьому, при закріпленні окремих вузлів необхідно уникати консолей, тобто, закріплення з одним жорстко зафіксованим кінцем (опорою).

При проектуванні методів з'єднань перевагу бажано віддавати **нероз'ємним з'єднанням**. Але це здебільшого неприпустимо, бо при цьому погіршуються показники ремонтпридатності, технологічності, теплового режиму, тому найчастіше використовують **роз'ємні з'єднання** (наприклад, різьбові). Для поліпшення показників міцності та надійності різьбові з'єднання слід захищати від самовідгвинчування за допомогою **стопоріння**.

Існують різні способи стопоріння, серед яких найбільш відомі:

- використання стопорних (пружинних) шайб;
- стопоріння за допомогою контргайки;
- стопоріння за допомогою кернення;
- стопоріння фарбою.

Застосування **стопорних (пружинних) шайб** забезпечує високу ремонтпридатність та надійність з'єднання. На рис. 3.12 наведена конструкція найбільш розповсюдженої стандартної пружинної шайби.



Рисунок 3.12 – Конструкція пружинної шайби

Незважаючи на суттєві переваги цього способу, він неприйнятний для деяких видів з'єднань, наприклад, коли використовуються гвинти з потайною головкою.

Стопоріння за допомогою **контргайки** можливе тільки для з'єднань типу гвинт-гайка і не може бути застосоване у тих випадках, коли гвинт з'єднується з різьбовим отвором у самій деталі.

Стопоріння за допомогою *кернення* є досить надійним, але при цьому не забезпечується ремонтпридатність виробу.

Найбільш універсальним та розповсюдженим способом стопоріння є стопоріння *фарбою*.

Існують різні варіанти такого стопоріння, які залежать від марки фарби та місця, куди вона наноситься (під головку гвинта, на різьбову частину гвинта, на різьбу гайки, у різьбовий отвір тощо).

Вибір варіанта залежить від конструкції різьбового з'єднання.

При виконанні *електромонтажу* слід використовувати механічне закріплення кабелів і окремих проводів (за допомогою приклеювання, скоб, хомутів). Обов'язково механічно закріплюються проводи, кабелі, шнури, що виходять із корпусу виробу.

### **3.1.9 Захист РЕЗ при транспортуванні**

Будь-які РЕЗ, в тому числі й стаціонарні, піддаються впливу вібрацій та ударів під час транспортування від підприємства-виробника до споживача, а також при проведенні вантажно-розвантажувальних робіт. Для захисту від цих впливів, кліматичних чинників та збереження товарного вигляду застосовується пакування РЕЗ та їхніх елементів у спеціальну пакувальну тару.

Вибір пакувальної тари залежить від особливостей конструкції виробу, його форми, складових частин, масогабаритних характеристик, особливостей транспортування тощо.

Найчастіше пакувальна тара являє собою досить жорсткий контейнер з дерева, картону або пластику та пакувальних прокладок, що встановлюються між стінками контейнера та виробом. Матеріалом для таких прокладок може бути гофрований картон, пінопласт, полістірол, пінополіуретан тощо.

Для найбільш чутливих електронних пристроїв та їхніх аксесуарів застосовуються спеціальні фіксатори з поліетилену, поліпропілену та інших пластиків, які можна комбінувати з іншими матеріалами. Такі фіксатори, сконструйовані у точній відповідності до форми та ваги виробу, забезпечують надійний захист від механічних пошкоджень при транспортуванні.

На рис. 3.13 – 3.16 наведені різні варіанти пакувальної тари для електронних пристроїв.



Рисунок 3.13 – Ложемент з пінопласту та картону для безпечного транспортування електронного пристрою з картону та пенопласту



Рисунок 3.14 – Ложемент з поролону для транспортування крихкого електронного пристрою у алюмінієвому кейсі



Рисунок 3.15 – Радіоелектронний пристрій у поліетиленовому фіксаторі

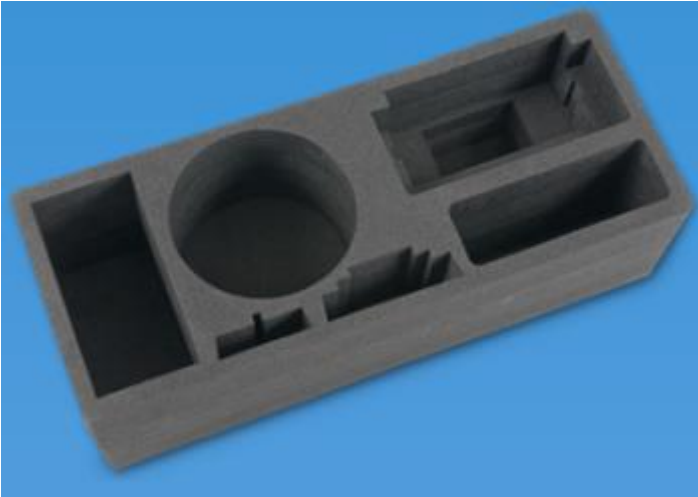


Рисунок 3.16 – Фіксатор з сітчастої поліетиленової піни для пакування негабаритних та складних деталей

