

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

С.Т. Барась, Р.Ф. Лободзінська, О.О. Лазарев

КОНСТРУЮВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Затверджено Вченою радою Вінницького національного технічного університету як навчальний посібник для студентів приладобудівного профілю. Протокол № 6 від 27 січня 2004 року.

Вінниця ВНТУ 2004

УДК 621 382 (075.8)

Б 24

*Рецензенти*

**В. М. Кичак**, доктор технічних наук професор

**С. М. Злепко**, доктор технічних наук професор

**А. Т. Теренчук**, кандидат технічних наук доцент

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

**Барась С. Т., Лободзінська Р. Ф., Лазарєв О. О.**

Б 24 **Конструювання радіоелектронних засобів телекомунікаційних систем.** Навчальний посібник.- Вінниця: ВНТУ, 2004 – 82 с.

В посібнику розглянуті основні теоретичні та практичні питання проектування телекомунікаційних систем, радіоелектронних вузлів, друкованих плат та деталей конструкції. Посібник призначений для вивчення теоретичного матеріалу, виконання практичних завдань та курсових проектів студентами вищих та середніх спеціальних навчальних закладів спеціальностей “Технології та засоби телекомунікацій”, “Біотехнічні та медичні апарати і системи”.

УДК 621 382 (075.8)

ПЕРЕДМОВА.....	6
Глава 1 ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО КОНСТРУКЦІЇ ТА РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	8
1.1 Вимоги до показників призначення РЕА.....	8
1.2 Вимоги до стійкості РЕА при дії механічних та кліматичних факторів.....	8
1.3 Вимоги до надійності РЕА.....	14
1.4 Вимоги ергономіки та естетики.....	15
1.5 Вимоги до технологічності та уніфікації.....	15
1.6 Вимоги до технологічності та уніфікації.....	16
1.7 Патентно-правові вимоги.....	17
1.8 Вимоги безпеки РЕА.....	17
Глава 2 СХЕМНА ДОКУМЕНТАЦІЯ НА РАДІОЕЛЕКТРОННІ ЗАСОБИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ.....	19
2.1 Класифікація та позначення схем.....	19
2.2 Умовне графічне та літерне позначення елементів.....	19
2.3 Спрощення у схемах.....	20
2.4 Оформлення переліку елементів.....	20
Глава 3 ПРОЕКТНИЙ АНАЛІЗ КОНСТРУЮВАННЯ ПРИБОРІВ ТКС.....	21
3.1 Аналіз вимог технічного завдання.....	21
3.2 Аналіз принципової схеми.....	21
3.3 Аналіз елементної бази.....	22
3.4 Аналіз аналогічних конструкцій.....	22
3.5 Перелік вимог до конструкції.....	23
Глава 4 Компонування пристроїв телекомунікаційних систем.....	24
4.1 Компонування приладу.....	24
4.2 Вибір оптимального варіанта конструкції.....	25
4.3 Складання компоновального ескізу приладу.....	26
Глава 5 КОНСТРУЮВАННЯ ВУЗЛА РЕЗ З ДРУКОВАНИМ МОНТАЖЕМ.....	27
5.1 Вихідні дані для розробки.....	27
5.2 Особливості електромонтажу мікроелектронної апаратури.....	27
5.3 Компонування друкованої плати.....	28
5.3.1 Ручний метод конструювання.....	28
5.3.2 Напівавтоматизований метод конструювання.....	30
5.3.3 Автоматизований метод конструювання.....	30
5.4 Конструювання друкованої плати.....	30
5.5 Розміщення друкованих провідників на платі.....	33
5.6 Розрахунок друкованого монтажу.....	34
5.6 Розрахунок ширини друкованих провідників.....	36
5.7 Особливості конструювання друкованих плат.....	38

Глава 6 РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЙ НА МЕХАНІЧНІ ДІЇ .....	39
6.1 Розрахунок на дію вібрацій .....	39
6.2 Розрахунок на дію удару .....	42
Глава 7 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ .....	44
7.1 Оцінювання завадостійкості.....	44
7.2 Розрахунок електромагнітного екранування.....	48
7.2.1 Розрахунок магнітостатичного екрана.....	49
7.2.2 Розрахунок електростатичного екрана.....	51
7.2.3 Розрахунок електромагнітних екранів у дальній зоні випромінювання.....	52
7.2.4 Розрахунок електромагнітних екранів у ближній зоні випромінювання.....	53
7.2.6 Багатошарові екрани .....	54
Глава 8 РОЗРОБКА КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА ДРУКОВАНІ ВУЗЛИ .....	56
8.1 Розробка креслення друкованої плати .....	56
8.1.1 Методика розробки креслення друкованої плати.....	56
8.1.2 Основні вимоги до оформлення креслення .....	57
8.2 Розробка складального креслення друкованої плати .....	58
8.2.1 Зміст і позначення складального креслення.....	58
8.2.2 Методика розробки складального креслення.....	58
8.2.3 Спрощення у складальному кресленні .....	59
8.2.4 Технічні вимоги.....	59
8.2.5 Специфікація.....	59
Глава 9 КОНСТРУЮВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ.....	61
9.1 Конструювання наземної професійної стаціонарної апаратури .....	61
9.2 Конструювання наземної професійної пересувної апаратури.....	61
9.3 Конструювання наземної переносної професійної апаратури.....	62
9.5 Конструювання морської телекомунікаційної апаратури.....	63
9.6 Конструювання бортової телекомунікаційної апаратури.....	63
9.7 Розробка складального креслення пристроїв .....	64
9.7.1 Проектування несівних конструкцій РЕА ТКС.....	65
9.7.2 Методика розробки складального креслення РЕА.....	66
9.7.3 Технічні вимоги.....	66
Глава 10 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОМОНТАЖНОГО КРЕСЛЕННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ БЛОКІВ .....	68
10.1 Основні завдання при розробленні електромонтажного креслення .....	68
10.2 Зміст і позначення електромонтажного креслення.....	69
10.3 Технічні вимоги.....	69
10.4 Специфікація.....	70
10.5 Таблиця з'єднань .....	70
10.6 Методика розробки електромонтажного креслення.....	70
Глава 11 КОНСТРУЮВАННЯ СКЛАДОВИХ ДЕТАЛЕЙ КОНСТРУКЦІЇ .....	72
11.1 Вихідні дані для розробки панелі керування.....	72
11.2. Основні вимоги до креслення.....	72

11.3 Послідовність виконання креслення панелі .....	72
11.4 Оформлення основного напису і технічних вимог .....	73
11.5 Конструювання деталей із пластичних мас .....	74
11.6 Конструювання деталей методом штампування .....	76
Додаток А .....	78
Література .....	82

Конструювання радіоелектронних засобів телекомунікаційних систем є одним з важливих етапів створення сучасної електронної техніки, яке базується на новітніх досягненнях схемотехніки, комплексної мікромініатюризації та технології виробництва. В конструкторських підрозділах повинні розроблятися інженерні рішення що забезпечують три основні рішення: мікромініатюризація, надійність та технологічність.

Проблема комплексної мікромініатюризації в телекомунікаційних системах ускладнюється з розвитком мікроелектроніки і мікропроцесорної техніки, особливо за такими показниками, як функціональна значимість, рівень уніфікації і апаратурної складності. Це обумовлено тим, що впровадження мікроелектроніки не може здійснюватись шляхом простої заміни старої елементної бази на нову. У більшості випадків потребує зміни структури систем і навіть нових принципів її побудови.

Досконалість і перспективність конструкторських рішень в значній мірі залежить і від особистості конструктора. Конструктор повинен володіти різносторонніми знаннями, працелюбством, загальною культурою, широким поглядом, цілеспрямованістю.

Основна мета курсу – навчити майбутнього інженера, використовуючи знання, отримані при вивченні попередніх дисциплін конструкторського напрямку, створювати нові та модернізувати існуючі конструкції радіоелектронних засобів телекомунікаційних систем в цілому та окремих її частин для використання в різних умовах експлуатації, забезпечивши при цьому мініатюризацію та сумісність з об'єктом установлення і оператором.

В процесі конструкторської підготовки, студенти повинні навчитися творчо застосовувати на практиці основні стандарти ЄСКД, нормативні документи, довідники з конструювання радіоелектронних засобів телекомунікаційних систем, складальних одиниць та деталей, сучасні інженерні методи конструювання радіоелектронних засобів з орієнтуванням на прогресивну технологію та сучасну елементну базу.

Даний навчальний посібник призначений для студентів, які навчаються за спеціальністю "Технології та засоби телекомунікацій". В посібнику розглянуті питання електромагнітної сумісності, захисту від механічних впливів, внутрішнє та зовнішнє конструювання зі всіма необхідними розрахунками. Розділи посібника побудовані таким чином, що студенти можуть користуватись ним при вивченні теоретичного курсу, виконанні практичних занять, курсового проекту та самостійній роботі над дисципліною.

## ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

ІМС - інтегральна мікросхема  
УГП - умовне графічне позначення  
УЛП - умовне літерно-цифрове позначення  
ЕРЕ - електрорадіоелементи  
ФВ - функціональний вузол  
ТЗ - технічне завдання  
РЕА - радіоелектронна апаратура  
ОК - органи керування  
ДП - друкована плата  
БДП - багатошарова друкована плата  
ЕМС - електромагнітна сумісність  
КД - конструкторська документація  
РЕЗ - радіоелектронні засоби  
КП - контактна площадка  
ТКС - телекомунікаційні системи

# Глава 1 ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО КОНСТРУКЦІЇ ТА РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

РЕА, яка проектується, повинна відповідати світовому рівню на передбачений момент виробництва і експлуатації, найбільш повно задовольняти вимоги споживачів. Вимоги до конструкції визначаються її призначенням, умовами експлуатації, типом виробництва.

## 1.1 Вимоги до показників призначення РЕА

Ця група вимог встановлює основні технічні характеристики виробу, які визначають її функціональну спрямованість:

- радіотехнічні характеристики функціонального призначення (режими роботи, параметри сигналів, вихідні параметри, індикація);
- експлуатаційні показники (споживана потужність, діапазон частот, смуга пропускання, швидкодія);
- класифікаційні характеристики об'єкта установки, які визначаються відповідно до таблиці 1.1.

## 1.2 Вимоги до стійкості РЕА при дії механічних та кліматичних факторів

В залежності від місця експлуатації, розрізняють дев'ять основних кліматичних виконань виробів:

- виконання У – для районів з помірним кліматом, який відповідає середньорічному діапазону температури від  $-45^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ ;
- виконання УХЛ – для районів з помірним і холодним кліматом при середньорічному мінімумі нижче  $-45^{\circ}\text{C}$ ;
- виконання ТВ – для районів з вологим тропічним кліматом, при температурі вище  $+20^{\circ}\text{C}$  і вологості 80%;
- виконання ТС – для районів з сухим тропічним кліматом і температурою вище  $+40^{\circ}\text{C}$ ;
- виконання М – для районів з помірно холодним морським кліматом (моря, океани, прибережні території), розміщені північніше  $30^{\circ}\text{C}$  північної широти та південніше  $30^{\circ}\text{C}$  південної широти;
- виконання ТМ – для районів з тропічним морським кліматом, розміщених між  $30^{\circ}\text{C}$  північної широти та  $30^{\circ}\text{C}$  південної широти;
- виконання О – загальнокліматичне виконання для суші;
- виконання ОМ – загальнокліматичне морське виконання;
- виконання В – все кліматичне виконання.

Побутову РЕА в залежності від умов експлуатації і категорії розміщення розділяють на такі групи: 1 – апаратура, яка працює в житлових приміщеннях; 2 – автомобільна апаратура, вмонтована в кузов; 3 – пере-



носна апаратура, що працює на відкритому повітрі; 4- апаратура, що працює на відкритому повітрі, в умовах руху. Такі пристрої мають витримувати нормативні дії наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.1 – Класифікаційна характеристика РЕА

Клас використання	Група використання	Підгрупа використання
Наземна	Стаціонарна	Побутова
		Професійна
	Пересувна	Побутова
		Професійна
	Переносна	Побутова
		Професійна
Морська	Судова	
	Буйкова	
Бортова	Літакова	
	Ракетна	
	Космічна	

Наземну професійну РЕА в залежності від умов експлуатації і категорії розміщення розділяють на такі групи: 1 – стаціонарна, яка працює в опалюваних наземних і підземних спорудженнях; 2 – стаціонарна, що працює на відкритому повітрі або в неопалюваних наземних та підземних спорудженнях; 3 – пересувна, яка встановлена в автомобільному транспорті, який працює на ходу; 4 – пересувна, що встановлена у внутрішніх приміщеннях річкової судноплавної техніки; 5 – пересувна, яка встановлена на пересувних залізничних об'єктах і працює на ходу; 6 – переносна і портативна, призначена для довготривалого перенесення на відкритому повітрі; 7 – портативна, призначена для довготривалого перенесення на відкритому повітрі при забезпеченні зовнішніх впливів. Дана апаратура повинна витримувати нормативні впливи, наведені в таблиці 1.3.

Морську РЕА в залежності від умов експлуатації і категорії розміщення розділяють на дві групи: 1 – розміщена у внутрішніх приміщеннях; 2 – розміщена на відкритих палубах.

Дана апаратура повинна витримувати нормативні впливи, наведені в таблиці 1.4.

Для бортової апаратури групи виконання встановлюються за окремими видами впливів (таблиця 1.4). За ударними діями виділяються три групи виконання: 1 - для центральної зони розміщення в літаку; 2 – для кінцевої зони розміщення дозвукових літаків; 3 - для кінцевої зони розміщення звукових літаків.

За тепловими діями класифікують на три групи: 1- пристрої, розміщені у відсіках з регульованою температурою; 2 - пристрої, розміщені у відсіках з нерегульованою температурою; 3- пристрої у відсіках двигуна.

Таблиця 1.2–Норми кліматичних та механічних впливів побутової РЕА

Вид впливу	Норма впливу			
	1-група	2-група	3-група	4-група
Ударна стійкість: - прискорення, g - тривалість імпульсу удару, мс - число ударів, не менше	- - -	10 16 20	- - -	10 16 20
Ударна міцність: - прискорення, g - тривалість імпульсу удару, мс - число ударів, не менше	- - -	10 16 1000	- - -	- - -
Міцність при транспортуванні: - прискорення, g - тривалість імпульсу удару, мс - число ударів, не менше	15 11 1000	- 11 1000	15 11 1000	15 11 1000
Відсутність резонансу: - амплітуда, мм - частота, Гц	- -	0,15 10-55	- -	- -
Вібростійкість: - прискорення, g - частота, Гц	- -	2 150	- -	- -
Теплостійкість: - робоча температура, °С - гранична температура, °С	40 55	40 55	40 55	40 55
Атмосферний тиск, кПа	70	70	70	70
Холодостійкість: - робоча температура, °С - гранична температура, °С	- - 40	- 10 - 40	- 10 - 40	- 10 - 40
Вологостійкість: - вологість, % - температура, °С	93 25	93 25	93 25	93 25

Таблиця 1.3 – Кліматичні і механічні впливи наземної професійної РЕА

Вид зовнішніх факторів	Норми впливів						
	1 група	2 група	3 група	4 група	5 група	6 група	7 група
<b>Вібростійкість:</b> - амплітуда віброприскорення, g - діапазон частот, Гц	-	-	0,8 – 3,7 10 – 70	0,25 – 1,1 10 – 30	0,25 – 1,1 10 – 70		0,25 – 1,1 10 – 30
<b>Віброміцність:</b> - амплітуда віброприскорення, g - частота вібрації, Гц			1 – 4 10 – 70	1 – 4 10 – 30	1 – 4 10 – 70		1 – 4 10 – 30
<b>Відсутність резонансу в конструкції:</b> - амплітуда віброприскорення, g - частота вібрації, Гц-	0,5 – 0,8 10 – 30						
<b>Ударна стійкість:</b> - тривалість ударного імпульсу, мс - прискорення пікове, g - загальне число ударів, не менше	-	-	5 – 10 15	5 – 10 15	5 – 10 15	5 – 10 10	-
	60						
<b>Ударна міцність:</b> - тривалість ударного імпульсу, мс - прискорення, g - загальне число ударів, не менше	-		15 – 10 15	15 – 10 15	15 – 10 15	15 – 10 10	15 – 10 10
	12000						600
<b>Міцність при транспортуванні:</b> - тривалість ударного імпульсу, мс - прискорення пікове, g - число ударів в хвилину - загальне число ударів, не менше	5 – 10 5, 10, 25 40 – 80 13000						

Продовження таблиці 3

Вид зовнішніх факторів	Норми впливів						
	1 група	2 група	3 група	4 група	5 група	6 група	7 група
Теплостійкість: - робоча температура, °С - гранична температура, °С	40 55	50 60					40 55
Холодостійкість: - робоча температура, °С - гранична температура, °С	5	- 25	- 40	- 10	- 25	- 10	5
	- 50						
Вологостійкість: - вологість, % - температура, °С	80 25	93 40					80 25
Герметичність при зануренні у воду на глибину, м	-	-	-	-	-	0,5	-
Захист від дії дощу з інтенсивністю, мм/хв	-	-	-	3	-	-	-
Захист від дії морського туману, г/мм <sup>2</sup>	2 - 3						
Захист від пилового потоку, м/с	-	10	-	10			-
Стійкість до пониженого атмосферного тиску ,кПа	60						

Таблиця 1.4 – Кліматичні і механічні впливи морської та бортової РЕА

Вид дії	Норма впливу					Ракетна
	Морська		Бортова			
	Група		Група			
	1	2	1	2	3	
Відсутність резонансу: - амплітуда, мм - діапазон частот, Гц	0,5 - 0,8 5 - 30		5 - 200			-
Вібростійкість: - прискорення, g - частота, Гц - амплітуда, мм	- 10 2,5	- 30 0,3	5 - 2000			0,5 - 6 1,5-2500 -
Ударна стійкість: - прискорення, g - тривалість імпульсу удару, мс - число ударів, не менше	10 10 - 15 20		6 20 18	8 20 18	12 20 18	-
Ударна міцність: - прискорення, g - тривалість імпульсу удару, мс - число ударів, не менше	10 10 - 15 10 <sup>3</sup>		4 - 6 20 7 <sup>3</sup>	6 - 8 20 7 <sup>3</sup>	8 - 12 5 - 15 7 <sup>3</sup>	-
Тиск знижений та розгерметизація: - тиск зовнішнього середовища, мм рт. ст - відносне зниження електричної міцності повітряних проміжків.	- -		350 0,6	200 0,35	90 0,1	0-760
Теплостійкість: - робоча температура, °С - гранична температура, °С	50 65		60 65	60 85	60 85	125- 315

Продовження таблиці 1.4

Вид дії	Норма впливу					
	Морська		Бортова			
	Група		Група			Ракетна
	1	2	1	2	3	
Холодостійкість: - робоча температура, °С - гранична температура, °С	- 10 - 55	- 40 - 55	- 60		- -	
Вологостійкість: - вологість, % - температура, °С	95-98 40	95-100 40	93-100 50		- -	
Стійкість до дії морського туману: - склад розчину, г/л - водність, г/м <sup>3</sup> - температура, °С - дисперсність, не більше	-	33 2-3 25-35 20	33 2-3 25-35 20		- -	
Стійкість до дії обледеніння, інєю, роси: - вологість, % - температура, °С	-	95-98 -20/+25	95-98 -30/+28		- -	

### 1.3 Вимоги до надійності РЕА

Надійність пристроїв характеризується показниками: безвідмовності, збережуваності, ремонтпридатності, довговічності.

Показник безвідмовності характеризує якість виробу зберігати роботоздатність протягом заданого часу і вміщує ймовірність безвідмовної роботи, середнє напрацювання на відмову, інтенсивність відмов.

Показники довговічності характеризують якість виробу зберігати роботоздатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування та ремонту; вміщує середній термін служби, призначений термін служби, середній ресурс, призначений ресурс.

