

## Технологія виготовлення друкованих плат

Для міжконтактних з'єднань в конструкціях РЕА на першому ієрархічному рівні застосовується в основному друкований монтаж (за допомогою друкованих плат). Використання друкованих плат створює передумови для механізації і автоматизації процесів зборки РЕА, підвищує її надійність, забезпечує повторюваність параметрів монтажу (ємність, індуктивність) від зразка до зразка.

### **Переваги друкованого монтажу:**

- об'єднання ЕРЕ і електричного монтажу в єдину конструкцію;
- організація і можливість управління розміщенням елементів;
- підвищення площинного компоновання виробу;
- зменшення габаритів і маси;
- зниження вартості готового виробу (за рахунок автоматизації при проектуванні і виготовленні друкованих плат і друкованих вузлів, застосування групових методів пайки та використання дешевших матеріалів);
- підвищення надійності РЕА (за рахунок скорочення кількості з'єднань і помилок при монтажі, підвищення механічної міцності вузлів);
- близький збіг розрахунків і реально отриманих характеристик;
- можливість зменшення паразитних зв'язків (за рахунок екранування і застосування низькоомних провідників);
- можливість застосування елементів з планарними, штирьовими виводами і безвивідних ЕРЕ;
- можливість простого забезпечення каналів при повітряному охолодженні;
- простота перевірки;
- простота аналізу при виявленні причин відмови.

**Друковані плати (ДП)** - це елементи конструкції, які складаються з плоских провідників, контактних площадок і металізованих отворів, розміщених на діелектричній основі та елементів електричного кола, що забезпечують з'єднання.

**Друкований вузол** є друкованою платою з приєднаними до неї у відповідності з кресленням електричними і механічними елементами, а також другими ДП.

**Основою друкованої плати** називається елемент конструкції ДП, на поверхні і (або) в об'ємі якого виконується провідний малюнок або система провідних малюнків.

**Малюнком друкованої плати** називають конфігурацію провідникового і (або) діелектричного матеріалу на друкованій платі.

Провідний малюнок утворює конфігурацію провідникового матеріалу на поверхні або в об'ємі основи ДП, а непровідний малюнок утворює діелектричний матеріал основи ДП. Провідний малюнок утворюють

друковані провідники, контактні площинки, екрани, металізовані отвори та друковані компоненти.

Друкованим провідником називають одну смужку в провідному малюнку ДП. Якщо усі електричні з'єднання елементів електронного вузла виконані друкованими провідниками, то такий монтаж називається друкованим.

Друкований контакт є ділянкою провідного малюнка, що служить частиною електричного контакту. Кінцеві друковані контакти утворюють ряд друкованих контактів, розташованих на краю ДП і призначених для сполучення з електричним з'єднувачем безпосереднього зчленування.

Контактна площинка ДП - частина провідного малюнка, яка використовується для електричного з'єднання виводів ЕРЕ.

Кріпильні отвори ДП – неметалізовані отвори для механічного кріплення ДП до базової несучої конструкції або для механічного кріплення ЕРЕ до друкованої плати.

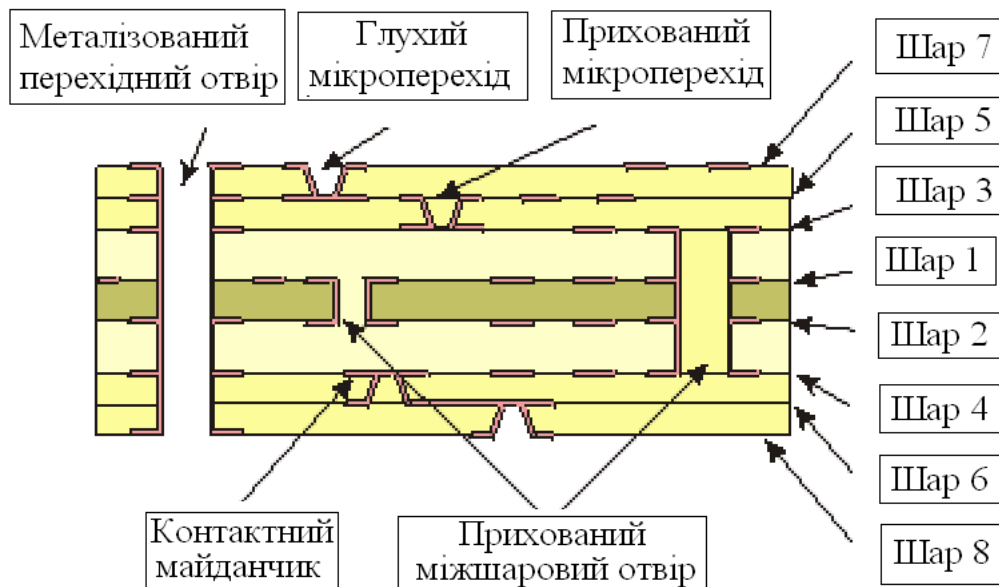
*Монтажні отвори* - отвори для установки ЕРЕ. Монтажні отвори - отвори для електричного з'єднання виводів ЕРЕ з провідним малюнком ДП.