### 3.2 Контрольні питання

- 1 Статичні та динамічні механічні впливи.
- 2 Вібрації. Джерела вібрацій. Види вібрацій.
- 3 Якими параметрами характеризується гармонійна вібрація?
- 4 Удари. Класифікація, параметри, джерела ударів.
- 5 Лінійні прискорення. Джерела лінійних прискорень.
- 6 Явище механічного резонансу, чим воно небезпечне? Що таке власна резонансна частота, від яких чинників вона залежить?
- 7 Як впливають механічні чинники на працездатність РЕЗ?
- 8 Що таке вібро- та удароміцність? Для яких систем слід її забезпечувати?
- 9 Що таке вібро- та ударостійкість? Для яких систем слід її забезпечувати?
- 10 Способи захисту від механічних впливів.
- 11 Що таке коефіцієнт динамічності? Як він визначається?
- 12 У чому полягає демпфування? Як воно реалізується? Недоліки демпфування.
- 13 У чому полягає частотна селекція? Як вона реалізується?
- 14 У чому полягає віброізоляція? Амортизація як спосіб забезпечення віброізоляції. Вимоги до амортизаторів.
- 15 Гумометалеві амортизатори: конструкція, переваги, недоліки.
- 16 Пружинні амортизатори з повітряним демпфуванням: конструкція, переваги, недоліки.
- 17 Пружинні амортизатори з фрикційним демпфуванням: конструкція, переваги, недоліки.
- 18 Суцільнометалеві амортизатори зі структурним демпфуванням: конструкція, переваги, недоліки.
- 19 Пружинно-полімерні амортизатори: конструкція, переваги, недоліки.
- 20 Захист РЕЗ від впливу ударів, лінійних прискорень та акустичних шумів. Особливості протиударних амортизаторів.
- 21 Способи забезпечення оптимальної міцності та жорсткості.
- 22 Раціональний вибір форми деталей. Економічні профілі.
- 23 Захист від механічних впливів друкованих плат.
- 24 Стопоріння різьбових з'єднань.
- 25 Захист РЕЗ при транспортуванні.

### **3.3 Порядок виконання роботи**

3.3.1 Отримати у викладача об'єкт дослідження.

3.3.2 Для об'єкту дослідження визначити:

- призначення та особливості експлуатації;
- групу експлуатації за об'єктом установки;
- кліматичні умови та категорію розміщення;
- якісні та кількісні характеристики механічних впливів, що можуть діяти на об'єкт дослідження;
- елементи конструкції матеріалів, критичні до механічних впливів.

3.3.3 Проаналізувати об'єкт з точки зору захисту конструкції від механічних впливів.

3.3.4 Виявити вдалі конструкторські рішення, спрямовані на забезпечення вимог захисту конструкції від механічних впливів.

3.3.5 Виявити недоліки конструкції з точки зору захисту конструкції від механічних впливів.

3.3.6 Запропонувати варіанти технічних рішень спрямованих на усунення знайдених недоліків.

### **3.4 Зміст звіту**

3.4.1 Тема та мета роботи.

3.4.2 Відповіді на контрольні питання (за вказівкою викладача).

3.4.3 Опис об'єкта аналізу відповідно до пункту 3.3.2.

3.4.4 Результати аналізу об'єкта на відповідність вимогам захисту конструкції від механічних впливів.

3.4.5 Короткий опис запропонованих варіантів модернізації об'єкта.

3.4.6 Висновки.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 7655:2014 Вироби електронної техніки. Загальні вимоги щодо надійності та методи випробування. [Чинний від 2014–01–01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2014. 9 с.
2. ДСТУ 8216:2015. Вироби електронної техніки. Класифікація за умовами застосування та вимоги стійкості до зовнішніх впливових чинників. [Чинний від 2017–01–04]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2017. 11 с.
3. ГОСТ 11478-88 Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Технические требования и методы испытаний в части механических и климатических воздействий [Взамен ГОСТ 11478-83; введ. 1990-01-01]. Изд-во стандартов, 1993. 44 с.
4. 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 [Введ. 1971-01-01]. М.: Стандартинформ, 2006. 60 с.
5. Ольшевський С.В. Конструювання радіоелектронних засобів : конспект лекцій за курсом. Київ : Київ. нац. ун-т ім. Тараса Шевченка, 2014. 99 с.
6. Конструювання та технологія виробництва техніки реєстрації інформації: У 3-х кн. : навчальний посібник. / Є.М. Травніков та ін.; за загальною редакцією В. С. Лазебного. К.: "КАФЕДРА", 2015. Кн. 2. Основи конструювання. 285 с.: іл.
7. Ганжа С.М. Основи конструювання електронних засобів : підручник. Луганськ : Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля. 2011, 491 с.
8. Хіль М.І., Арушанов О.П., Ганжа С.М., Герасименко Є.П. Навчальне проектування радіоелектронних апаратів : навч. посіб. Луганськ : Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, Технол. ін-т., 2011. 227 с.
9. Задерейко О.В., Панов Л.І., Циганов О.В. Конструювання і технологія радіоелектронної апаратури : навч. посіб. К.: Наука і техніка, 2007. 122 с.