Показники ремонтпридатності характеризують придатність пристрою до відновлення роботоздатності шляхом проведення технічного обслуговування і ремонтів; вміщує ймовірність відновлення роботоздатного

стану, середній час відновлення роботоздатності.

Показники збережуваності характеризують якість виробу зберігати значення показників безвідмовності, довговічності і ремонтпридатності під час і після зберігання та транспортування; вміщує середній термін збережуваності, гама-процентний термін збережуваності.

Основним показником надійності є напрацювання на відмову (таблиця 1.5).

#### **1.4 Вимоги ергономіки та естетики**

Ергономічні вимоги, які пред'являються системі “людина-вироб-середовище використання”, містять:

- антропометричні вимоги, які враховують геометричні пропорції тіла людини;

- фізіологічні вимоги, які характеризують ступінь відповідності виробу силовим параметрам органів руху людини;

- психофізіологічні вимоги, які характеризують швидкість і темп руху частин тіла та характеристику зору;

- психологічні вимоги, які характеризують ступінь відповідності виробу можливостям людини у сприйнятті, зберіганні і переробці інформації;

- гігієнічні вимоги, які характеризують безпосередній навколишній вплив середовища: температури, вологості, тиску, освітленості, рівня шуму, вібрацій, перевантажень, рівня випромінювання та напруженості, електричного, магнітного, електромагнітного полів;

Естетичні вимоги містять:

- інформаційну виразність, яка характеризує здатність виробу відображувати у формі естетичні уявлення, що склалися у суспільстві;

- раціональність форми, яка характеризує відповідність форми умовам виготовлення і експлуатації виробу, виявляється у відповідності форми виробу його призначенню, конструкторському рішенню, особливостям технології та матеріалам;

- цілісність композиції, яка характеризує гармонічну єдність частин і цілого, взаємозв'язок елементів форми виробу;

- досконалість виробничого виконання характеризується чистотою виконання контурів і прилеглих частин, акуратністю покриття, чіткістю виконання фірмових знаків та експлуатаційною документацією.

#### **1.5 Вимоги до технологічності та уніфікації**

Під технологічністю конструкції розуміють сукупність якостей, які визначають її пристосованість до раціонального використання трудових і матеріальних ресурсів при підготованні виробництва і промислового випуску, а також при експлуатації та ремонті. Розрізняють виробничу та експлуатаційну технологічність.

Таблиця 1.5 – Норми надійності професійної наземної РЕА

Група	Число радіоелементів, в тому числі інтегральних мікросхем та мікропроцесорів	Середнє напрацювання на відмову, год		
		РЕА на напівпровідникових пристроях і менше 5% інтегральних мікросхем	Комбінована на напівпровідникових приладах і більш 5% інтегральних мікросхем та мікропроцесорів	РЕА на інтегральних мікросхемах та мікропроцесорах
1 – 2	До 1000	2500	3500	5000
	1001-2000	2000	3000	4500
	2001-3000	1500	2500	4000
	3001-4000	1000	2000	3500
	Більше 4000	700	1500	3000
3 – 5	До 700	2000	3000	5000
	701-1000	1500	2500	4500
	1001-2000	1000	2300	4000
	2001=3000	700	2000	3500
	більше 3000	500	1400	3000
6 – 7	До 200	3000	4000	6000
	201-300	2500	3500	5500
	301-700	2000	3000	5000
	701-1000	1500	2500	4500
	1001-2000	1000	2000	4000

### 1.6 Вимоги до технологічності та уніфікації

Під технологічністю конструкції розуміють сукупність якостей, які визначають її пристосованість до раціонального використання трудових і матеріальних ресурсів при підготованні виробництва і промислового випуску, а також при експлуатації та ремонті. Розрізняють виробничу та експлуатаційну технологічність.

Виробнича технологічність містить комплекс вимог:

- підвищення застосовності виробу і його складових частин з допомогою уніфікації та стандартизації;
- обмеження номенклатури складових частин конструкції;
- застосування високопродуктивних і маловідходних технологічних рішень, основаних на типізації технологічних процесів, досягненні раціонального рівня механізації та автоматизації праці у виробництві;
- використання конструкторських рішень, які дозволяють знизити витрати на доступ до складових частин, їх установку і зняття, забезпечує взаємозамінність;
- застосування обґрунтованих сортamentів і марок матеріалів, що



дозволяє знизити матеріалоемність виробу.

Експлуатаційна технологічність містить деякі попередні та додаткові вимоги:

- використання конструкторських рішень, які дозволяють знизити витрати на транспортування виробу, техконтроль та експлуатацію;
- використання конструкторських рішень, які забезпечують умови технічного обслуговування і ремонту.

### **1.7 Патентно-правові вимоги**

Патентно-правові вимоги характеризують охороноздатність виробу і його патентну чистоту.

Вимоги охороноздатності містять новизну технічного рішення, корисність і юридичне оформлення у вигляді авторського свідоцтва і патенту.

Технічне рішення має новизну, якщо до дати пріоритету його сутність не стала відомою широкому колу осіб. Технічне рішення має суттєву відмінність, якщо у порівнянні з рішеннями, відомими до дати пріоритету, воно характеризується новою сукупністю ознак, які дають позитивний ефект.

Корисністю називають стабільний позитивний ефект, який принесе реалізація технічного рішення.

Вимоги патентної чистоти виробу повинні гарантувати відсутність претензій зі сторони володарів патентів в країні використання.

Юридичне оформлення технічного рішення може бути у формі авторського свідоцтва і патенту. Першочергово оформляють авторське свідоцтво, яке на основі експертизи засвідчує визнання технічного рішення винаходом і закріплює за розробником авторство і пріоритет.

Вимоги патентної чистоти виробу повинні гарантувати відсутність претензій зі сторони власників патентів в країні використання.

### **1.8 Вимоги безпеки РЕА**

Вимоги безпеки РЕА: прилади повинні бути сконструйовані і виготовлені таким чином, щоб при нормальній експлуатації, а також в умовах несправностей для споживача не створювати небезпеку; повинен бути забезпечений захист від ураження електричним струмом, дії високих температур, дії іонізуючого випромінювання.

На приладі повинна бути нанесена інформація: вид живлення, номінальна напруга живлення, частота мережі, споживана потужність, попереджувальні написи.

Попередження загрози ураження електричним струмом має ряд заходів:

- доступні частини приладу не повинні знаходитись під небезпечною напругою. Напругу вважають як небезпечну, якщо між досліджувальною частиною пристрою і об'єктом протікає змінний струм 0,7 мА або

постійний струм не більше 2 мА;

- ізоляція деталей, що знаходяться під напругою, не повинні виготовлятися з гігроскопічних матеріалів:

- конструкція пристрою повинна виключати ураження струмом в процесі регулювання.

На основі даних вимог складається технічне завдання на проектування конструкції (ТЗ), яке має структуру:

- найменування пристрою;

- призначення виробу;

- комплектність виробу, де необхідно подати склад виробу для його експлуатації, наприклад: кабелі, з'єднувачі, окремі блоки;

- технічні параметри. У цьому пункті необхідно подати основні параметри РЕА, які впливають на конструкцію пристрою, наприклад, споживана потужність, робочий діапазон радіочастот, робочі напруги та струми в колах пристрою.

- характеристики стандартизації та уніфікації, де необхідно визначити типові конструкції блоків, каркасів, пультів тощо, система яких регламентується стандартом ГОСТ 20504-81. Для оцінювання рівня стандартизації виробу використовуються коефіцієнти застосовності Ка та повторності Кл стандартизованих, нормалізованих та уніфікованих складових частин виробу;

- вимоги до конструкції. В цьому пункті установлюють вимоги до зовнішнього вигляду виробу, що визначаються правилами технічної естетики та умовами експлуатації. Тут можуть бути указані: форма виробу (прямокутна, циліндрична), колір та матеріал покриття, габаритні розміри та маса виробу. Особливо обумовлюється рівень генеруючого шуму (дБ), допустима температура поверхні корпусу, інтенсивність електромагнітного випромінювання;

- характеристики зовнішніх впливів. До характеристик зовнішніх впливів відносяться: діапазон температур, відносна вологість, діапазон частот, вібрації, амплітуда віброприскорення, лінійне прискорення тощо.

- інтерфейс оператора. В цьому пункті обумовлюються вимоги ергономіки до конструкції РЕА;

- вхідна-вихідна інформація;

- надійність. В цьому пункті задається середній час напрацювання виробу, або ймовірність безвідмовної роботи за певний час. Тут ще можуть бути обумовлені методи випробування на надійність. Визначаються також вимоги до умов транспортування і зберігання та ремонтпридатність;

- техніка безпеки;

- вимоги до виробництва. У цьому пункті необхідно обумовити програму випуску певного виробу, а також орієнтовну собівартість пристрою.

## Глава 2 СХЕМНА ДОКУМЕНТАЦІЯ НА РАДІОЕЛЕКТРОННІ ЗАСОБИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

### 2.1 Класифікація та позначення схем

Схема - це конструкторський документ, на якому позначені у вигляді умовних зображень або позначень складові частини виробу і зв'язки між ними. Схеми поділяються на види та типи в залежності від призначення виробу, складових його елементів та зв'язків між ними. Види та типи схем, їх позначення і загальні правила виконання наведені у ГОСТ 2.710-84; правила виконання електричних схем - у ГОСТ 2.702-75; правила виконання електричних схем цифрової обчислювальної техніки у ГОСТ 2.708-84.

Види схем позначають великими літерами українського алфавіту: Е - електрична; Г - гідравлічна; П - пневматична; К - кінематична. Л - оптична; В - вакуумна; С - комбінована.

Типи схем позначають цифрами: 1 - структурна; 2 - функціональна; 3 - принципова; 4 - з'єднань; 5 - підключення; 6- загальна; 7- розміщення; 8 - інші; 9- об'єднана.

Схемам, що входять до складу КД, присвоюють код, який складається з літери і цифри, що відповідно визначають вид та тип схеми.

Приклад позначення схеми електричної принципової з порядковим номером 12;

ВНТУ 411528.012ЕЗ

де ВНТУ - код підприємства-розробника;

411528 - код класифікаційної характеристики за класифікатором ЕСКД;

012 - порядковий реєстраційний номер;

ЕЗ - код схеми електричної принципової.

Загальний порядок позначення виробу та конструкторських документів встановлює ГОСТ 2.201- 80.

Принципова схема включає в себе повний склад елементів, зв'язків між ними, дає детальне уявлення про принцип роботи виробу, служить основою для розробки іншої КД; її використовують при вивченні, регулюванні, контролі та ремонтуванні виробу.

При проектуванні схем необхідно керуватися вимогами стандартів [6-8], а також рекомендаціями [9, 17].

На схемах допускається подавати різні технічні дані, що розкривають призначення виробу та пояснюють його роботу (наприклад, часові діаграми, таблиці сигналів, спеціальні вимоги до монтажу).

### 2.2 Умовне графічне та літерне позначення елементів

Кожному елементу на схемі повинно відповідати своє умовне графічне позначення (УГП), що одночасно визначає тип елемента. Вид та

розміри УГП визначені ГОСТ 2.728-74; ГОСТ 2.730-73; ГОСТ 2.743-82; ГОСТ 3.751-73; ОСТ 4.010.009. Приклади УГП наведені у [17].

Кожний елемент схеми повинен мати умовне літерно-цифрове позначення (УЛП); літерне позначення являє собою скорочене найменування елементів, складене з його початкових або характерних літер; після літери проставляють порядковий номер елемента. Порядковий номер визначають у межах груп ЕРЕ, яким на схемі присвоєно однакове позначення. Літерно-цифрове позначення присвоюють ЕРЕ у послідовності розміщення елементів даного типу на схемі, як правило, зверху вниз та зліва направо, проставляють поряд з УГП ЕРЕ праворуч або над ним. Виконують їх одним шрифтом (3; 5).

Приклади УЛП за ГОСТ 2.710-81 наведені у [17].

Якщо ЕРЕ складаються з декількох функціональних вузлів (ФВ), як наприклад деякі ІМС, то кожному ФВ одного елемента присвоюють подвійну нумерацію, що означає номер ЕРЕ на схемі та номер ФВ у межах даної ІМС. УЛП вказують в основному полі УГП логічного елемента під символом його функції, або над УГП.

Характеристики вхідних та вихідних кіл та адресу зовнішніх з'єднань записують у таблиці, що подаються замість УГП вхідних (вихідних) елементів (роз'єм, плата і таке інше). Кожній таблиці присвоюють позиційне позначення заміненого елемента (X1;X2...). Оформлення таблиці наведено у [17].

### **2.3 Спрощення у схемах**

Допускається обривати лінії зв'язку, якщо вони утруднюють читання схеми. В цьому випадку їх закінчують стрілками, біля яких позначають місця підключення.

Лінії зв'язку, що переходять на інший лист схеми, обривають. Поряд з обривом лінії розміщують позначення або найменування лінії зв'язку і в круглих дужках подають номер листа, на який переходить лінія зв'язку. Допускається літерно-цифрове позначення ліній зв'язку.

Для спрощення креслення схеми та для зручності її використання електрично не зв'язані між собою лінії зв'язку зливають в загальну потовщену лінію; при підході до контактів ЕРЕ кожна з ліній зображують окремо, а початок та кінець лінії зв'язку нумерують однаковими цифрами. В межах кожної лінії злиття ведеться своя нумерація ліній зв'язку.

Виводи кіл живлення та землі для ІМС однієї серії або декількох споріднених серій не зображають, а подають словесну або табличну вказівку про підключення цих кіл до ІМС.

### **2.4 Оформлення переліку елементів**

У кожній схемі повинен бути перелік елементів, який виконують у вигляді окремого документа на листі формату А4 за ГОСТ 2.701-84. Приклади виконання переліку елементів наведені у [17].

## **Глава 3 ПРОЕКТНИЙ АНАЛІЗ КОНСТРУЮВАННЯ ПРИСТРОЇВ ТКС**

### **3.1. Аналіз вимог технічного завдання**

Під час аналізу необхідно особливу увагу приділити тій групі вимог, яка пов'язана з конструкторськими особливостями пристрою, умовами експлуатації, об'ємом виробництва.

Під час аналізу вимог ТЗ необхідно визначити:

- призначення РЕЗ;
- місце установки і умови експлуатації;
- сумісність з об'єктом установки (вимоги до габаритів, маси, форми, живлення тощо);
- вимоги до захисту від кліматичних впливів;
- методи захисту від механічних впливів;
- вимоги до технологічності конструкції;
- методи забезпечення ремонтопридатності;
- економічні вимоги.

При відсутності деяких вимог або кількісних значень в ТЗ, слід самостійно їх сформулювати і уточнити.

### **3.2 Аналіз принципової схеми**

При вивченні принципу роботи виробу і аналізу принципової схеми необхідно:

- визначити характер зв'язків між ЕРЕ (сигнальні кола, живлення, керування, контрольні);
- визначити робочі частоти, форму і рівень сигналів усіх функціональних вузлів;
- визначити каскади, ЕРЕ і кола, які чутливі до завад, а також внутрішні джерела завад, зробити висновок про необхідність екранування або просторового рознесення нез'єднаних кіл;
- уточнити призначення і розміщення органів керування, налаштування, контролю, індикації;
- визначити найбільш теплонавантажені та тепловидільні ЕРЕ;
- виявити масивні ЕРЕ, що вимагають спеціального кріплення;
- визначити конструкцію елементів зовнішніх зв'язків (гніздо, штекер, з'єднувач, шнур тощо);
- виділити високовольтні кола, що вимагають впровадження заходів захисту оператора;
- визначити можливість застосування друкованого, об'ємного або комбінованого монтажу;
- визначити можливість використання уніфікованих або стандартних вузлів.

### 3.3 Аналіз елементної бази

Елементна база завжди задана розробником схеми, проте типи пасивних ЕРЕ у ряді випадків можуть допускати оптимізацію вибору з урахуванням умов експлуатації та режимів роботи ЕРЕ.

Підлягають вибору також комплектуючі вироби. Вибір типів комплектуючих та ЕРЕ здійснюється з урахуванням:

- номіналів та потужностей елементів, а також допустимих відхилень цих величин з урахуванням зовнішніх факторів;
- технічних вимог до РЕЗ та вимог до конструкції;
- наявність елементів у серійному виробництві;
- економічної доцільності;
- конструкції приладу та технології його виготовлення;
- уніфікації та стандартизації.

Під час аналізу елементної бази визначають геометричні розміри кожного елемента, його можливу установку в конструкції, з'ясовують усі технічні характеристики та стійкість елемента до зовнішніх впливів, наявність нестандартних ЕРЕ, які необхідно розробити у процесі проектування приладу.

### 3.4 Аналіз аналогічних конструкцій

Для забезпечення конструктивної спадковості і в той же час технічно та економічно обґрунтованої новини необхідно вивчати типові технічні рішення аналогічних конструкцій (двох - трьох варіантів), причому не за схемами, а за конструкціями, зовнішнім оформленням, внутрішнім компонуванням: орієнтацію та кріплення плат, оптимальний крок установлення плат, захисні покриття.

При аналізі аналогічних конструкцій необхідно звернути увагу на захист конструкції від зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів: спосіб забезпечення нормального теплового режиму; захист від вологи, атмосферних опадів, вітру, сонячної радіації.

Метод монтажу порівнюють за критеріями: стійкість електричних параметрів, висока заводостійкість, мінімальні масогабаритні параметри, технологічність складання та висока ремонтпридатність, гнучкість проектування та виробництва.

Ремонтпридатність аналогічного виробу визначається: засобами перевірки функціональних і параметричних величин, часом, необхідним для пошуку місця несправності та виявлення її характеру, мінімальними витратами часу на доступ до змінних вузлів, зручністю заміни вузлів, раціональним монтажем на всіх конструктивних рівнях, безпекою ремонту.

При аналізі форми аналогічного пристрою слід виділити такі основні характеристики: геометричний вид, положення в просторі, розподіл об'єму за координатними осями.

Оригінальність художньо-конструктивного рішення аналогічної

конструкції підтверджується стильністю рішення і форми, функціональністю і композиційною закінченістю, якістю обробки поверхні.

### 3.5 Перелік вимог до конструкції

На основі аналізу за пунктами 3.1-3.4 розробляється перелік вимог до конструкції, які вміщують такі групи:

- експлуатаційні: форма, маса, ефективність виконання РЕЗ основних функцій, умови обслуговування та ремонту, конструктивне оформлення, надійність тощо;

- конструкторсько-технологічні: захист від зовнішніх механічних навантажень, вологозахист, захист від пилу та мікроорганізмів, тепловий захист, захист від агресивного середовища, захист від зовнішніх електромагнітних полів, забезпечення технологічності конструкції;

- економічні: витрати на розробку та виробництво, витрати матеріалів та часу.

Загальний перелік вимог до конструкції складається з таких питань:

- оформлення РЕЗ у вигляді автономного переносного блоку, стаціонарного тощо;

- форма приладу (паралелепіпед, куб, циліндр, куля);

- габарити приладу;

- маса приладу;

- герметизація приладу (повна, часткова, без герметизації);

- забезпечення теплового режиму (природне, примусове, застосування радіаторів, теплових труб і таке інше);

- засоби для установки та кріплення масивних ЕРЕ;

- ізоляція та захист від високовольтних кіл;

- перелік органів керування і індикації;

- пропозиції із захисту від механічних впливів;

- монтаж у пристрої (друкований, об'ємний);

- пропозиції зі сумісності з об'єктом установлення (якщо прилад переносний, указати наявність паска або ручок, спосіб кріплення);

- пропозиції до застосування стандартних вузлів та комплектуючих;

- забезпечення ремонтпридатності;

- спосіб перевірки параметрів у процесі експлуатації;

- інші спеціальні вимоги, наприклад: до корозії, естетики, патентної чистоти, універсальності і таке інше.

## Глава 4 КОМПОНУВАННЯ ПРІСТРОІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

### 4.1 Компонування приладу

Компонування - це процес вибору форми, основних геометричних розмірів, визначення орієнтованої маси, розташування у пристрої елементів, вузлів для забезпечення максимально корисного ефекту, що визначається схемою та призначенням РЕЗ.

Компонування дозволяє оцінити електромагнітні та теплові зв'язки, основні конструкторсько-технологічні рішення, малогабаритні та параметри надійності, сумісність із людиною-оператором і об'єктом установки.

Результатом компонування є компонувальний ескіз, який дає уявлення про основні конструкторські параметри РЕЗ. У відповідності зі стадіями проектування компонувальний ескіз переробляють у креслення загального виду, а потім - у складальне креслення.

На основі переліку вимог до конструкцій необхідно розробити просторову структуру та виконати компонувальний ескіз пристрою.

Принципи, методи та приклади компонування з практичними рекомендаціями розглянуті у [2,3, 10, 16].

Форма пристрою визначається цілим рядом факторів, серед яких найбільш суттєві:

- місце установлення приладу та його з'єднання з об'єктом установлення;
- вимоги лаконічності форми, що диктуються необхідністю максимального застосування уніфікованих та стандартизованих виробів;
- склад та форма ЕРЕ та комплектуючих компонентів;
- традиційність форми РЕЗ аналогічного призначення, відповідність приладам середовищу та стилю, сучасній моді, ергономічним та естетичним вимогам.

Зовнішнє компонування РЕЗ визначається габаритними обмеженнями та розміщенням органів керування та індикації на передній панелі для забезпечення ефективної роботи людини-оператора.

Для РЕЗ, які не обслуговуються, розміщення органів регулювання і індикації визначається міркуванням зручності виконання регламентних робіт та забезпечення ремонтоздатності.

Пропонується застосовувати в залежності від конкретних особливостей приладу один із таких способів розміщення органів керування ) на передній панелі:

- за функціональними зв'язками ОК, коли ОК групують за ознакою загальності виконуваних функцій;
- за черговістю виконуваних операцій;
- за частотою використання; ОК, які найчастіше використовують, розміщують у центрі панелі;
- за значимістю, коли найбільш важливі ОК, навіть які рідко вико-



ристовуюють, розміщують у центрі панелі.

Під час вибору способу розташування ОК необхідно враховувати вимоги максимального скорочення кількості траєкторій робочих рухів, взаємні розміщення ОК і індикаторів, вимоги композиції, пропорційність, масштабність, контраст, колірну гаму, а також наявність написів на панелі.

Зовнішнє компоновання повинно бути органічно пов'язане з внутрішнім. У відповідності з цим може бути запропонована така послідовність компоновання приладу:

- вибирають варіант компоновання передньої панелі;
- намічають вхід і вихід приладу за основним сигналом;
- потім виконують внутрішнє компоновання приладу.

Якщо розглянуті варіанти не задовольняють вимоги ТЗ, проводиться перекомпоновання панелі. Таким чином, пошук оптимального конструктивного рішення є інтерактивним процесом.

#### 4.2 Вибір оптимального варіанта конструкції

Варіантність може полягати у різному розміщенні складових внутрішньої структури передньої панелі, застосування різного матеріалу та методу виготовлення корпусних деталей, використання друкованого та об'ємного монтажу, різних методів установаження на об'єкті.

Габарити пристрою необхідно визначити орієнтовно для всіх запропонованих варіантів. Спочатку визначають розміри плати, які складаються із площі всіх радіоелементів з урахуванням коефіцієнта дезінтеграції ( $q=2+4$ ). Потім визначають розмір передньої панелі з розміщеними на ній органами керування та індикації. Розмістивши всі комплектуючі, які установлені на корпусі (з'єднувачі, гнізда, перемикачі), задаючись необхідними зазорами між вузлами і елементами і вибравши товщину корпусу, можна підрахувати габаритні розміри за всіма запропонованими варіантами.

Маса пристрою складається із маси радіоелементів, маси друкованої плати та маси деталей корпусу. Маса радіоелементів розглядалася в аналізі елементної бази як конструктивний параметр. Масу друкованої плати та корпусу підраховують, виходячи з розмірів та питомої ваги матеріалу. Масу також необхідно визначити для всіх варіантів.

Вибір оптимальної конструкції здійснюється за комплексним показником, який може враховувати ряд конструктивних, електричних та економічних показників. До них відносяться: маса, об'єм, надійність, міцність, розсіювана потужність, вартість.

$$K = \varphi_1 m_0 + \varphi_2 V_0 + \varphi_3 \lambda_0 + \varphi_4 P_0 + \varphi_5 C_0 \quad (4.1)$$

де  $K$  – комплексний показник,

$m_0, V_0, \lambda_0, P_0, C_0$  – відносні величини маси, об'єму, інтенсивності відмов, розсіюваної потужності, вартості.

$\varphi$  – коефіцієнт вагомості, в залежності від пріоритетності показників конструкції.

$$0 \leq \varphi \leq 1$$

Відносні величини маси, об'єму, інтенсивності відмов, розсіяваної потужності, вартості визначаються відношенням показників до нормованих величин у певній галузі використання або до показників з технічного завдання:

$$m_0 = \frac{m}{m_{T3}}; V_0 = \frac{V}{V_{T3}}; \lambda_0 = \frac{\lambda}{\lambda_{T3}}; P_0 = \frac{P}{P_{T3}}; C_0 = \frac{C}{C_{T3}} \quad (4.2)$$

Таким чином рівняння комплексного показника для кожного варіанта конструкції прийме вигляд:

$$K_1 = \varphi_1 \frac{m_1}{m_{T3}} + \varphi_2 \frac{V_1}{V_{T3}} + \varphi_3 \frac{\lambda_1}{\lambda_{T3}} + \varphi_4 \frac{P_1}{P_{T3}} + \varphi_5 \frac{C_1}{C_{T3}} \quad (4.3)$$

$$K_2 = \varphi_1 \frac{m_2}{m_{T3}} + \lambda_0 = \frac{\lambda}{\lambda_{T3}} \varphi_3 \frac{\lambda_2}{\lambda_{T3}} + \varphi_4 \frac{P_2}{P_{T3}} + \varphi_5 \frac{C_2}{C_{T3}}$$

.....

$$K_n = \varphi_1 \frac{m_n}{m_{T3}} + \varphi_2 \frac{V_n}{V_{T3}} + \varphi_3 \frac{\lambda_n}{\lambda_{T3}} + \varphi_4 \frac{P_n}{P_{T3}} + \varphi_5 \frac{C_n}{C_{T3}}$$

Найкращим варіантом буде той, у якого показник найменший.

### 4.3 Складання компоувального ескізу приладу

Розроблений варіант компоування приладу доцільно подати у вигляді масштабного компоувального ескізу, який пропонується виконати на міліметрівці у масштабі, зручному для показу взаємного розташування елементів (1:1; 1:2).

На фронтальній проекції пропонується зобразити панель з показом розташування органів керування та індикації. На інших проекціях показують розміщення внутрішніх вузлів і ЕРЕ. Деталі кріплення допускається не зображати. Всі функціональні вузли і ЕРЕ за допомогою ліній виносков позначають цифрами, а на вільному полі ескізу подають розшифровку прийнятих цифрових позначень. На ескізі повинні бути показані основні габаритні розміри пристрой.

Компоувальний ескіз є робочим документом конструктора, на його основі в подальшому розробляють такі важливі КД, як креслення загального виду на стадіях ескізного і технічного проекту, складальне креслення пристрою та інше.

## **Глава 5 КОНСТРУЮВАННЯ ВУЗЛА РЕЗ З ДРУКОВАНИМ МОНТАЖЕМ**

### **5.1 Вихідні дані для розробки**

Вихідні дані, що визначають конструкцію вузла, формат друкованої плати, спосіб підготовки і установки ЕРЕ, конструкція зовнішніх і контрольних контактів, спосіб кріплення вузла, застосування методів захисту від зовнішніх впливів (амортизація, покриття лаком, екранування та інше):

- схема електрична принципова та перелік елементів до неї, що визначає кількість, типи і режими роботи елементів, їх габарити з урахуванням теплових полів і вимог до внутрішньої електромагнітної сумісності;
- особливості об'єкта установки, що визначає необхідність і ступінь захисту від дестабілізуючих факторів (клімат, мікроклімат, динамічні та теплові вимоги зовнішньої електромагнітної сумісності);
- вимоги, що визначились під час загального компоунування, тобто габаритно-масові обмеження і вимоги до технологічності складання, регулювання, експлуатації та ремонту.

### **5.2 Особливості електромонтажу мікроелектронної апаратури**

Конструкції сучасних РЕЗ будуються за принципом послідовного ускладнення шляхом конструктивного об'єднання більш простих вузлів і деталей. Це приводить до утворення конструкторської ієрархії, що об'єднується в єдиний радіоелектронний пристрій за допомогою електромонтажу.

Ієрархія радіоелектронних засобів за конструктивною складністю встановлена ДСТУ 3348 – 96.

Електромонтажем називається частина конструкції, що призначається для забезпечення електрично-нерозривних зв'язків при об'єднанні декількох елементів нижчого конструкторського рівня в елементи вищого конструкторського рівня. Електромонтаж, як правило, розглядають у двох аспектах: міжконтактна комутація і контактування.

На різних конструкторських рівнях використовують різні способи електромонтажу.

Так, для ІС і МЗБ (на нульовому конструкторському рівні), використовують плівкову міжконтактну комутацію і нероз'ємне контактування. На нульовому та першому конструкторських рівнях для комутації переважно використовують друкований монтаж, контактування з ЕРЕ паянням або зварюванням, а з іншими вузлами - паянням або роз'ємом. На другому конструкторському рівні (блок, шафа) міжконтактну комутацію частіше всього виконують за допомогою об'ємних провідників, а контактування - паянням, накруткою, бандажуванням, з'єднувачами.

Використання групових методів виробництва, що дозволяє зменшити вартість, підвищити щільність електромонтажу і його надійність,

зменшити габарити, привело до широкого використання плоскої конструкції електромонтажу (плівкові, багатопшарові керамічні структури, друковані плати), але використання плоских конструкцій ускладнює локалізацію паразитних зв'язків екрануванням. Тому при конструюванні ДП необхідно ретельно розраховувати очікувані параметри електромонтажу з точки зору внутрішньої електромагнітної сумісності.

Друкований монтаж має такі переваги:

- висока щільність розміщення провідників, малі габарити і маса;
- мала вартість в масовому виробництві;
- велика механічна міцність і стійкість до кліматичних та теплових

дій;

- сумісність з САПР.

Вади друкованого монтажу:

- велика тривалість циклу підготовки виробництва;
- принципова неможливість повного екранування;
- обмеженість максимальних габаритів друкованих плат через зменшення їх жорсткості і короблення;
- складність проектування друкованого монтажу на гнучкій основі, погана ремонтпридатність.

### 5.3 Компонування друкованої плати

#### 5.3.1 Ручний метод конструювання

Ручне комплектування ДП базується на принципах, розглянутих у [20] з використанням практичних рекомендацій і довідкових даних. Порядок його виконання [20]:

- аналізують нарис принципової схеми у випадку необхідності перекреслюють схему для забезпечення простоти рисунка;
- складають варіант принципової схеми з уточненнями типорозмірів ЕРЕ;
- будують потенціальні епюри схеми або встановлюють потенціали різних кіл схеми;
- розраховують потужності теплових втрат ЕРЕ (у випадку необхідності будують термальні епюри);
- групуєть елементи у вигляді компоувального ескізу з урахуванням потенціальних і термальних епюр ЕРЕ та різних варіантів їх взаємного розміщення для кожної функціональної групи;
- принципіву схему розбивають на функціональні групи і складають таблицю з'єднань.

Під час комплектування необхідно:

- розмістити всі навісні ЕРЕ з однієї сторони плати;
- раціонально розмістити основні елементи схеми, що мають найбільше число комутаційних вузлів;
- розмістити ЕРЕ паралельно до сторін ДП;

- мікросхеми розмістити рядами;
- забезпечити раціональне взаємне розміщення і мінімальні довжини міжз'єднань;
- розмістити центри всіх монтажних отворів, призначених для установки виводів ЕРЕ, контактних штирів, а також всіх технологічних і кріпильних отворів у вузлах координатної сітки;
- раціонально розмістити елементи зовнішньої комутації.

Із числа всіх груп елементів вибирається така, що має найбільше число зовнішніх зв'язків і розміщується поблизу з'єднувача. Із тих, що залишились, вибирається друга група, яка має найбільше число зв'язків зі з'єднувачем та першою групою і т.д. Після розміщення останньої групи, у випадку необхідності, виконується коригування, зокрема, теплонавантажені елементи розміщують біля краю плати поряд з тепловідвідними шинами. Потім виконується трасування.

Установлення радіоелементів виконують з урахуванням доступу до будь-якого елемента і легкої їх заміни у процесі настроювання, ремонту, можливості ручного або групового паяння з послідовним захистом лаковим покриттям.

Відстань від корпусу ЕРЕ до осі вигнутого виводу повинна бути не менше 2,0 мм, а до місця паяння не менше 2,5 мм.

Варіанти формування і установлення елементів повинні відповідати вимогам галузевого стандарту ОСТ 4.010.030-82 "Установка навесних элементов на печатные платы. Конструирование" (додаток А). Для елементів, які не наведені у стандарті, необхідно використовувати спосіб формування виводів і установлення, обґрунтований технічними вимогами до ЕРЕ.

У конструкціях ДП для кріплення ІС передбачають групи контактних площадок з неметалізованими отворами.

Мікросхеми розміщують на ДП так, щоб їх виводи збігалися з вузлами сітки. Якщо відстані між виводами ЕРЕ не кратні 2,5 або 1,25 мм, ці ЕРЕ розміщують так, щоб один або декілька виводів збігалися з вузлами координатної сітки. Розміщення ІС з планарними виводами визначається їх розміткою на платі. При встановленні ІС на ДП, перший вивід необхідно сумістити з першою контактною площадкою групового місця встановлення, що має ключ, нанесений на ДП у вигляді "вусика", квадрата або цифри "1".

На ДП можливе спільне компонування ІС та інших навесних елементів, зокрема контрольних з'єднувачів і контактів, накладок для забезпечення жорсткості, тепловідводів, ручок, елементів індикації. Навісні ЕРЕ за умов одностороннього розміщення елементів встановлюють зі сторони розміщення ІС, при двосторонньому - зі сторони розміщення з'єднувачів або інших елементів електричної комутації. Незадіяні виводи ІС, як правило, необхідно запаювати для забезпечення стійкості конструкції до вібрації та ударів.

Відстань між корпусом ЕРЕ та краєм ДП повинна бути не меншою 1,0 мм, відстань між корпусами ЕРЕ - не меншою 0,5 мм, між корпусами ІС - не меншою 1,5 мм в одному напрямку установки.

### *5.3.2 Напіваавтоматизований метод конструювання*

Конструювання напіваавтоматизованим методом може бути здійснено двома способами. Перший спосіб включає розміщення елементів на друкованій платі за допомогою ЕОМ та розробку рисунка ДП ручним методом. Другий спосіб включає розміщення елементів на ДП ручним методом та розробку провідного рисунка з допомогою ЕОМ.

Перший спосіб передбачає:

- зняття координат елементів монтажу з ескізу провідного рисунка на координатоскопі і введення на машинний носій;

- введення в машину даних таблиці кіл ДП;

- порівняння даних зняття і таблиці кіл ДП,

- розробку КД з використанням засобів автоматизації.

Другий спосіб передбачає:

- введення в ЕОМ даних ручного розміщення елементів;

- трасування провідників в автоматизованому режимі.

### *5.3.3. Автоматизований метод конструювання*

Автоматизований метод трасування ДП здійснюється з допомогою програм OrCAD та PICAD.

Метод включає такі операції:

- викреслювання схеми електричної принципової;

- формування бази даних радіоелементів;

- розміщення навісних елементів на платі;

- режим трасування друкованих провідників;

- оформлення креслення друкованої плати.

## **5.4 Конструювання друкованої плати**

Терміни і визначення основних і загальних понять ДП встановлені ГОСТ 20406-76 і наведені у [17].

Для повної реалізації переваг друкованого монтажу під час розробки ДП слід дотримуватись таких рекомендацій: передбачити у конструкції виробу багатошарові друковані плати, зменшувати зі збільшенням габаритів плат щільність провідного рисунка.

Найменші номінальні значення основних розмірів елементів конструкції ДП для вузького місця в залежності від класу точності за ГОСТом 23751-86 наведені у таблиці 5.1.

Для широкого місця вказані значення встановлювати за будь-яким більш низьким класом, а для першого класу - збільшити у два рази.

При конструюванні ДП, визначають габарити ДП та необхідну для даного виробу щільність провідного рисунка, вибирають метод виготов-

лення ДП. Коли вибирають метод, враховують електричні параметри схеми, елементну базу, кліматичні умови, механічні вимоги, забезпечення надійності, умови експлуатації.

Таблиця 5.1 – Класи точності друкованих плат

Елементи конструкції	Номінальні значення розмірів для класів точності				
	1	2	3	4	5
Ширина друкованого провідника $b$ , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
Відстань між провідниками та контактними площадками, мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
Гарантійний поясок $c$ , мм	0,3	0,2	0,1	0,05	0,025
Відношення номінального діаметра найменшого з отворів до товщини плати	0,4	0,4	0,33	0,25	0,2

Повні знання про матеріали, що використовуються для виготовлення ДП, у тому числі міцність зчеплення фольги з діелектриком у вихідному стані та після різних дій під час експлуатації та при виготовленні, а також електричні характеристики, наведені у [19].

Характеристики методів та особливостей технологічних процесів виготовлення одно і двосторонніх плат наведені у [10,14]. Способи виготовлення ДП:

- комбінований позитивний для двосторонніх ДП;
- хімічний для односторонніх ДП;
- металізації наскрізних отворів для БДП.

Перспективними для виробництва ДП є метод адитивний і метод фотоутворення.

При розробленні конструкції необхідно визначити площу плати в залежності від розмірів елементної бази та щільності компонування за формулою

$$S = q \cdot S_{pe} \quad (5.1)$$

де  $q$  – коефіцієнт дезінтеграції,  $q = (2 - 4)$ ;

$S_{pe}$  – площа радіоелементів.

Типорозміри друкованих плат вибираються за ГОСТом 10317-79 (таблиця 5.2)

Розміри кожної сторони повинні бути кратними 2,5 - при довжині до 100 мм; 5,0 - при довжині до 350 мм; 10,0 - при довжині >350 мм.

Максимальний розмір будь-якої із сторін не більше 470 мм. Співвідношення розмірів сторін не більше 3:1.

Рекомендовані співвідношення сторін 1:1, 1:3, 2:3, 2:5.

Габаритні розміри друкованих плат та діаметри отворів повинні бути виконані з допусками за ГОСТом 25347-82 (таблиці 5.2, 5.3)

Граничні відхилення на сполучені розміри контура друкованої пла-

Таблиця 5.2 - Рекомендовані розміри друкованих плат

Ширина плат	Довжина плат	Ширина плат	Довжина плат
10	10,20	100	100, 120, 140, 160, 180, 200
20	20, 30, 40	120	120, 140, 160, 180, 200, 240
30	30, 40, 50, 60	140	140, 160, 180, 200, 240, 280
40	40, 50, 60, 80	160	160, 180, 200, 240, 280, 320
50	50, 60, 80, 90, 100	180	180, 200, 240, 280, 320, 360
60	60, 80, 90, 120, 140	200	200, 240, 280, 320, 360
80	80, 90, 100, 120, 140, 160	240	240, 280, 320, 380
90	90, 100, 120, 140, 160, 180		

ти не повинні бути вищі 12 квалітету.

Граничні відхилення на несполучені розміри контура друкованої плати повинні бути не вищі 14 квалітету.

При конструюванні ДП необхідно керуватися такими конструкторсько-технологічними вимогами:

- конструкція ДП повинна мати прямокутну форму. Іншу конфігу-

Таблиця 5.3 – Граничні відхилення габаритних розмірів друкованих плат, мкм

Інтервали розмірів, мм	Граничні відхилення для полів допусків			
	H11	H12	H13	H14
від 40 до 50	+0	+0	+0	+0
	-160	-160	-390	-620
від 50 до 80	+0	+0	+0	+0
	-190	-300	-460	-740
від 80 до 120	+0	+0	+0	+0
	-220	-350	-540	-870
від 120 до 180	+0	+0	+0	+0
	-250	-400	-630	-1000
від 180 до 250	+0	+0	+0	+0
	-290	-460	-720	-1150
від 250 до 315	+0	+0	+0	+0
	-320	-520	-810	-1320
від 315 до 400	+0	+0	-0	+0
	-360	-570	-890	-1400

рацію плат використовують тільки за необхідністю і в технічно обґрунто-



ваних випадках. Для ДП симетричної форми передбачається ключ, за яким плату орієнтують під час складання;

Таблиця 5.4- Граничні відхилення неметалізованих отворів , мкм

Інтервали діаметрів, мм	Граничні відхилення для полів допусків ГОСТ 25377-82							
	H7	K7	N7	H8	H9	нп	H12	H14
від 1 до 3	+10 0	0 -10	-4 -14	+14 0	+25 0	+60 0	+100 0	+250 0
від 3 до 6	+12 0	+3 -9	-4 -16	+18 0	+30 0	+75 0	+120 0	+300 0
від 6 до 10	+15 0	+5 -10	-4 -19	+22 0	+36 0	+90 0	+150 0	+300 0

- рекомендовані товщини плат:  $0,8 \pm 0,15$  мм;  $1,0 \pm 0,15$  мм;  $1,5 \pm 0,15$  мм;  $2,0 \pm 0,2$  мм;  $3,0 \pm 0,3$  мм. Товщину плат вибирають з урахуванням способу виготовлення, механічних і електричних вимог до конструкції;

- центри отворів розміщують у вузлах координатної сітки. Діаметри монтажних та перехідних неметалізованих і металізованих отворів вибирають за ГОСТом 10317-79 з ряду 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 2,0; 2,1; 2,2; 2,4; 2,5; 2,6; 2,7; 2,8; 3,0.

Відстань між центрами отворів на платі потрібно витримувати з допуском не більше  $\pm 0,2$  мм, а між центрами взаємозв'язаних отворів під багатовивідні навісні ЕРЕ і під умови автоматизованої установки ЕРЕ - не більше  $\pm 0,1$  мм. Отвори на платі необхідно розміщувати таким чином, щоб відстань між краями отворів (без врахування фаски) була не менша товщини плати.

Крок координатної сітки вибирають у відповідності з ГОСТ 10317-79; основний крок - 2,5 мм, решта - 1,25 мм або 0,625 мм.

Особливості конструювання друкованого монтажу розглянуті у [3; 4; 10].

### 5.5 Розміщення друкованих провідників на платі

Розміщення друкованих провідників, їх ширина і відстань між ними повинні бути виконані у межах заданих допусків і визначені положеннями [16] з урахуванням таких практичних рекомендацій.

Провідники кіл живлення розміщують у першу чергу, а потім провідники заземлення.

Ці провідники повинні мати максимальну ширину, оскільки по них проходять значні струми живлення, що викликають зворотні зв'язки.

При трасуванні рекомендується виконувати всі горизонтальні провідники з однієї сторони плати, а вертикальні з іншої. Перехід з однієї сторони на другу відбувається з допомогою перехідних отворів. Це дозволяє

отримати провідники мінімальної довжини, але погіршує технологічні та якісні характеристики ДП.

Екранувати провідники необхідно з допомогою заземленого металевого шару. Ефективність екранування тим вища, чим ближче розміщений до провідника заземлений шар і чим вужчий сам провідник.

Провідники, що закінчуються металізованими отворами для кріплення ЕРЕ, повинні мати навколо отворів розширення - контактну площадку, яка може бути круглою або довільної форми.

При двосторонньому розміщенні друковані провідники не повинні торкатися корпусів ЕРЕ, що лежать на ДП. Якщо це неможливо, елементи слід встановлювати на відстані від поверхні плати. В окремих випадках доцільно розміщувати провідники під елементом (конденсатор, реле, радіатор), але при цьому між елементом і платою обов'язково повинна бути прокладка.

Контактні площадки для ІС з планарними виводами рекомендують виконувати прямокутної форми у вигляді провідників.

На односторонніх і двосторонніх платах на всіх шарах БДП слід витримувати відстані між краєм провідника, контактної площадки, екрана, у тому числі краєм неметалізованого отвору. На краях ДП повинні бути передбачені технологічні зони не менші 1,5-2 мм.

Коли необхідно прокладання провідника завширшки 0,3-0,4 мм, рекомендується через кожні 26-30 мм передбачувати перехідні отвори або місцеві розширення типу контактної площадки з розмірами не меншими 1x1 мм., або іншими співвідношеннями сторін, але при зберіганні площі.

Провідники завширшки більше ніж 5 мм рекомендується виконувати згідно з правилами виконання екранів, тобто з вирізами, які можуть бути прямокутними, овальними, круглими або мати форму сітки. Площа вирізів повинна складати не менше 50% загальної площі екрана. Навколо отвору, електрично зв'язаного з екраном, виконують два-чотири окремі вирізи у формі сектора на відстані 1,0 - 1,5 мм, від краю, а навколо отвору, електрично незв'язаного з екраном, роблять кільцевий виріз на тій же відстані до краю.

## 5.6 Розрахунок друкованого монтажу

У вузьких місцях діаметр контактної площадки отвору розраховується за формулою:

$$D = d + \Delta d_{\text{вв}} + 2c + 2 \Delta d_{\text{тр}} + \Delta t_{\text{вв}} + (T_D^2 + T_d^2 + \Delta t_{\text{нв}}^2)^{1/2} \quad (5.2)$$

де  $d$  - діаметр отвору;

$\Delta d_{\text{вв}}$  - граничне верхнє відхилення діаметра отвору (таблиця 5.5);

$c$  - ширина контактної площадки у вузькому місці (таблиця 5.1);

$\Delta t_{\text{вв}}$  - граничне верхнє відхилення діаметра контактної площадки (таблиця 5.6);

$\Delta d_{\text{тр}}$  - значення підтравлювання діелектрика в отворі (дорівнює 0,03 мм для БДП і нулю для ОДП і ДДП);

$T_d$  - позиційний допуск розміщення отворів (таблиця 5.7);

$T_D$  - позиційний допуск розміщення центрів контактних площадок (таблиця 5.8);

$\Delta t_{\text{нв}}$  - граничне нижнє відхилення контактної площадки (таблиця 5.6).

Діаметр отвору визначається в залежності від товщини виводів радіоелементів,  $d = d_b + (0,2 - 0,4)$  мм.

Найменша номінальна відстань для прокладання  $n$ -ї кількості провідників.

$$l = \frac{D_1 + D_{21}}{2} + b \cdot n + S \cdot (n + 1) + T_e \quad (5.3)$$

де  $D_1, D_2$  - діаметри контактних площадок;

$b$  - ширина друкованого провідника;

$n$  - кількість провідників;

$S$  - відстань між краями сусідніх друкованих провідників;

$T_e$  - позиційний допуск розміщення друкованого провідника (таблиця 5.9).

Таблиця 5.5. - Граничні відхилення діаметра монтажних і перехідних отворів,  $\Delta d$

Діаметр отвору, мм	Наявність металізації	Граничні відхилення діаметра $d$ , мм,				
		1	2	3	4	5
До 1,0 мм	Без металізації	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,025$
	З металізацією оплавленням	+0,05; -0,15	+0,05; -0,15	+0; -0,10	+0; -0,10	+0; -0,75
	З металізацією без оплавлення	+0,05; -0,18	+0,05; -0,18	+0;-0,13	+0;-0,13	+0;-0,13
Вище 1,0 мм	Без металізації	+0,15	+0,15	+0,10	$\pm 0,1$	$\pm 0,10$
	З металізацією оплавленням	+0,1; -0,2	+0,10; -0,20	+0,05; -0,15	+0,05; -0,15	+0,05; -0,15
	З металізацією без оплавлення	+0,1; -0,23	+0,1; -0,23	+0,05; -0,18	+0,05; -0,18	+0,05; -0,18

Таблиця 5.6 - Граничні відхилення діаметра контактної площадки,  $\Delta t$ 

Наявність металізації отвору	Граничні відхилення ширини друкованого провідника, мм, для класу точності				
	1	2	3	4	5
Без покриття	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$	+0 -0,03
3 покриттям	+0,25 -0,20	+0,15 -0,1	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$

Таблиця 5.7. - Позиційні допуски розміщення осів отворів,  $T_d$ 

Розмір ДП по більшій стороні, мм	Значення позиційного допуску розміщення осів отворів $T_d$ , мм				
	1	2	3	4	5
До 180 вкљоч.	$\pm 0,20$	$\pm 0,15$	$\pm 0,08$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$
Від 180 до 300	$\pm 0,25$	$\pm 0,20$	$\pm 0,10$	$\pm 0,08$	$\pm 0,08$
Вище 360	$\pm 0,30$	$\pm 0,25$	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,1$

Таблиця 5.8. - Значення позиційних допусків розміщення центрів КП,  $T_p$ 

Вид виробу	Розмір ДП по більшій стороні	Значення позиційного допуску розміщення центрів КП $T_p$ , мм (для класів точності)				
		1	2	3	4	5
ОДП, ДДП, БДП (зовнішній шар)	До 180 вкљоч.	$\pm 0,35$	$\pm 0,25$	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$
	Від 180 до 360	$\pm 0,40$	$\pm 0,30$	$\pm 0,20$	$\pm 0,15$	$\pm 0,08$
	Більше 360	$\pm 0,45$	$\pm 0,35$	$\pm 0,25$	$\pm 0,20$	$\pm 0,15$
БДП (внутрішній шар)	До 180 вкљоч.	$\pm 0,40$	$\pm 0,30$	$\pm 0,20$	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$
	Від 180 до 360	$\pm 0,45$	$\pm 0,35$	$\pm 0,25$	$\pm 0,20$	$\pm 0,15$
	Більше 360	$\pm 0,50$	$\pm 0,40$	$\pm 0,30$	$\pm 0,25$	$\pm 0,20$

### 5.6 Розрахунок ширини друкованих провідників

Визначаємо мінімальну ширину друкованого провідника в залежності від величини струму у колі

$$b_{\min} = \frac{I_{\max}}{J_{\text{доп}} \cdot t} \quad (5.4)$$

де -  $I_{\max}$  - максимальний постійний струм, що проходить у провід-

нику (визначається із аналізу схеми принципової), А;  
 $j_{\text{доп}}$  - допустима густина струму (таблиця 5.9), А/мм<sup>2</sup>

Таблиця 5.9 - Значення позиційних допусків розміщення друкового провідника відносно сусіднього елемента, Те

Вид виробу	Значення позиційного допуску розміщення друкового провідника, мм (для класів точності)				
	1	2	3	4	5
ОДП, ДДП, БДП (зовнішній шар)	0,20	0,10	0,05	0,03	0,02
БДП (внутрішній шар)	0,3	0,15	0,10	0,08	0,05

$t$  - товщина провідника, мм.

Визначаємо мінімальну ширину провідника з умови допустимого падіння напруги

$$b_{\text{мін}2} = \frac{\rho \cdot j_{\text{max}} \cdot l}{t \cdot \Delta U_{\text{доп}}} \quad (5.5)$$

де  $\rho$  - питомий опір матеріалу провідника, Ом · мм<sup>2</sup> / м (таблиця 5.10);

$l$  - довжина провідника, м;

$t$  - товщина провідника, мм;

$\Delta U_{\text{доп}}$  - допустиме падіння напруги, яке не перевищує 5% від напруги живлення мікросхем та не більше завадостійкості мікросхем.

Таблиця 5.10 - Допустима густина струму в залежності від методу виготовлення

Метод виготовлення	Товщина фольги, мкм	Допустима густина струму, А/мм <sup>2</sup>	Питомий опір, Ом · мм <sup>2</sup> / м
Хімічний: внутрішні шари БДП зовнішні шари ОДП, ДДП	20, 35, 50	15	0,050
	20, 35, 50	20	
Комбінований позитивний	20	75	0,0175
	35	48	
	50	38	
Електрохімічний	—	25	0,050

Мінімальні значення ширини провідників необхідно порівняти з технологічно можливою шириною, яка відповідає прийнятому класу точності і вибрати максимальну.

### 5.7 Особливості конструювання друківаних плат

При виготовленні плат хімічним методом монтажні отвори повинні мати zenківки. Допускається zenкування монтажних отворів зі сторони установлення EPE, що мають виводи у вигляді штирів. Інші отвори можуть мати zenківку з двох сторін.

Діаметр монтажних отворів, в які ставляться пустотілі заклепки, наприклад, для зовнішніх виводів, для масивних EPE, або що підбираються під час регулювання, вибирається з умови:

$$d = d_3 + 0,1 \text{ мм}$$

Діаметр контактної площадки може бути зменшений з однієї сторони, або з двох сторін до значень  $c$ , що подаються у таблиці 5.1. У випадку зменшення з однієї сторони, контактну площадку збільшують у вільну сторону з тим, щоб, її площа, без урахування площі отвору, складала 4-6 мм<sup>2</sup>.

При виготовленні плат комбінованим методом металізовані отвори виконують як із zenкуванням, так і без нього. При наявності zenкування отворів допускається для позитивного методу зниження контактної площадки до zenкування з однієї або з двох сторін; для негативного методу - зниження контактної площадки до 0,15 мм, починаючи від краю zenкування. При відсутності zenкування зниження контактної площадки допускається до значень  $c$ , що вказані у таблиці 5.1.

При виготовленні друківаних плат необхідно виконати захист провідників від впливу навколишнього середовища за допомогою захисних лаків або масок. Застосування масок дозволяє виконувати маркування радіоселементів на поверхні плати. Маркування виконується фарбою у довільній формі, яке вміщує графічне та літерне позначення радіоселементів.

## Глава 6 РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЙ НА МЕХАНІЧНІ ДІЇ

Метою розрахунку є визначення перевантажень і максимальних переміщень, які діють на елементи від вібрації і ударів, а також максимальних переміщень.

### 6.1 Розрахунок на дію вібрацій

Визначаємо частоту власних коливань окремих конструктивних елементів РЕА. Частоту власних коливань рівномірно навантаженої пластини визначаємо за формулою 6.1.

$$f = \frac{1}{2\pi} \frac{K_{\alpha}}{a^2} \sqrt{\frac{D}{M}} a \cdot b \quad (6.1)$$

де  $a$  і  $b$  – довжина і ширина плати, м;  
 $M$  – маса плати, кг;  
 $D$  – циліндрична жорсткість

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (6.2)$$

де  $E$  – модуль пружності (таблиця 6.1);  
 $h$  – товщина пластини;  
 $\nu$  – коефіцієнт Пуассона (таблиця 6.2);

$K_{\alpha}$  – коефіцієнт, що залежить від способу кріплення сторін пластини і визначається за формулою 6.3

$$K_{\alpha} = k \left( \alpha + \beta \frac{a^2}{b^2} + \gamma \frac{a^4}{b^4} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6.3)$$

де  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $k$  – коефіцієнти, наведені в таблиці 6.3. Якщо прогин та кут повороту на краю плати дорівнюють нулю, то такий край є жорстко закріплений. Якщо прогин і момент згину дорівнюють нулю, то такий край є опертий, і якщо момент згину і сила перерізання дорівнюють нулю, то такий край вільний.

Таблиця 6.1 - Характеристика матеріалів, що застосовуються в РЕА

Матеріал	$E \cdot 10^{12}$ , Н/м	$\nu$	$\rho \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\Lambda \cdot 10^2$
Склотекстоліт фольгований з друкованою схемою СФ	3,02	0,22	2,05	2—10
Сталь	22	0,3	7,8	—
Алюміній	7,3	0,3	3,7	—


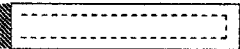

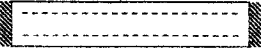
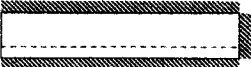
Таблиця 6.2. - Допустимі стріли прогину фольгованих матеріалів

Товщина листа, мм	Допустима стріла прогину мм/м			
	Одностороннє фольгування		Двостороннє фольгування	
	Гетинакс	Склотекстоліт	Гетинакс	Склотекстоліт
0,8	109	109	55	22
1,0	109	109	55	22
1,5	55	30	27	11
2,0	40	25	20	11
2,5	30	15	15	11
3,0	30	15	15	11

Для плати, закріпленої у чотирьох точках частота власних коливань визначається за формулою 6.4.

$$f_0 = \frac{\pi}{2a^2} \left( 1 + \frac{a^2}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{M}} a \cdot b \quad (6.4)$$

Таблиця 6.3 – Значення коефіцієнтів, які залежать від методу кріплення

Методи кріплення	κ	α	β	γ
	15,42	1	0,95	0,41
	9,87	1	2,57	5,14
	22,37	1	0,48	0,19
	22,37	1	0,57	0,47
	22,37	1	0,61	1



Отримане значення частоти власних коливань необхідно порівняти з частотою за умов експлуатації. Якщо виконується умова  $f_0 \neq f_p$ , то на конструкцію плати не будуть впливати вібраційні навантаження, а якщо дана умова не виконується, то необхідно перейти на інші методи конструювання ( зміна розмірів, методів кріплення, маси).

Далі необхідно визначити коефіцієнт динамічності, який розраховується за формулою 6.5.

$$K_{\text{дин}} = \frac{\sqrt{(1 + [K_1(x)K_1(y) - 1]\eta^2)^2 + \varepsilon^2\eta^2}}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + \varepsilon^2\eta^2}} \quad (6.5)$$

де  $K_1(x)$ ,  $K_1(y)$  – коефіцієнти форми коливань в залежності від методу кріплення країв плати. Для наведених вище випадків кріплення  $K(x) = K(y) = 1,3$ ;

$\eta$  – коефіцієнт розстроювання;

$\varepsilon$  – показник затухання.

Коефіцієнт розстроювання визначається як відношення частоти збудження до частоти власних коливань,  $\eta = f / f_0$ .

Показник затухання визначається за формулою  $\varepsilon = \Lambda / \pi$ , де  $\Lambda$  – декремент затухання (таблиця 6.1).

Визначаємо віброприскорення і віброзміщення елементів РЕА.

Для механічної системи з одним ступенем вільності розрахунок амплітуд віброприскорення  $a_0$  і віброзміщення  $S_b$  виконуються за формулами:

- для силового збудження:

$$a_g = n_0 \cdot K_{\text{дин}} g \quad (6.6)$$

$$S_g = \frac{n_0 K_{\text{дин}} g}{4\pi^2 f^2} \quad (6.7)$$

- для кінематичного збудження:

$$a_g = 4\pi^2 f^2 \xi_0 K_{\text{дин}} = a_0 K_{\text{дин}} \quad (6.8)$$

$$S_b = \xi_0 K_{\text{дин}} \quad (6.9)$$

де  $\xi_0 = a_0 / 4\pi^2 f^2$  - амплітуда віброзміщення основи

Визначаємо максимальний прогин плати відносно її кінців. Для силового збудження:

$$\delta = S_B \quad (6.10)$$

Для кінематичного збудження:

$$\delta = S_B - \xi_0 \quad (6.11)$$

Перевіряємо виконання умов віброміцності. Оцінювання віброміцності виконується за такими критеріями:

- для ІС, транзисторів, резисторів і інших ЕРЕ амплітуда віброприскорення повинна бути меншою допустимих прискорень, тобто  $a_{0\max} < a_{\text{доп}}$ ; значення  $a_{\text{доп}}$  визначається в процесі аналізу елементної бази;
- для друкованої плати стріла прогину не повинна перевищувати величини  $\delta_1$ , яка підраховується за формулою  $\delta_1 = \delta_{\text{доп}} l$ , де  $\delta_{\text{доп}}$  - допустимий розмір стріли прогину на довжині 1м (таблиця 6.2),  $l$  - довжина плати в м;
- для друкованої плати з радіоелементами повинна виконуватись умова  $\delta_b < 0,003b$ , де  $b$  - розмір сторони плати, паралельно якій встановлені елементи.

У тому випадку, коли умови віброміцності не виконуються, необхідно змінити конструкцію РЕА, збільшивши жорсткість несівних елементів, або застосувати амортизацію.

## 6.2 Розрахунок на дію удару

Ударні дії характеризуються формою і параметрами ударного імпульсу. Максимальну дію на механічну систему чинить імпульс прямокутної форми. Розрахунок на дію удару проводиться у такій послідовності:

- визначаємо умовну частоту ударного імпульсу

$$\omega = \pi / \tau \quad (6.12)$$

де  $\tau$  - тривалість ударного імпульсу.

- визначаємо коефіцієнт передачі при ударі для прямокутного імпульсу (формула 6.13) і для півсинусоїдного імпульсу (формула 6.14).

$$K_y = 2 \sin \frac{\pi}{2\nu} \quad (6.13)$$

$$K_y = \frac{2\nu}{\nu^2 - 1} \cos \frac{\pi}{2\nu} \quad (6.14)$$

де  $\nu$  - коефіцієнт розстроювання,  $\nu = \omega / 2\pi f_0$ ;  $f_0$  - частота власних коливань механічної системи;

- визначаємо максимальне відносне зміщення для прямокутного імпульсу (формула 6.15) і для півсинусоїдного (формула 6.16):

$$Z_{\max} = \frac{2H_y}{2\pi f_0} \sin \frac{\pi}{2\nu} \quad (6.15)$$

$$Z_{\max} = \frac{2H_y}{2\pi f_0} \cdot \frac{\nu}{\nu^2 - 1} \cos \frac{\pi}{2\nu} \quad (6.16)$$

Перевіряємо виконання умов ударостійкості за такими критеріями:

- для ЕРЕ ударне прискорення повинно бути менше допустимого,  
 $a_y < a_{удоп}$ , де  $a_{удоп}$  визначається із аналізу елементної бази;

- для друкованої плати повинна виконуватись умова  $Z_{max} < \delta_{доп} \cdot l^2$ ,  
де  $\delta_{доп}$  визначається з таблиці 6.2;

- для друкованої плати з радіоелементами  $Z_{max} < 0,003 b$ , де  $b$  – розмір сторони плати, паралельно якій встановлені радіоелементи.

Окремим випадком ударної дії є удар при падінні пристрою. Навантаження, яке діє при цьому, становитиме:

$$V_o = V_y + V_b, \quad (6.17)$$

де  $V_y = \sqrt{2gH}$  – швидкість пристрою у момент удару;

$V_b = V_y \cdot K_b$  – швидкість відскоку;

$H$  – висота падіння пристрою, м;

$K_b$  – коефіцієнт відновлення швидкості (таблиця 6.4)

Після цього знаходимо прискорення, яке діє на пристрій:

$$a_n = V_o \cdot 2\pi f_0, \quad (6.18)$$

Це прискорення повинно бути менше допустимого прискорення падіння за технічним завданням.

Таблиця 6.4 – Коефіцієнт відновлення швидкості

Матеріали тіл, що ударяються	$K_b$
Сталь – сталь	0,94
Сталь – бетон	0,9
Сталь – земля	0,68
Сталь – пінопласт	0,55

У тому випадку, коли умови віброміцності при падінні не виконуються, необхідно змінити конструкцію радіоелектронного засобу, збільшивши жорсткість несівних елементів, або застосувати амортизацію.

Важливим елементом конструкторського проектування електронних засобів телекомунікаційних систем є розрахунок внутрішньої електромагнітної сумісності, мета якого є визначення роботоспроможності вузлів в умовах перехресних завад у лініях зв'язку. У результаті розрахунку виявляються елементи і кола, що не забезпечують вимог ЕМС, тому необхідно внести корекції у компоновання, трасування і технологію елементів друкованого монтажу та екранування окремих кіл та вузлів.

### 7.1 Оцінювання завадостійкості

Для оцінювання завадостійкості на друкованій платі визначаємо ємнісну та індуктивну складову паразитного зв'язку, які залежать від паразитної ємності між друкованими провідниками та паразитної взаємодукції між ними.

Паразитна ємність між двома друкованими провідниками

$$C = C_{\text{пор}} \cdot l_1 \quad (7.1)$$

де  $l_1$  – довжина взаємного перекриття провідників, см;

$C_{\text{пор}}$  – погонна ємність між двома провідниками (таблиця 7.1, 7.2), пФ/см.

Паразитна ємність провідника в системі з трьох і більше провідників визначається як сума паразитних ємностей пар провідників.

Паразитна взаємодукція між друкованими провідниками для плати без екранованої площини (рисунок 7.1, а) визначається за формулою

$$M = 2l_2 \left[ \ln \frac{2l_2}{S + 0,5(b_1 + b_2)} - 1 \right] \quad (7.2)$$

де  $M$  – взаємодукція між провідниками, мГн;

$b_1, b_2$  – ширина друкованих провідників, см;

$l_2$  – довжина паралельної частини провідників, см;

$S$  – відстань між провідниками.

Паразитна взаємодукція між друкованими провідниками для плати з екранованою площиною (рисунок 7.1, б) визначається за формулою

$$M = 2l_2 \left[ \frac{S + 0,5(b_1 + b_2)}{H} + \ln \frac{2l_2}{S + 0,5(b_1 + b_2)} \right], \quad (7.3)$$

де  $H$  – товщина діелектрика, см.

Індуктивність друкованого провідника

$$L = L_{\text{пог}} \cdot l_2 \quad (7.4)$$

де  $L_{\text{пог}}$  – погонна індуктивність друкованого провідника, мкГн, (таблиця 7.3).

Призначення перевіркового розрахунку завадостійкості друкованих плат полягає у визначенні допустимих значень паразитних ємностей та індуктивностей або допустимих значень довжин провідників.

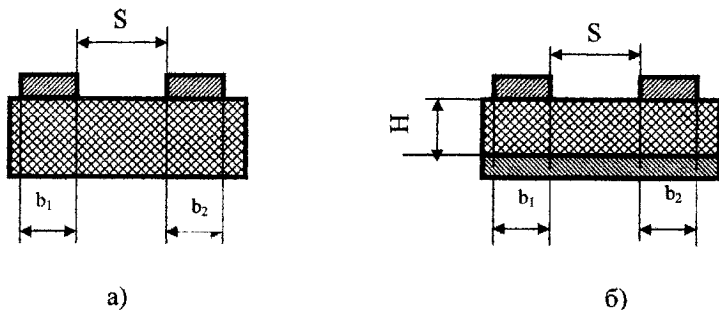


Рисунок 7.1 – Паралельно розміщені провідники; а – без екранування, б – з екранованою площиною

Таблиця 7.1 – Погонні ємності для провідників, розміщених один під одним.

Ширина провідника, мм	Двостороння друкована плата	БДП з товщиною ізоляційного шару, мм		
		0,15	0,25	0,5
0,25	0,54	1,4	1,05	0,75
0,45	0,66	2,19	1,62	1,05
0,75	0,9	3,9	2,25	1,62
1,0	0,96	-	2,76	1,86
1,5	1,2	-	-	2,28
2,0	1,6	-	-	2,76
5,0	2,6	-	-	-

Таблиця 7.2 – Погонні ємності для сусідніх друкованих провідників, розміщених на одному шарі, пФ/см

Ширина провідника, мм	Відстань між провідниками, мм	Двосторонні плати		Внутрішні шари БДП
		нелаковані	лаковані	
0,25	0,25	0,53	0,75	0,9
0,25	0,45	0,42	0,6	0,72
0,25	0,75	0,35	0,5	0,6

Продовження таблиці 7.2

Ширина провідника, мм	Відстань між провідниками, мм	Двосторонні плати		Внутрішні шари БДП
		нелаковані	лаковані	
0,45	0,25	0,59	0,85	1,02
0,45	0,45	0,53	0,75	0,9
0,45	0,75	0,42	0,6	0,72
0,45	1,0	0,45	0,65	0,78
0,45	1,5	0,35	0,5	0,6
0,75	0,25	0,77	1,1	1,32
0,75	0,45	0,51	0,9	1,08
0,75	0,75	0,53	0,75	0,9
0,75	1,0	0,52	0,7	0,84
0,75	1,5	0,42	0,6	0,72

Таблиця 7.3 – Погонна індуктивність друкованого монтажу

Ширина провідника, мм	Погонна індуктивність, мкГн
0,25	0,018
0,45	0,017
0,75	0,015
1	0,014
1,5	0,012
2	0,011
2,5	0,0105
3	0,010
4	0,0095
5	0,009

Допустима довжина провідників цифрових схем у випадку дії паразитного зв'язку ємнісного характеру дорівнює

$$l_{\text{доп}} = \frac{\tau_{\phi} \kappa_{\text{ном}} \lg 2S / (t + b)}{0,12 \varepsilon_r R_{\text{вих}}} 10^{12} \quad (7.5)$$

де  $l_{\text{доп}}$  – допустима довжина провідника при дії ємнісної складової паразитного зв'язку, см;

$\tau_{\phi}$  – тривалість фронту імпульсу;

$\kappa_{\text{зав}}$  – коефіцієнт завадостійкості мікросхем;

$S$  – відстань між провідниками;

$t$  – товщина провідника, см;

$b$  – ширина провідника, см;

$\varepsilon_r$  – діелектрична проникність середовища між провідниками;

$R_{\text{вих}}$  – вихідний опір, Ом

Допустиму довжину провідників при дії паразитної ємнісної складової можна знайти також як

$$l_{c \text{ доп}} = C_{\text{доп}} / C_{\text{пог}} \quad (7.6)$$

де  $C_{\text{доп}}$  – допустиме значення паразитної ємності. Для мікросхем різної серії і тривалості імпульсу сигналу порядку  $5t_{\text{ст. ср.}}$  (час затримки режиму спрацювання)  $C_{\text{доп}} = 20 - 80$  пФ.

Для аналогових схем допустима паразитна ємність визначається як

$$C_{\text{доп}} = \frac{K_{\text{звздоп}}}{2\pi f R_i} \quad (7.7)$$

де  $K_{\text{звздоп}}$  – допустимий коефіцієнт передачі кола загального паразитного зворотного зв'язку;

$R_i$  – опір джерела сигналу.

Допустима довжина провідників при дії тільки індуктивного паразитного зв'язку цифрових схем визначається за формулою 7.8 для плат без поверхні екранування і за формулою 7.9 для плат з поверхнею екранування.

$$\left[ \ln \frac{2I_{\text{доп}}}{S + 0,5(b_1 + b_2)} - 1 \right] = \frac{t_{\text{зм.ср.}}(U_{\text{зсм}} + U_0)}{k_{\text{зан}} \Delta l} \quad (7.8)$$

$$\left[ \frac{S + 0,5(b_1 + b_2)}{2H} + \ln \frac{2I_{\text{доп}}}{S + 0,5(b_1 + b_2)} - 1 \right] = \frac{t_{\text{зм.ср.}}(U_{\text{зсм}} + U_0)}{k_{\text{зан}} \Delta l} \quad (7.9)$$

де  $U_{\text{зст}}$  – значення завадостійкості мікросхем, наведені в ТУ, В;

$U_0$  – напруга логічного нуля, наведена в ТУ, В;

$K_{\text{зан}}$  – коефіцієнт запасу,  $K_{\text{зан}} = 0,5 - 1$ ;

$\Delta l$  – перепад струму у колі живлення при перемиканні мікросхем,

А;

$t_{\text{ст. ср}}$  – середній час затримки.

Для аналогових схем допустима довжина провідників визначається відношенням,  $l_{\text{доп}} = L_{\text{доп}} / L_{\text{пог}}$ .

Допустиме значення індуктивності визначається за формулою

$$L_{\text{доп}} = \frac{K_{\text{з.єм.доп}} R_H}{2\pi f} \quad (7.10)$$

де  $R_H$  – опір навантаження.

Допустима довжина провідників на друкованій платі при одночасній дії ємнісного та індуктивного паразитного зв'язку визначається за формулою

$$I_{\text{дон}} = \frac{I_{\text{сдон}} \cdot I_{\text{Мдон}}}{I_{\text{сдон}} + I_{\text{Мдон}}} \quad (7.11)$$

При компопуванні плат слід враховувати, що ділянки схем з великим опором чутливі до впливу паразитних ємностей, для ділянок з малим опором більш важливі опір та індуктивність провідників. Тому у високоомних колах слід застосовувати вузькі провідники, при цьому паразитна ємність буде мінімальною. Для низькоомних сигнальних кіл застосовують широкі провідники, при цьому опір і індуктивність мінімальні, а ємності не суттєві.

В цілому взаємне розміщення провідників і компонентів повинні бути такими, щоб ємності між ними в основному опинялись у ділянках схеми, де вплив цих ємностей на роботу схеми мінімальний, вхідні, чутливі до наведення ділянки схеми слід екранувати від інших ділянок з високим рівнем сигналів.

## 7.2 Розрахунок електромагнітного екранування

Екранування є конструкторським засобом послаблення електромагнітного поля завод в межах певного простору і призначено для підвищення заводостійкості та забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів та систем. Конструкції, які реалізують вказані вимоги, називаються екранами. Екрани застосовуються як для окремих елементів, так і для цілих вузлів та пристроїв. Необхідність екранування повинна бути обґрунтована і розглядатися тільки після того, як повністю вичерпані конструктивні методи оптимального компопування апаратури.

На практиці дію екрана оцінюють ефективністю екранування

$$E = 20 \lg(U/U_{\text{н}}) \quad (7.12)$$

де  $U$  – напруга завади в екранному просторі, В;

$U_{\text{н}}$  – напруга завади без екрана.

Розрахунок екранів проводиться у такій послідовності:

- визначається тип поля завади, яке класифікується як електростатичне, магнітостатичне та електромагнітне. Простір навколо умовного випромінювача електромагнітної завади поділяється на ближню ( $r < \lambda / 2\pi$ ) та дальню ( $r > \lambda / 2\pi$ ) зони, де  $\lambda$  - довжина хвилі завади,  $r$  – відстань від випромінювача до екрана. Якщо випромінювач увійти у вигляді електричного диполя, то у навколишній зоні переважає електричне поле, а якщо увійти у вигляді рамки зі струмом, то переважає магнітне поле. У першому випадку можна говорити про електростатичне поле, а у другому – про магнітостатичне. Наприклад, високовольтні елементи та пристрої можуть бути представлені електричним диполем, а котушки індуктивності, трансформатори, друковані провідники – рамкою зі струмом;



- вибираємо конструктивну форму екрана у вигляді паралелепіпеда, циліндра або сфери. Форма екрана впливає на ефективність екранування та на резонансні якості, а саме на значення частоти, на якій відбувається різке зростання магнітного або електричного поля всередині екрана. Для порівняння екранів різних форм, вводять загальний параметр – еквівалентний радіус  $R_e$ . Для екрана прямокутної форми

$$R_e = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} l_1 l_2 l_3}, \quad (7.13)$$

для циліндричного екрана

$$R_e = \sqrt[3]{\frac{3}{16} D^2 h}, \quad (7.14)$$

для сферичного екрана  $R_e = r_c$ .

Нижня резонансна частота екрана визначається за формулою

$$f_{res} \cong \frac{138}{R_e} 10^6, \quad (7.15)$$

Значення резонансної частоти не повинно входити в спектр частот завади.

- вибираємо матеріал і конструкцію стінок екрана. Матеріал стінок екрана найбільше впливає на ефективність екранування. Величиною, що характеризує екранувальну дію матеріалу, є глибина проникнення  $\delta$  (на тій глибині напруженість електричного поля зменшується в  $n$  разів);

$$\delta = 0,52 (\pi f \mu_r \sigma)^{-1/2}, \quad (7.16)$$

де  $f$  частота поля завади, МГц;

$\mu_r$  – відносна магнітна проникність;

$\sigma$  – питома провідність матеріалу екрана, См/м.

Характеристики матеріалів екранів наведені в таблиці 7.4.

- розраховуємо ефективність екранування вибраного екрана та його необхідну товщину.

### 7.2.1 Розрахунок магнітостатичного екрана

Екранування магнітних полів виконується на основі шунтування магнітного поля феромагнітними матеріалами (магнітостатичне екранування) та на основі витіснення магнітного поля полем вихрових струмів в екрані.

При магнітостатичному екрануванні відбувається замикання магнітного поля, утвореного постійними магнітами або струмами, що протікають по електричних колах апаратури, екраном внаслідок його підвищеної магнітної проникності.

Якщо екран виконати із феромагнітних матеріалів (пермалой, сталь) з великою магнітною проникністю, то магнітний потік замикається в

Таблиця 7.4 – Електричні параметри матеріалів, призначених для екранування

Матеріал	Питома провідність $\sigma$ , См/м $10^{-7}$	Відносна магнітна проникність $\mu_r$	Матеріал	Питома провідність $\sigma$ , См/м $10^{-7}$	Відносна магнітна проникність $\mu_r$
Алюміній	3,54	1	Залізо	1,0	1100 - 22000
Латунь	1,25	1	Нікель	1,38	12 - 80
Мідь	5,8	1	Сталь	0,66	150
Срібло	6,2	1	Пермолой	0,42	80 - 8000

основному на стінках екрана, який має менший магнітний опір у порівнянні з опором повітряного простору, зайнятим екраном. При цьому ефективність екранування буде тим вища, чим менше стиків, швів і розрізів, які ідуть поперек напрямленню ліній магнітної індукції.

Ефективність екранування для циліндричного екрана визначається за формулою

$$E = 20 \lg \left[ 1 + 0,25 \left( 1 - r_1^2 / r_2^2 \right) (\mu_r + 1 / \mu_r - 2) \right] \quad (7.17)$$

де  $r_1$  - зовнішній радіус екрана;

$r_2$  - внутрішній радіус екрана.

Відповідно до заданих  $E$ ,  $\mu_r$  і  $r_2$  визначаємо товщину екрана

$$d = r_2 \left[ 1 - \sqrt{1 - 4 \left( 10^{E/20} - 1 \right) / (\mu_r + 1 / \mu_r - 2)} \right] \quad (7.18)$$

Для прямокутного екрана

$$E = 20 \lg \left[ 1 + \left( 1 - a_1^2 / a_2^2 \right) (\mu_r + 1 / \mu_r - 2) \right] \quad (7.19)$$

де  $a_1$ ,  $a_2$  - внутрішній та зовнішній розмір екрана,

тоді

$$d = 0,5 a_2 \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( 10^{E/20} - 1 \right) / (\mu_r + 1 / \mu_r - 2)} \right], \quad (7.20)$$

Для сферичного екрана

$$E = 20 \lg \left\{ 1 + 0,22 \left[ 1 - \frac{(r-d)^3}{r^3} \right] \left( \mu_r + \frac{1}{\mu_r} - 2 \right) \right\}, \quad (7.21)$$

тоді

$$d = r \left[ 1 - \sqrt[3]{1 - 4,5 \left( 10^{E/20} - 1 \right) / (\mu_r + 1 / \mu_r + 2)} \right], \quad (7.22)$$

При магнітостатичному екрануванні та проектуванні екранів необхідно виконати такі вимоги:

- магнітна проникність матеріалу екрана повинна бути якомога більшою;

- збільшення товщини стінок приводить до збільшення ефективності екранування, але необхідно враховувати можливі конструктивні обмеження за масою та габаритами;

- стики, розрізи та шви повинні розміщуватися паралельно лініям магнітної індукції;

- заземлення екрана не впливає на ефективність екранування.

Дія металевого екрана у змінному високочастотному магнітному полі ґрунтується на використанні явища електромагнітної індукції, що викликає вихрові струми в екрані, які утворюють вторинне магнітне поле, направлене зустрічно полю у зону, яку захищають.

В результаті при конструюванні високочастотних функціональних вузлів апаратури в якості матеріалів екранів найчастіше використовують немагнітні матеріали, які забезпечують достатню ефективність і вносять в екрановані вузли менше втрат у порівнянні з магнітними матеріалами. Еквівалентна глибина проникнення для різних матеріалів в області високих частот достатньо мала, тому екран з будь якого матеріалу порівняно невеликої товщини забезпечить ефективне екранування. При конструюванні таких екранів найчастіше постає питання забезпечення жорсткості, стійкості до механічних впливів, стійкості до корозії та технологічності конструкції.

Таким чином основні вимоги до конструювання екранів, що діють методом витіснення магнітного поля вихровими струмами, такі:

- товщину екрана необхідно вибирати більшою за еквівалентну глибину проникнення;

- ефективність екранування підвищується зниженням опору вихровим струмам, тому найчастіше виготовляють екрани з алюмінію, міді та латуні;

- стики, розрізи та шви повинні розміщуватися у напрямку вихрових струмів в екрані;

- заземлення екранів, що працюють за рахунок утворення вихрових струмів, не впливає на ефективність екранування.

### *7.2.2 Розрахунок електростатичного екрана*

Принцип електростатичного екранування полягає у замиканні силових ліній завадонесівного електричного поля на металевий екран, який з'єднаний з корпусом апаратури або землею.

Ефективність екранування плоского листового електростатичного екрана визначається за формулою

$$E = 20 \lg \left[ 5r^3 / (a^2 a_1 - a a_1^2) \right], \quad (7.23)$$

де  $r$  – радіус еквівалентного плоского екрана;  $r = \sqrt{S_e / \pi}$ ;

$S_e$  – площа поверхні екрана;

$a$  – відстань між джерелом і приймачем завади;

$a_1$  – відстань від екрана до приймача завади.

Для електростатичного екрана замкнутої форми ефективність екранування становитиме

$$E = 20 \lg(60 \pi d \sigma). \quad (7.24)$$

При екрануванні електричного поля слід дотримуватись таких норм:

- конструкція екрана повинна бути такою, щоб силові лінії електричного поля в основному замикались на стінки екрана, не виходячи за його межі;

- в області низьких частот ефективність екранування мало залежить від матеріалу та товщини екрана, а залежить тільки від якості заземлення екрана на корпус (в залежності від співвідношення еквівалентної глибини проникнення  $\delta$  і товщини стінки екрана  $d$ , частоти, при яких  $d < \delta$ , можуть бути умовно названими низькими, а частоти, при яких  $d > \delta$ , - високими);

- в області високих частот ефективність екранування залежить від якості заземлення, від товщини, провідності і магнітної проникності екрана.

### 7.2.3 Розрахунок електромагнітних екранів у дальній зоні випромінювання

Електромагнітний режим екранування охоплює частотний діапазон  $10^3 - 10^9$  Гц при умові, що відстань від екрана до джерела завад більша  $(5 - 6)\lambda$ , а поперечні розміри екрана менші довжини хвилі завади.

Ефективність екранування суцільного електромагнітного екрана в дальній зоні випромінювання визначається за формулою

$$E = 20 \lg [\text{ch}(kd)] + 20 \lg [1 + 0,5(Z_B / Z_E + Z_E / Z_B) \text{th}(kd)], \quad (7.25)$$

де  $d$  – товщина екрана;

$Z_B$  – характеристика опору навколишнього простору, для плоскої хвилі  $Z_B = 120 \pi$  Ом;

$Z_E$  – характеристика опору метала екрана;

$$Z_e = \sqrt{j\omega \mu_r \mu_0 / \sigma} e^{j\pi/4}, \quad \mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}, \quad (7.26)$$

$k$  – коефіцієнт вихрових струмів

$$k = \sqrt{j\omega \mu_r \mu_0 \sigma} e^{j\pi/4} \quad (7.27)$$

## 7.2.4 Розрахунок електромагнітних екранів у ближній зоні випромінювання

Ефективність екранування циліндричного електромагнітного екрана у ближній зоні випромінювання розраховується за формулою 7.25, враховуючи, що величина  $Z_B$  для екранування електричної складової поля становитиме

$$(Z_B)_E = -j(2\pi f \epsilon_r \epsilon_0 r \epsilon_c)^{-1}, \quad (7.28)$$

а для екранування магнітної складової

$$(Z_B)_M = -j2\pi f \mu_r \epsilon_0 r \epsilon_c$$

Для сферичного екрана

$$(Z_B)_E = -j18 \cdot 10^9 / (fr \sqrt{2}); (Z_B)_M = j158 \cdot 10^{-7} fr / \sqrt{2}, \quad (7.29)$$

Для прямокутного екрана

$$(Z_B)_E = -j136 \cdot 10^9 / fr; \delta = 0,52(\pi f \mu_r \sigma)^{-0,5} \quad (7.30)$$

де  $r$  – половина відстані між стінками екрана, повернутими до джерела поля завади.

В діапазоні низьких частот (до  $10^4$  Гц) для випадку екранування електричного поля в ближній зоні

$$E_E = 20 \lg [1 + 0,5(Z_B)_E \delta \sigma], \quad (7.31)$$

При екрануванні магнітного поля в ближній зоні в низькочастотному діапазоні екран із магнітного матеріалу і сплаву має ефективність екранування

$$E_M = 20 \lg [1 + \mu_r d / 2r], \quad (7.32)$$

а із немагнітних матеріалів

$$E_M = 20 \lg [1 + \kappa^2 r d / 2], \quad (7.33)$$

## 7.2.5 Розрахунок перфорованих екранів і сіткових екранів

Для перфорованих екранів ефективність екранування

$$E = 20 \lg \left[ \sqrt{\sigma \delta Z_B} \sqrt{\frac{\lambda}{r}} \left( \frac{a-D}{a} \right)^2 \left( 1 - \frac{\pi m}{\lambda} \right)^6 e^{\frac{2\pi m}{\lambda}} \right], \quad (7.34)$$

де  $a$  – відстані між центрами отворів;

$D$  – діаметр отворів;

$m$  – найбільший розмір отворів в екрані. Ця формула придатна для діапазону довжин хвиль,  $\lambda > \pi m$ . При  $\lambda \approx \pi m$  ефективність екранування буде незначною.

Для екранів, виготовлених із сіткових матеріалів, за товщину екрана приймають еквівалентну товщину сітки  $d = \pi r^2 / S$ .

Формула для розрахунку ефективності таких екранів прийме вигляд

$$E = 20 \lg \left[ \sqrt{\text{ctd}Z_B} \sqrt[3]{\frac{\lambda}{r}} e^{\frac{2\pi r}{S-2r}} \left(1 - \frac{\pi r}{\lambda}\right)^6 e \right] \quad (7.35)$$

При проектуванні перфорованих екранів пропонується:

- розміщувати отвори у зоні зі слабкими електромагнітними полями;
- при заданій площі перфорації, виходячи з конструкторських міркувань необхідно зменшувати діаметри отворів, збільшуючи їх кількість;
- виконувати отвори у вигляді щілин, розміщуючи їх довгі сторони вздовж лінії вихрових струмів, наведених у стінках екрана;
- у діапазоні НВЧ виконувати отвори у вигляді хвилеводів.

### 7.2.6 Багатошарові екрани

У випадку одношарового магнітного екрана при великій напруженості матеріал екрана входить у режим насичення і ефективність екранування різко зменшується. Щоб усунути насичення, застосовують двошарові екрани, один із шарів якого, що направлений до джерела магнітного поля, виконується із магнітного матеріалу з низькою магнітною проникністю, яка має високий рівень насичення, або з немагнітного матеріалу, а другий шар з матеріалу з високою магнітною проникністю. При цьому перший шар екрана зменшує напруженість магнітного поля до значення, яке не викликає насичення другого шару, який і забезпечує екранування.

Внутрішні шари багатошарового екрана для забезпечення найбільшої екранувальної дії і досягнення найменших втрат, слід виконувати із немагнітних металів. Найкращі результати дає екран з поєднанням шарів з немагнітних і магнітних металів (наприклад, мідь – сталь, мідь – сталь – мідь). Це пов'язано з тим, що найбільший ефект екранування забезпечується за рахунок високої якості відбиття міді та поглинання сталі.

Застосування діелектричних прокладок (пластмаса, картон, папір), повітряних зазорів між металевими шарами екрана може привести до підвищення екранування у випадку, якщо їх товщина значно перевищує товщину металевих шарів. Тому такі екрани можуть використовуватись, коли в умовах на конструювання допускається збільшення розмірів та маси екранів.

Вибір оптимального співвідношення товщини шарів в екрані мідь – сталь при екрануванні магнітних полів слід виконувати з урахуванням таких характерних частотних особливостей:

- на частотах від 0 до 0,5 кГц найбільша ефективність забезпечується однорідним сталевим екраном. Це пов'язано з тим, що у даному діапазоні електромагнітне екранування практично відсутнє, тому екранувальна дія міді дуже мала і сталевий шар працює у магнітотсатичному режимі;
- на частотах від 0,5 кГц до 10 кГц найбільша ефективність досягається при рівній товщині міді та сталі. Це пояснюється тим, що мідний шар переходить в електромагнітний режим роботи, в той час як сталевий

екран продовжує працювати в електростатичному режимі;

- на частотах від 10 кГц до 1000 кГц мідний і сталевий шар працюють в електромагнітному режимі, зі зростанням частоти оптимальна частота міді зменшується, а сталі збільшується за рахунок великого впливу поглинання;

- на частотах, більших 1000 кГц, застосування складних екранів не доцільне, оскільки велика ефективність екранування забезпечується однорідним сталевим екраном.

## Глава 8 РОЗРОБКА КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА ДРУКОВАНІ ВУЗЛИ

Конструкторська документація на друковані вузли вміщує креслення друкованої плати, як деталі, складальне креслення вузла плати та специфікацію.

### 8.1 Розробка креслення друкованої плати

#### 8.1.1 Методика розробки креслення друкованої плати

Креслення ДП виконують і оформляють у відповідності до вимог стандартів ГОСТ 2.109-73 і ГОСТ 2.417-78 у масштабі - 1:1; 2:1; 4:1; 5:1; 10:1. Для кроку координатної сітки 1,25 мм рекомендують масштаб 2:1. Креслення повинно вміщувати види плати з друкованими провідниками і отворами, розміри для механічної обробки, технічні вимоги і виконується у такій послідовності:

- на листі стандартного формату накреслити рамку, контури видів у масштабі 2:1 і основний напис. Передбачити місце для технічних вимог, таблиці отворів, таблиці параметрів елементів друкованого монтажу;

- накреслити контур плати. Нанести габаритні розміри з граничними допусками. Правила нанесення розмірів і граничних відхилень на кресленнях встановлені стандартом ГОСТ 2.307-68. Нанести прямокутну координатну сітку з кроком 2,5 мм. Сітка визначає положення контактних площадок і монтажних отворів, а також друкованих провідників та інших елементів, виконується лініями типу виносних;

- пронумерувати лінії координатної сітки, вважаючи за початок координат центр крайнього лівого нижнього отвору зі сторони друкованого монтажу, або кут плати. Координатну сітку нумерують через два кроки;

- накреслити кріпильні отвори, нанести приєднувальні розміри, відстань між осями, координату лівого нижнього отвору, а також розміри ключа, що визначає орієнтацію ДП при складанні;

- нанести контактні і монтажні отвори у відповідності з компоновальним ескізом і вибраним масштабом. Отвори, близькі за діаметром рекомендується зображати колом одного діаметра з використанням умовного позначення діаметра;

- умовне позначення отворів, їх діаметри (з граничними допусками), наявність металізації, діаметри контактних площадок, кількість отворів занести у таблицю;

- центри монтажних і перехідних отворів повинні розміщуватися у вузлах координатної сітки, у тому числі і центри отворів під ключові виводи багатоконтактних навісних елементів, які не підлягають додатковому формуванню і не кратні кроку координатної сітки. Такі ділянки ДП, а також місця посадки і групові контактні площадки під ІС на кресленнях ДП обводять контуром, від якого роблять виноску з римською цифрою. На по-



лі креслення розміщують виносний елемент у тому ж або збільшеному масштабі з координатами всіх отворів і провідників цього елемента;

- круглі контактні площадки отворів допускається позначати одним колом, діаметр якого відповідає мінімальному розміру контактної площадки. Форма і розміри обумовлюються у технічних вимогах або у таблиці;

- провідники зображають у вигляді відрізків, проведених паралельно лініям координатної сітки або під кутом  $45^{\circ}$ . Провідники, ширина яких на кресленні менше 2 мм, рекомендується виконувати суцільною лінією, яка приблизно дорівнює двом товщинам контурних ліній. Широки провідники, екрани, контактні площадки необхідно штрихувати під кутом  $45^{\circ}$ . Якщо на кресленні є провідники, які за розрахунком повинні мати певну ширину та форму, то на кресленні необхідно подати їх розміри;

- за необхідністю в технічних вимогах подати інформацію про наявність захисної маски;

Всі ЕРЕ, позначення виводів напівпровідникових приладів (К,Е,Б), полярність електролітичних конденсаторів ("+"), базового виводу мікросхем, нумерацію вхідних та вихідних виводів необхідно маркувати. Маркування виконується способом друкованого монтажу або фарбою;

- праворуч, у верхньому кутку креслення, нанести позначення жорсткості для сторін та отворів, вибір класу чистоти; нанесення позначення жорсткості поверхні провести у відповідності зі стандартами ГОСТ 2.309-73 і ГОСТ 2789-73;

- вказати технічні вимоги;
- виконати основний напис.

### *8.1.2 Основні вимоги до оформлення креслення*

Креслення одно- і двосторонньої ДП має найменування "Плата". У графі з основного напису дають позначення матеріалу, наприклад "Скло-текстоліт СФ-1-50-1,5 ГОСТ 10316-78".

Трудомісткість креслень ДП для складної РЕА, може бути знижена розробкою на групу однотипних за типорозміром і технологією виготовлення ДП єдиного базового креслення, у якому вказують всі необхідні розміри, допуски, обробки, загальні технічні вимоги. Тоді креслення на кожну плату зводиться до показу тільки трас друкованих провідників і посилення на базове креслення.

### *8.1.3 Запис технічних вимог*

Технічні вимоги на кресленні ДП повинні бути сформульовані за такою формою:

1. Розміри для довідок.
2. Плату виконати ... (вказати вибраний метод).
3. Плата повинна відповідати.... (вказати ГОСТ).
4. Крок координатної сітки...(вказати крок сітки, наприклад,  $2,5 \pm 0,1$  мм).
5. Вимоги до параметрів елементів друкованого монтажу пропону-

ється подати у вигляді таблиці.

6. Форма контактної площадки довільна,  $s=0,2$  мм (у відповідності з класом ДП за щільністю монтажу).

7. Граничні відхилення між центрами контактних площадок ... (вказати відхилення).

8. На поверхню плати, зі сторони провідників, нанести захисну маску.

9. Позиційні позначення елементів маркувати фарбою... (вказати тип), шрифтом...

10. Друковані провідники і контактні площадки не захищені маскою покрити сплавом "РОЗЕ".

11. Заводський номер та дату виготовлення маркувати фарбою... (вказати тип), шрифтом... (вказати розмір).

Редакція пунктів технічних вимог може бути змінена у залежності від конструктивних особливостей ДП.

## **8.2 Розробка складального креслення друкованої плати**

### *8.2.1 Зміст і позначення складального креслення*

Складальне креслення - документ, що вміщує зображення складальної одиниці і інші дані, необхідні для її складання (виготовлення), контролю.

Такими даними є:

- зображення складальної одиниці, що дає уявлення про розміщення та взаємний зв'язок складових частин, які з'єднуються за даним кресленням;

- відомості для забезпечення складання і контролю складальної одиниці;

- розміри, їх відхилення та інші параметри і вимоги, які повинні бути проконтрольовані за складальним кресленням;

- вказівки про характер та методи з'єднання деталей;

- вказівки про спосіб виконання нерознімних з'єднань (зварювання, паяння);

- номер позицій складових частин блоку за специфікацією;

- основні характеристики виробу (за умов необхідності);

- габаритні та приєднувальні довідкові розміри.

Основний напис складального креслення повинен бути виконаний за стандартом ГОСТ 2.104 - 68. Найменування виробу і позначення повинно бути однаковим для схеми електричної принципової, переліку елементів, специфікації і складального креслення.

### *8.2.2 Методика розробки складального креслення*

Складальне креслення повинно вміщувати дві проєкції вузла з електрорадіоелементами, які виконані зі спрощенням графіки.

Послідовність розробки:

- вибрати масштаб, накреслити рамку, обрис проєкцій і основного напису, передбачити місце для технічних вимог над основним написом;
- накреслити проєкції ЕРЕ у відповідності з компонованням ДП із спрощенням. Якщо радіоелементи мають оригінальну установку, то необхідно викреслити додаткові види на вільному полі креслення [21];
- нанести габаритні, установлювальні, додаткові розміри;
- скласти специфікацію, позиційні позначення ЕРЕ за схемою будуть записані у графі "Примітка";
- написати технічні вимоги згідно з рекомендаціями [11].

### 8.2.3 Спрощення у складальному кресленні

Дозволяється складальне креслення оформлювати з деякими спрощеннями:

- друкований монтаж ДП не показувати;
- кріпильні отвори однакового діаметра показувати перетином ліній координатної сітки;
- елементи на боковій проєкції плати допускається показувати загальним контуром за максимальним габаритним розміром;
- ЕРЕ викреслювати умовно, у спрощеному вигляді з урахуванням габаритних розмірів у масштабі складального креслення;
- позиційне позначення ЕРЕ показувати виносними лініями;
- використовувати позиційне позначення ЕРЕ замість позицій складального креслення;
- спрощено або умовно показувати кріпильні деталі [21].

### 8.2.4 Технічні вимоги

Технічні вимоги складального креслення повинні вміщувати:

- позначення розмірів для довідок;
- варіанти установки ЕРЕ (додаток А);
- заходи електроізоляційного захисту і додаткове кріплення електродіоелементів;
- спосіб складання, марку припою;
- технічні вимоги до монтажу;
- відповідність позиційних позначень схемі електричній принциповій;
- спосіб вологозахисту вузла;
- вказівки до таврування вузла;

### 8.2.5 Специфікація

У відповідності зі стандартом ГОСТ 2.108-68 до складального креслення додається специфікація, яка виконується на окремих листах формату А4. При великій кількості складових частин виробу специфікація може розміщуватися на декількох листах, у нижній частині кожного повинен бу-

ти основний напис відповідно стандарту ГОСТ 2.104-68.

Складові частини виробу і КД вносяться у специфікацію у відповідні розділи, які розміщуються у послідовності:

- документація: складальне креслення, схема електрична принципова, перелік документів, пояснювальна записка;
- складальні одиниці: вносяться складальні одиниці, для яких виконані креслення;
- деталі: плата друкована, деталі кріплення, радіатори та інші;
- стандартні вироби: за ГОСТ, ОСТ;
- інші вироби: за ТУ, каталогом, прейскурантом;
- матеріали.

Найменування розділів підкреслюють і відокремлюють вільними рядками. Пропонується резервувати рядки і номери позицій.

Запис розділів "Складальні одиниці" і "Деталі" виконують у порядку зростання номерів позначень.

Запис розділів "Стандартні вироби" виконують за групами виробів, а у межах груп в алфавітному порядку найменувань; у межах найменувань у порядку зростання стандартів; у межах кожного позначення стандарту - у порядку зростання основних параметрів.

Запис "Інші вироби" виконують за групами в алфавітному порядку найменувань, а у межах найменувань - за номіналами.

Приклад запису розділу "Матеріали" наведені у [27].

## **Глава 9 КОНСТРУЮВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ПРИБОРІВ**

Особливості конструювання телекомунікаційної апаратури залежить від класу її використання (наземна, морська, бортова).

### **9.1 Конструювання наземної професійної стаціонарної апаратури**

Дана апаратура найбільш різноманітна по конструктивному виконанню. Розрізняють два способи її розміщення: централізований та децентралізований. При першому всі органи керування та інформації розміщені на центральному пульті, а виконавча апаратура скомпонована окремо у вигляді шаф, стояків, агрегатів та приладів. При необхідності вони можуть бути винесеними в окреме приміщення. Децентралізований передбачає розділення на одноблокові та прилади з малою кількістю блоків. Такі прилади встановлюються на столах, кріпляться на стінках, електричний зв'язок з якими здійснюється кабелями. Переваги такого методу конструювання – універсальність, недоліки – незручність установки та обслуговування, збільшення об'єму та маси, складність кабельного зв'язку.

За способом об'єднання блоків в конструкцію розрізняють одноблокові прилади, шафи, стояки, інформаційні панелі, контейнери, щити та пульти. Шафа характеризується наявністю дверей, яка і є його лицьовою панеллю. Шафа має захисний корпус, а також напрямні для установки блоків, елементи для фіксації і кріплення, електричні з'єднувачі.

Стояки не мають дверей і загальної лицьової панелі. Її утворюють блоки, що входять до конструкції.

Пульти призначені для здійснення зв'язку між оператором та пристроєм. Форма пульта і його розміри повинні забезпечувати прямий огляд всіх панелей і зручний контакт з усіма встановленими на ньому органами керування. Горизонтальна або нахилена панель може слугувати оператору робочим столом, на якому розміщені і основні органи керування. На вертикальних панелях розміщені органи індикації та контролю. Лицьові панелі часто відкидаються, відкриваючи доступ до блоків, монтажу, елементів інформації і керування.

Одноблочні та багатоблочні прилади необхідно конструювати так, щоб допускати можливість перенесення одним або двома робітниками, при цьому апаратура не повинна працювати.

### **9.2 Конструювання наземної професійної пересувної апаратури**

Дана апаратура поділяється на мобільну (яка працює під час роботи), переносну (яка не працює під час роботи) та пересувну, яка підлягає перевезенню автотранспортом на інше місце встановлення. Умови експлуатації пересувної апаратури пред'являють до її конструкції вимоги до ком-

пактності, надійності, захищеності від динамічного навантаження, вологи, пилу.

Апаратура, встановлена в герметичному, опалюваному кузові із вентиляційною системою, встановлюється або на амортизаційних рамах, або кріпиться на амортизаторах до підлоги кузова. Загальна маса обладнання, встановленого в автомобілі, повинна становити не більше 70% від вантажопідйомності, решта іде на запас для проїзду на поганих дорогах. Маса кожного блока не повинна перевищувати 60 кг. Пересувна апаратура повинна допускати швидкий демонтаж, вкладання у спеціальні ящики, перевантаження і складання у стояки на місці базування.

### **9.3 Конструювання наземної переносної професійної апаратури**

Апаратура включає радіостанції зв'язку, вимірювальну апаратуру, диктофони, магнітофони. Такі прилади можуть використовуватись на виробництвах; будівництвах; при пошукових, рятувальних, аварійних роботах; у військовій справі; в системі персонального виклику; в туризмі; в спорті.

Апаратура розрахована на обслуговування однією людиною, яка довгий час може носити за плечима 10 кг, на ремні 3 кг, в кишені 1 кг. Звідси виникає необхідність конструювати апаратуру у мікроелектронному варіанті. Умови експлуатації пред'являють до переносної професійної і особливо польової апаратури високі вимоги до кліматичних умов, надійності, захищеності від пилу, вологи, бризу, біологічних впливів. Крім звичайних нормативів за динамічними впливами переносне обладнання повинне бути захищеним від випадкових ударів. У зимовий час слід враховувати конденсацію роси. Дані пристрої забезпечують чохлами, ремнями, ручками.

### **9.4 Конструювання побутової телекомунікаційної апаратури**

Побутова апаратура відрізняється такими особливостями: підвищеним значенням ергономічних та естетичних показників, пристосованістю до експлуатації непередбаченим споживачем, масовістю виробництва та вимогами до вартості. Важливе значення має також ремонтпридатність конструкції. Для цього всі складові частини повинні бути легкоз'ємними, мати зручний доступ до всіх елементів, повинна бути забезпечена можливість підключення вимірювальної апаратури у контрольних точках. Наявність високої напруги потребує необхідних заходів з техніки безпеки: застосування електроізоляційних матеріалів, спеціальних заходів з обмеження доступу, блокування. Повинна бути виконана проробка конструкції з пожежної безпеки: обмеження потужності, застосування стійких матеріалів, відключення живлення.

## **9.5 Конструювання морської телекомунікаційної апаратури**

При конструюванні морської апаратури слід враховувати такі особливості: стійкість до хитавиці, ударів хвилі, морського середовища, високий рівень ремонтпридатності, обмеженість проходів та люків. Морська апаратура повинна розроблятися в тропічному виконанні, передбачувати корозійну стійкість та стійкість до плісняви. Крім того, на випадок прямого попадання води при штормах, аварійних ситуаціях та протипожежному зрошенню приміщень забезпечувати вологозахист та бризкозахист.

При проектуванні морських телекомунікаційних систем необхідно врахувати деякі особливості: тривалий режим плавання та неперервний режим експлуатації; високий рівень типізації і уніфікації; висока енергоозброєність, що потребує захисту від низькочастотних та високочастотних електромагнітних полів. Необхідно забезпечити також динамічну стійкість, яка вміщує вібростійкість, ударостійкість, стійкість до прискорення, яке виникає при хитавиці. Обмежені габарити рубок не повинні заважати легкому доступу до обладнання, а також повинна бути забезпечена пристосованість до довгого терміну зберігання та простоти консервації.

Стандартною схемою розміщення морського обладнання є: на мачтах встановлені радіолокаційні, навігаційні та антени зв'язку, в носовій частині – гідроакустичні антени, в штурманській рубці – пульти керування та навігаційні системи, в радіорубці – приймально-передавальна апаратура зв'язку.

Апаратура підводних човнів має жорсткі обмеження за розмірами і формою блоків, пов'язані з розмірами прохідних люків.

Буйкова апаратура характеризується такими особливостями: водонепроникненням; тривалою необслуговуваною експлуатацією, стійкістю до сильних ударів що спричиняють хвилі; задовільними температурними умовами, завдяки охолодженню водою.

Рятувальна телекомунікаційна апаратура повинна бути виконана в легкому водонепроникному корпусі, стійкому до солоної води, мати високу плавучість та витримувати без пошкоджень удар об воду при падінні з висоти 15 м. Апаратура повинна бути пофарбована в оранжевий колір.

## **9.6 Конструювання бортової телекомунікаційної апаратури**

Апаратура для літаків має такі особливості: мінімізація габаритів і маси; стійкість до вібрації; механічних та теплових ударів; децентралізація установлення. Техніка для літака та гелікоптера характеризується відносною короткочасністю неперервної роботи, що вимірюється годинами, під час якої апаратура не обслуговується. Розміщення блоків визначається не тільки зручністю доступу, але і необхідністю скорочення комунікацій, а також прийнятним розміщенням антен.

При проектуванні пультів керування, крім вище зазначених вимог, необхідно збільшувати можливість роботи в автоматичному режимі та са-

мостійному прийнятті рішень.

Космічні пристрої крім загальних вимог до бортової техніки, мають додаткові вимоги: особливої обмеженості об'єму та маси; особливо високої безвідмовності та ремонтпридатності у стартових умовах; стійкості до дії вібрацій з лінійними прискореннями; можливість роботи в умовах вакууму. Для підвищення надійності використовують подвійне та потрійне резервування.

## 9.7 Розробка складального креслення пристроїв

Враховуючи попередні вимоги та користуючись основними правилами компонування, конструктор повинен розробити складальне креслення на об'єкт, що проектується.

Складальне креслення - обов'язкова КД при робочому проектуванні складальної одиниці [7].

Складальне креслення за стандартом ГОСТ 2.109-73 повинно давати повне уявлення про розміщення і взаємні зв'язки частин виробу і забезпечити можливість складання і контролю пристрою.

Під час розроблення конструкції, складання і читання складального креслення, завдання полягає в тому, щоб уявити дійсну форму деталей і їх взаємодію за певними проекціями. Це вимагає від конструктора високого ступеня розвитку просторового мислення. Але і просторове уявлення не досягає мети, коли недостатні знання правил складання і оформлення складальних креслень.

Під час розроблення складальних креслень на основі компонувального ескізу, конструктор проводить численні уточнення компонування, перевірку забезпечення стиків, а також виконання умов ТЗ. У разі випадків, коли зміни компонування значні, доводиться проводити додаткові розрахунки, наприклад, теплових режимів, центра ваги, екранування тощо.

На етапі оформлення складальних креслень конструктор уточнює з'єднувальні параметри, вибирає масштаб зображення, види, перерізи, складає технічні вимоги і специфікацію.

Творчий характер конструювання РЕА і висока трудомісткість розробки і оформлення складальних креслень вимагає максимального використання засобів механізації та автоматизації: креслень-заготовок, аплікацій, масштабних моделей, застосування САПР.

Складальне креслення пристрою повинно містити:

- зображення складальної одиниці з видами, перерізами необхідними і достатніми для виконання складання;
- розміри, відхилення і інші параметри, вимоги, які повинні бути виконані за даним складальним кресленням;
- вказівки на обробку деталей у процесі складання і після нього;
- вказівки про характер з'єднання роз'ємних частин і методи його здійснення;
- вказівки про спосіб з'єднання нероз'ємних з'єднань;



- виносні лінії з зазначенням на них номерів позицій складових частин, що входять до складу виробу, у відповідності до номерів специфікації;
- основні характеристики виробу;
- габаритні розміри виробу;
- встановлювальні і приєднувальні розміри, а також необхідні додаткові розміри;
- основний напис, графи якого виконують відповідно до вимог стандарту ГОСТ 2.104-68.

### 9.7.1 Проектування несівних конструкцій РЕА ТКС

РЕА являє собою конструктивно самостійний вузол, призначений для виконання, як правило, самостійної функції. Блок може бути виконаний у приладному або щитовому варіантах.

Звичайно блок складається із корпусу з кришкою або шасі з панелями, кожуха і елементів: вимикачів, резисторів, трансформаторів, друкованих плат. На передній панелі знаходяться основні органи керування, індикатори і сигнальні пристрої з відповідними написами.

На задній панелі - з'єднувачі, запобіжники, радіатори.

Деталі, елементи блока можна поділити на:

- конструктивні деталі, що зв'язують блок в єдину конструкцію, яка має достатню механічну міцність та жорсткість. Вони забезпечують можливість установки і фіксації блока в робочому положенні. На конструктивних деталях встановлюють і закріплюють контактні деталі, монтажні проводи і навісні елементи. Конструктивними деталями є панелі, скоби, планки, притискачі, кріпильні деталі, монтажні плати, радіатори;

- друковані плати, які одночасно використовують як несівні і з'єднувальні деталі або функціональні вузли на друкованих платах;

- ЕРЕ стандартні, спеціальні і інші, а також виробу, що встановлюються під час електричного монтажу пристрою, наприклад, з'єднувачі, кнопки, перемикачі, індикатори, потенціометри та інше;

- з'єднувальні і ізоляційні деталі: монтажні проводи, ізоляційні трубки, джгути, плоскі і друковані кабелі та інші.

Визначну роль для габаритних розмірів, маси, технології виготовлення, складання, контролю надійності під час експлуатації відіграють несівні конструкції РЕА, особливо шасі і корпус.

Перед розробленням складального креслення РЕА для попередньої підготовки необхідно вивчити [1;17;22;] для прийняття рішень щодо вибору конструктивних матеріалів, можливості застосування універсальних типових конструктивів, технології виготовлення основних деталей та складання конструкції в цілому. Приклади проектування технологічних процесів складання РЕА розглянуті у роботах [18].

Особливу увагу при проектуванні несівних конструкцій РЕА слід приділити прогресивним методам зниження маси, питомих втрат сировини і матеріалів, зниження енерговитрат [15].

### 9.7.2 Методика розробки складального креслення РЕА

За умов виконання складального креслення РЕА за ескізом компонування пропонується дотримуватися такого плану:

- ознайомитися з виробами, визначити їх призначення і принцип роботи за схемою електричною принциповою, технічними характеристиками;
- визначити складові частини виробу і способи з'єднання деталей;
- скласти чернетку специфікації;
- позначити виріб і складові частини, внести позначення у специфікацію;
- вибрати головне зображення, що дає найкраще уявлення про розміри складової одиниці і взаємодії деталей;
- визначити необхідну кількість видів складального креслення;
- вибрати масштаб;
- вибрати формат і положення листа, виконати лінії обрізування листа, нанести рамку, форму основного напису;
- викреслити у всіх проєкціях тонкими лініями контури деталей, починаючи з великих, а потім дрібних. Контури суміжних деталей креслять "в одну лінію", зазори показують тільки якщо вони більші ніж 1 мм;
- нанести розмірні лінії і проставити розміри;
- виконати штрихування у розрізах і перетинах, слідкуючи за тим, щоб нахил лінії штрихування однієї деталі був однаковий на усіх проєкціях, а штрихування на суміжних деталях мало протилежний нахил;
- перевірити наявність габаритних, приєднувальних і довідникових розмірів;
- нанести символи і написи на передній панелі;
- вказати цифрами позиції відповідно до специфікації на лініях-виносках, розміщених групами, по можливості у вертикальних і горизонтальних рядках з однаковими інтервалами;
- оформити основний напис;
- оформити технічні вимоги;
- остаточно оформити специфікацію;
- провести самоконтроль складального креслення.

### 9.7.3 Технічні вимоги

Текстову частину, написи і таблиці включають у складальні креслення в тих випадках, коли необхідні дані, вказівки, пояснення неможливо або недоцільно подавати графічними або умовними позначеннями.

Зміст тексту і напису повинен бути коротким і точним, у написах не повинно бути скорочених слів, за винятком загальноприйнятих, а також встановлених у стандартах.

Текстову частину на кресленні розміщують, як правило, над основним написом.

Технічні вимоги на складальному кресленні РЕА викладають, групуючи однорідні і близькі за характером вимоги, по можливості у такій послідовності:

- вимоги до складання виробу;
- вимоги до налагодження та регулювання;
- інші вимоги до якості виробу: безшумність, вібростійкість, самогальмування, герметичність та інше;
- умови та методи випробування;
- вказівки про маркування та таврування;
- правила транспортування та зберігання;
- особливі умови експлуатації;
- посилання на інші документи, що вміщують технічні вимоги і не наведені у кресленні;

У числі технічних вимог на кресленні повинно бути написано "Розміри для довідок".

Пункти технічних вимог повинні мати нумерацію, кожний пункт записують з нового рядка.

За умов виконання складального креслення на двох і більше листах текстову частину розміщують на першому, незалежно від того, на яких листах знаходиться зображення.

#### *9.7.4 Специфікація*

Специфікацію складального креслення РЕА виконують за вимогами ГОСТ 2.108-68 , а також [17].

### 10.1 Основні завдання при розробленні електромонтажного креслення

Для з'єднання блоків друкованого монтажу, радіоелементів комутацій, індикації та з'єднувачів, що розміщують на передній панелі та стінках приладу, використовують об'ємний монтаж.

При розробці конструкції електромонтажу об'ємним проводом вирішують такі завдання:

- визначають тип проводу;
- вибирають компоновання сукупності проводів;
- розробляють методи механічного кріплення.

При виборі типу проводів враховують такі факти:

- схемотехнічні: струм, напругу, потужність, частотний діапазон сигналів тощо;

- технологічні: зручність зачищення ізоляції, міцність ізоляції, легкість контактування;

- конструктивні: наявність ізоляції, екрана, число жил проводу, діаметр жили, можливість об'єднання у джгут.

При виборі компоновання сукупності проводів враховують фактори:

- схемотехнічні: електромагнітна сумісність проводів, наявність екранів, ізолювальних зазорів;

- технологічні: методи складання джгута із окремих проводів: в'язанням, обмоткою, поміщенням в ізолювальну трубку, використання клеєних та друкованих шлейфів; метод контактування (паяння, зварювання, стиснення), доступність при складанні пристрою;

- конструктивні: радіус згину проводів, розміщення джгута відносно елементів, вузлів, допустиме число проводів у джгуті, наявність запасів для перепаявання.

При виборі методів контактування враховують:

- схемотехнічні фактори: мінімальний опір перехідного контакту, мінімізацію спотворення сигналу контактним вузлом;

- технологічні: можливість закріплення накруткою з наступним паянням, згином кінця проводу у отвір плати, або пелюстка;

- конструктивні: забезпечення жорсткості джгута зв'язуванням нитками, скобами, хомутами та інше.

При розробленні будь-якої конструкції необхідно використовувати рекомендації:

- мінімальний внутрішній радіус згину повинен бути не меншим діаметра проводу з врахуванням ізоляції;

- проводи живлення змінного струму слід зивати (прямий і зворотній провід);
- гнучкі монтажні проводи повинні мати запас за довжиною, що забезпечує повторне перепаювання;
- проводи з поліхлорвініловою ізоляцією не можна класти на гострі металеві краї;
- за умов довжини екранованого проводу більше 100 мм екран заземлюють з двох сторін;
- монтажні проводи повинні забезпечувати вільний доступ до елементів конструкції при виготовленні, контролі та ремонті;
- відстань від екрана до основної жили коаксіального кабелю повинна бути мінімальною, але забезпечувати відсутність закорочування;
- проводи повинні з'єднуватись у джгут, якщо це не викликає збільшення нерешкод.

## 10.2 Зміст і позначення електромонтажного креслення

Електромонтажному кресленню присвоюють позначення монтованого виробу з кодом МЕ. ВНГУ ХХХХХХ.ХХХ МЕ.

Креслення виконується в тому ж масштабі, що і креслення для механічного складання.

На кресленні зображують " обстановку " тонкими лініями необхідну тільки для визначення місць установа і приєднання складових частин, що з'єднуються електромонтажем. Всі складові частини, що монтуються при електромонтажі, позначаються основними лініями. При умовному зображенні провідників, допускається злиття ліній, що позначають провідники. Не допускається злиття ліній, що зображають окремі джгути.

Лінії, що йдуть до багатоконтактного виробу, допускається не доводити до зображення контактів і закінчити біля лінії контуру цього виробу. Вказівки про приєднання провідників до контактів подаються у вигляді таблиці.

Всім складовим частинам креслення присвоюють позиційні позначення, які є продовженням позиційних позначень складального креслення.

На кресленні допускається нанесення всіх необхідних розмірів для забезпечення електромонтажу.

## 10.3 Технічні вимоги

Технічні вимоги до електромонтажу креслення повинні містити:

- позначення розмірів для довідок;
- спосіб закріплення складових частин;
- загальні технічні вимоги.

## 10.4 Специфікація

Складові частини вносять до специфікації складального креслення для механічного складання у додаткові розділи.

Додаткові розділи розміщують у специфікації на креслення механічного складання, починаючи з нового листа під загальним заголовком "Встановлюють за ВНТУ XXXXXX.XXX МЕ". Складові частини електромонтажу вносять у специфікацію у відповідні розділи, які розміщують у послідовності: складальні одиниці, деталі, стандартні вироби, матеріали.

## 10.5 Таблиця з'єднань

Таблицю з'єднань розміщують на першому листі або виконують окремим документом з присвоєнням шифру ВНТУ XXXXXX.XXX ТЕЗ.

Таблицю з'єднань пропонується виконувати за формою з довільними розмірами.

Поз	№ проведу	Звідки йде		Куди поступає		Довжина	Марка проводу	Примітка
		Елемент	Контакт	Елемент	Контакт			
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Кожний кабель і джгут, який має самостійне креслення, записують у таблицю окремо у порядку зростання позицій за специфікацією.

У графі "Позначення" вказують:

- для самостійних проводів, які не мають самостійних креслень і записані у специфікації як матеріал - номер позиції цього матеріалу;
- для джгутів і кабелів - номер позиції за специфікацією.

У графі "№ проводу" вказують номери проводів у джгутах згідно зі складальним кресленням на джгути, а також номери окремих проводів, які позначені на електромонтажному кресленні.

У графі "Звідки йде", "Куди поступає" наводять адресу присвоєння провідників.

## 10.6 Методика розробки електромонтажного креслення

При використанні креслення користуються ГОСТ 2.413-72.

Електромонтажне креслення повинно вмещувати всі необхідні проєкції пристрою у тонких лініях з нанесенням на них усіх електромонтажних одиниць.

Послідовність розробки:

- нанести "обстановку" у тонких лініях зі спрощенням, передбачити місце для технічних вимог та таблиці з'єднань;
- відповідно до схеми електричної, потрібно здійснити з'єднання

- проводи, що йдуть в одному напрямку, за рекомендаціями п.10.1 виділити у джгути і кабелі;
- здійснити механічне кріплення усіх монтажних одиниць;
- провести лінії-виноска від елементів електромонтажу;
- проставити при необхідності всі розміри;
- скласти специфікацію і проставити позиції;

## Глава 11 КОНСТРУЮВАННЯ СКЛАДОВИХ ДЕТАЛЕЙ КОНСТРУКЦІЇ

До деталей конструкції відносять: шасі, кожухи, панелі керування, каркаси, радіатори, спеціальні деталі кріплення, які можуть виготовлюватися як з металу, так і з пластмас.

### 11.1 Вихідні дані для розробки панелі керування

Конструкція РЕА ТКС у значній мірі залежить від виконання умов її поєднання (інформаційних, ергономічних, естетичних) з людиною-оператором, тобто з тим, хто її використовує а також і обслуговує.

Психофізіологічні та антропометричні особливості оператора визначають конструкцію, розміщення та колір органів керування і контролю, спосіб видання інформації оператору, швидкість передачі і обробки інформації, розміри, колір, освітлювання і розміщення пристроїв індикації та керування.

Основні конструктивні рішення щодо зовнішнього компонування пристроїв з урахуванням вимог до загальної конструкції і дизайну визначені при складанні масштабно-компонувального ескізу і складального креслення.

Ці конструкторські і проектні документи - вихідні дані для розробки панелі. Тому конструювання передньої панелі пристрою РЕА може розглядатись як процес розробки за складальним кресленням робочого креслення деталі, тобто креслення, що призначається для виготовлення за ним складової частини виробу. Цей процес потребує вміння та досвіду правильного читання і деталювання складального креслення, що є однією із важливих сторін кваліфікації інженера-конструктора.

### 11.2. Основні вимоги до креслення

Робоче креслення повинно містити:

- зображення панелі - види, перерізи, розрізи, виносні елементи; розміри і їх граничні відхилення, які необхідні для виготовлення і контролю деталі;
- позначення матеріалу деталі;
- граничні відхилення форми і розміщення поверхонь; позначення покриттів, термічних та інших видів обробки; позначення жорсткості поверхні; основний напис; технічні вимоги.

### 11.3 Послідовність виконання креслення панелі

Конструювання панелі і розробку креслення значно полегшує попереднє складання ескізу. Пропонується така послідовність конструювання панелі:



- у специфікації складального креслення знайти найменування, позначення, уточнити матеріал;
- знайти панель на всіх проєкціях складального креслення, вивчити її форму і габаритні розміри;
- у відповідності з ГОСТ 2.305-68 вибрати головне зображення панелі, яке повинно відповідати її положенню на головному виді складального креслення;
- намітити необхідну кількість зображень (видів, розрізів, перерізів, виносних елементів), виходячи із вимог мінімізації кількості зображень. При зображенні панелі на кресленні слід, по можливості, запобігати невидимого контуру, використовуючи розрізи, накладання перерізу для достатнього повного уявлення про форму і розміри панелі;
- вибрати масштаб зображення у відповідності з ГОСТ 2.302-68 з урахуванням необхідності чіткого виявлення окремих конструктивних форм панелі, нанесення усіх розмірів, позначень і написів;
- у відповідності з ГОСТ 2.301-68 вибрати формат для виконання робочого креслення;
- скомпонувати креслення, тобто намітити розміщення усіх зображень панелі на прийнятому форматі. Для більш раціонального компонування креслення пропонується скласти план розміщення зображень; у вибраному масштабі на листі відповідного формату нанести габаритні прямокутники для видів, розрізів, перерізів;
- вибрати відстань між ними таку, щоб можна було проставити всі необхідні розміри, позначення, написи;
- викреслити види, розрізи, перерізи і виносні елементи панелі;
- провести виносні і розмірні лінії. Кількість розмірів повинна бути мінімальною, але достатньою для виготовлення і контролю; нанести розміри панелі зі складального креслення на робоче з урахуванням правил нанесення розмірів з граничними відхиленнями за ГОСТ 2.307-68 і можливих змін масштабу. Розміри конструкторських елементів (фасок, центрових отворів, нахилів) необхідно визначити не за складальним кресленням, а за відповідними стандартами на ці елементи.
- нанести позначення класів жорсткості поверхонь, обґрунтовуючи технологію виготовлення панелі. Вибрати тип і технологію нанесення антикорозійних і декоративних покриттів, термообробку та інші технологічні вимоги;
- перевірити креслення, накреслити рамку, заповнити основний напис, написати технічні вимоги.

#### **11.4 Оформлення основного напису і технічних вимог**

Зміст розміщення і розміри граф основного напису визначені ГОСТ 2.104-68. У графі "найменування виробу" записують назву деталі - "Панель передня", у графі "позначення" - ВНГУ XXXXXX.001 за ГОСТ 2.201-80.

Позначення матеріалу повинно вміщувати найменування матеріалу,

номер стандарту або технічних умов, наприклад: "сталь 45 ГОСТ 1050-74".

Якщо деталь необхідно виготовити із сортового матеріалу певного профілю і розміру, то матеріал записують у відповідності з присвоєним йому у стандарті позначенням Характеристики, застосування в конструкціях РЕА і позначення матеріалів на кресленнях з прикладами розглянуті у [13].

В основному написі вказують тільки один вид матеріалу, а якщо передбачається можливість зміни, то всі інші матеріали наводяться у технічних вимогах креслення.

Останні граfi основного напису заповнюють за звичайними вимогами згідно з ГОСТом 2.104-68.

У технічних вимогах обумовлюються різні додаткові вимоги до матеріалу, до обробки, до технології. Зміст тексту повинен бути коротким і точним. Текст написів і таблиць розміщують паралельно до основного напису. Технічні вимоги групують і викладають у такій послідовності:

- вимоги до матеріалу, до заготовки, до термообробки, вказання матеріалів-замінників;
- розміри, відхилення розмірів і форми взаємного розміщення поверхонь;
- вимоги до якості поверхні, покриття;
- вказання до маркування і клеймування.

Приклад запису технічних вимог:

1. Розмір для довідок.
2. Невказані граничні відхилення розмірів: отворів - за Н14; валів - за h 14; решта - за IT14/2
3. Невказані внутрішні радіуси згину  $R=1$  мм.
4. Покриття: Емаль МЛ-158, голуба, III п.
5. Написи виконати методом шовкографії, шрифтом З-ПрЗ-ГОСТ 26020-82, фарбою ТНПФ - 53, чорною.

Пункти технічних вимог повинні мати нумерацію і кожний пункт виконується з нового рядка.

### 11.5 Конструювання деталей із пластичних мас

Отримати пластмасові деталі можливо пресуванням, литтям під тиском, екструзією, пневматичним формуванням та іншими методами.

Дані методи дозволяють отримати складні по конфігурації деталі практично без відходів і без додаткової обробки. При цьому необхідно конструювати деталі не тільки з точки зору фізико-хімічних якостей матеріалу, конструктивних та експлуатаційних вимог, а також з врахуванням технологічності.

Однією з важливих умов конструювання є дотримання рівномірної товщини стінок у різних перерізах. Нерівномірність стінок призводить до нерівномірної усадки і відповідно до виникнення напруг, короблення та тріщин. Для запобігання цих недоліків слід робити плавними всі переходи

в стінках, запобігати гострих кутів і різностійності, що перевищує співвідношення 1:3. Найбільш раціональна товщина стінок виробу знаходиться в межах від 1 до 5 мм (таблиця 11.1).

Таблиця 11.1 – Товщина стінок виробу

Висота стінки, мм	Товщина стінки, мм	Висота стінки, мм	Товщина стінки, мм
20	0,5	60	1,4
40	1,0	80	1,8
50	1,3	100	2,0
		200	3,0

Найбільше підлягають коробленню прямокутні плоскі стінки. Для запобігання короблення вводять ребра жорсткості. У перетині ребра жорсткості являють собою зрізаний конус з кутом при вершині  $10^\circ$ , округленою вершиною і радіусним переходом від стінки ребра до з'єднаної з ним поверхні. Висота ребра найчастіше дорівнює подвійній його довжині біля основи. Товщина ребра повинна становити 60 – 80 % товщини стінки. Ребра жорсткості не повинні доходити на 0,5 – 1,0 мм до краю прилеглої поверхні.

Для полегшення видалення виробу з прес-форми стінки повинні мати нахил. Мінімальний нахил стінок 1 : 100. Нахили внутрішніх поверхонь повинні бути більшими порівняно з зовнішніми поверхнями. Пропонуються такі нахили:  $15'$  – для точних деталей,  $30'$  – для звичайних і  $1^\circ$  – для грубих.

Для підвищення механічної міцності, покращення зовнішнього вигляду, полегшення виготовлення прес-форм зовнішні та внутрішні кути виробів слід закруглювати. Для виробів з полістиролу найменший радіус становить 1,0 – 1,5 мм, для фенопластові та амінопластових - 0,5 – 1,5.

Кріпильні отвори не слід розміщувати близько до краю і форма їх повинна бути конусною 1 : 50. Розміри перемичок відповідно до рисунку 11.1 зведені до таблиці 11.2.

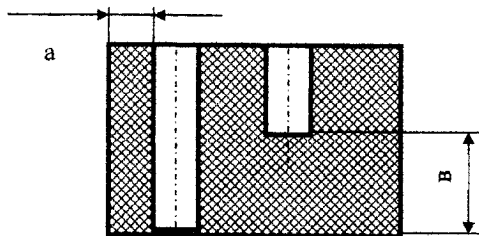


Рисунок 11.1 – Види перемичок у пластмасових деталей

Таблиця 11.2 – Розміри перемичок та товщин дна деталей

Діаметр отвору	Перемичка а	Перемичка в
До 3	1,0	1,0
3 – 6	1,15	2,0
6 – 10	2,5	2,5
10 – 18	3,0	3,0
18 – 30	4,0	4,0
30 - 50	5,0	5,0

### 11.6 Конструювання деталей методом штампування

Деталі з листового матеріалу відрізняються високою міцністю та жорсткістю. Штампування забезпечує невелику трудомісткість і вартість.

На технологічність конструкції штампованих деталей сприяє вплив трьох основних факторів: обмеження матеріалу до деформації, допуск на розміри, вимоги до чистоти поверхні. При виготовленні деталей застосовують роздільні та формоутворювальні операції. До першої групи відносять операції відрізки, вирубки, пробивки. До другої групи відносять згинання та витяжки.

При конструюванні деталей, які отримують методом вирубки, мінімальні розміри вирубного контуру повинні становити не менше подвійної товщини листа (рисунок 11.2 а). Мінімальна відстань між отворами повинна співвідноситися також з товщиною листа (рисунок 11.2 б).

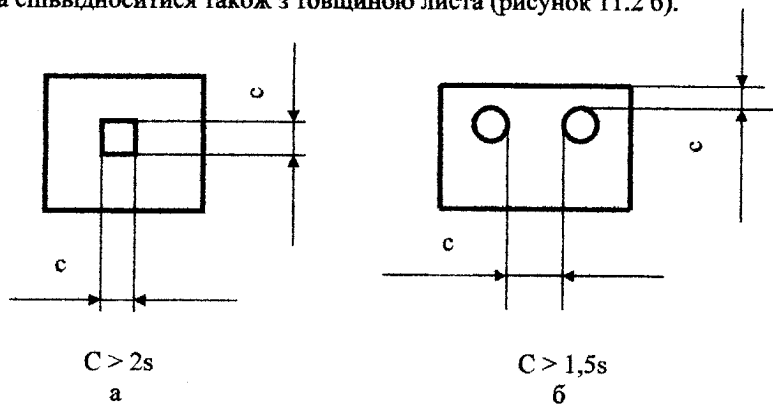


Рисунок 11.2 – Мінімальні розміри деталей конструкції

Для деталей, виконаних методом згинання, мінімальний радіус залежить від товщини і марки матеріалу, способу згинання, кута згинання.

$$R = k_1 k_2 s \quad (11.1)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу, його стану і орієнтації відносно напрямлення прокату, (таблиця 11.3);

$k_2$  – коефіцієнт, що залежить від кута згину;

$s$  – товщина листа, мм.

Коефіцієнт  $k_2$  при згинанні під кутом  $180 - 90^\circ$  приймають рівним одиниці, при  $45^\circ$ ,  $k_2 = 1,5$ . Мінімальний радіус згину, який отримуємо за формулою 11.1, слід округлити до найближчого більшого значення з ряду чисел: 0,3; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12 мм.

Таблиця 11.3 – Коефіцієнт  $k_1$  для згинання металевого листа

Метал, сплав	Орієнтація лінії згину	
	Поперек прокату	Вздовж прокату
Сталь 10 кп	0,05	0,4
Сталь 20, Ст. 3	0,1	0,5
Сталь 45	0,5	1,0
Алюміній А2, АД1	0,2	0,4
Сплави:		
АМц	0,3	0,5
Д16м	1,0	1,5
В 95А	1,7	3,3
АМгА	0,6	1,2

При згинанні на ребро мінімальний радіус для алюмінієвих сплавів і м'якої сталі приймають рівним 2,5b.

При згинанні П-подібних деталей мінімальна довжина прямої ділянки вигину повинна становити  $H_{\min} > 2s$ . В місці вигину роблять вирізи для того, щоб відігнута ділянка не виходила за межі контурів деталі (рисунок 11.3)

Розміри деталі, яку отримуємо згинанням, не слід прив'язувати до відігнутої ділянки, щоб запобігти впливу похибки на товщину листа.

В несівних конструкціях широке розповсюдження отримали видавки, відбортовки, ребра жорсткості, які в значній мірі дозволяють збільшити

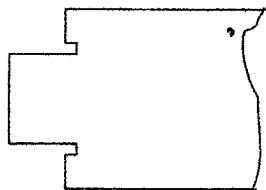
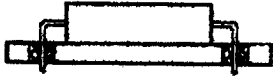
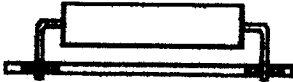
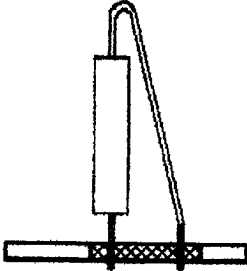
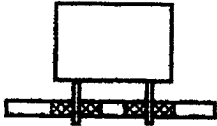


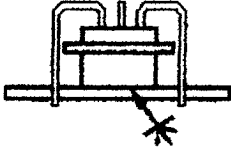
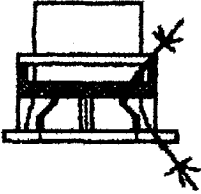
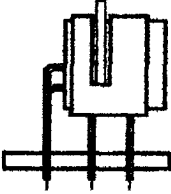
Рисунок 11.3 – Вирізи для згинання

жорсткість тонколистового матеріалу, забезпечити кріплення, збільшити поверхню теплообміну.



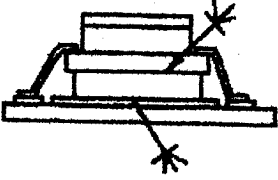
Додаток А

Варіант устан- новлення	Варіант фо- рмування	Конструктивне виконання
1	а	
2	а	
3		
2	в	

Продовження додатку А

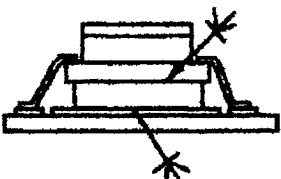

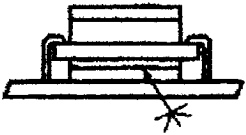
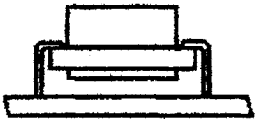
Варіант установа	Варіант формування	Конструктивне виконання
5	а	 <p data-bbox="448 458 955 515">На платах, що мають електроізоляційний захист друкованих провідників</p>
5	б	
5	в	

Продовження додатку А

Варіант установа	Варіант формування	Конструктивне виконання
6	а	 <p data-bbox="477 349 982 409">На платах, що мають електроізоляційний захист друкованих провідників</p>
6	б	
6	в	



Продовження додатку А

Варіант установа- новлення	Варіант фо- рмування	Конструктивне виконання
7	б	
7	в	
8	а	
8	б	

1. Базовий принцип конструювання РЭА/ Под ред. Е.М. Парфенова –М.: Радио и связь, 1981-120 с./.
2. Варламов Р.Г. Компонівка радіоелектронної апаратури. –М.: Высш.школа, 1975 - 352 с.
3. Гель П.П., Иванов – Есипович Н.К. Конструювання електронної апаратури. – Л.: Энергия, 1972 – 176 с.
4. Горобец А.И. Справочник по конструюванню радіоелектронної апаратури (печатные узлы). – К.: Техника, 1985 – 312 с.
5. Горохов В.А. Комплексная микроминиатюризация в электросвязи. – М.: Радио и связь, 1987-280 с.
6. ГОСТ 2.721-74. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах.
7. ГОСТ 2.702-75. ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.
8. ГОСТ 23751-86. Платы печатные, основные размеры конструкции.
9. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Основи конструювання радіоелектронних засобів телекомунікаційних систем” для студентів бакалаврського напрямку 6.0910 – “Електронні апарати” / укладач Р.Ф. Лободзінська, О.А. Герцій, – Вінниця:ВДГУ, 2002.
10. Ненашев А.П. Конструювання радіоелектронних средств.– М.: "Высшая школа", 1990 – 462 с.
11. Общетехнический справочник /Под ред. Е. А. Скороходова - 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1982, - 416 с.
12. Ольхов Б.О. Основи проектування сборочних одиниць ЭВМ. Учебное пособие. – М.: Машиностроение. 1980 - 255 с.
13. ОСТ 4.010.030-81. Установка навесных элементов на печатные платы. Конструювання.
14. Поляков К.П. Конструювання приборов и устройств радиоэлектронной апаратури.– М.: Радио и связь. 1982 - 240 с.
15. Пименов А. И. Снижение массы конструкции радиоэлектронной апаратури. – М.: Радио и связь, 1981 -128 с.
16. Парфенов Е.М., Камышная Е.Н., Усачев В.П. Проектирование конструкций РЭА – М.: Радио и связь, 1989 - 272 с.
17. Разработка и оформление РЭА /Под ред. Э.Т.Романьчевой. – М.: Радио и связь, 1989-448 с.
18. Рошин Г.И. Несущие конструкции и механизмы РЭА. – М.: 1981-375с.
19. Сборник задач и упражнений по технологии РЭА. Учебное пособие под ред. Е.М.Парфенова.– М.: Высшая школа, 1982 -255 с.
20. Справочник конструктора РЕА. Общие принципы конструювання. /Под ред. Р.Г. Варламова.– М.: Советское радио, 1980 - 400 с.

## *Навчальне видання*

Станіслав Тадіонович Барась  
Раїса Фадеївна Лободзінська  
Олександр Олександрович Лазарев

### **КОНСТРУЮВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

Навчальний посібник

Оригінал – макет підготовлено авторами

Редактор В.О. Дружиніна  
Коректор З. В. Поліщук

Навчально-методичний відділ ВНТУ  
Свідоцтво Держкомінформу України  
серія ДК №746 від 25.12.2001  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ

Підписано до друку 22.03.05р. Гарнітура Times New Roman  
Формат 29,7x42 ¼ Папір офсетний  
Друк різнографічний Ум. друк. арк. 4.44  
Тираж 75 прим.  
Зам. № 2005-040

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі  
Вінницького національного технічного університету  
Свідоцтво Держкомінформу України  
серія ДК №746 від 25.12.2001  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