Металізований отвір ДП - отвір в друкованій платі, на стінку якого нанесений провідниковий матеріал.

*Перехідні отвори* - отвори для електричного зв'язку між шарами або сторонами ДП.

Перехідний отвір ДП є металізованим отвором в друкованій платі, що служить для електричного з'єднання провідних малюнків, які знаходяться на різних шарах (під провідним шаром ДП розуміють провідний малюнок друкованої плати, розташований в одній площині).

Розрізняють *наскрізні перехідні отвори*, що сполучають малюнки внутрішніх і (або) зовнішніх провідних шарів ДП, виходи, яких виходять на обидві сторони друкованої плати та *глухі перехідні отвори*, що мають вихід тільки на одну із сторін ДП.



Перш ніж приступати до конструювання конкретної друкованої плати, необхідно вирішити ряд конструкторських і технологічних питань, від яких багато в чому залежить, які початкові дані повинні вводитися в програму проектування друкованої плати. Частина параметрів регламентована стандартами і визначається рівнем виробництва, при цьому більшість параметрів ДП встановлюються або розраховуються для кожного конкретного проекту. **Вихідні дані**, що визначають конструкцію вузла, формат друкованої плати, спосіб підготовки і установки ЕРЕ, конструкцію 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;

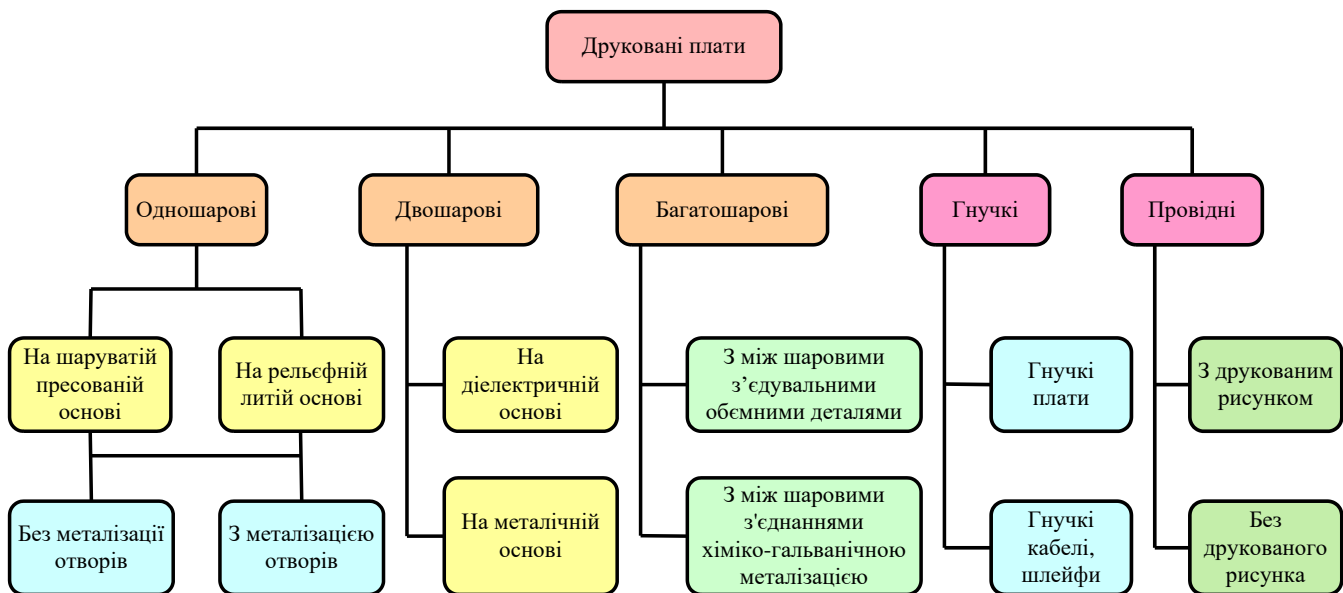
- особливості об'єкта установки, що визначає необхідність і ступінь захисту від дестабілізуючих факторів (клімат, мікроклімат, динамічні та теплові вимоги зовнішньої електромагнітної сумісності);

- вимоги, що визначились під час загального компонування, тобто габаритно-масові обмеження і вимоги до технологічності складання, регулювання, експлуатації та ремонту.

Послідовність розробки і розрахунку конструкції ДП, наступна:

1. Аналіз призначення, об'єкту установки і умов експлуатації РЕА, до складу якого входить ДП, що розробляється та вибір групи жорсткості
2. Вибір типу ДП
3. Вибір класу точності ДП
4. Вибір розмірів і конфігурації ДП. Компонувальний розрахунок
5. Вибір матеріалів ДП
6. Розрахунок елементів друкованого малюнка
7. Вибір і розміщення елементів друкованого малюнка
8. Трасування друкованих провідників
9. Маркірування і контроль
10. Оформлення КДЕ та п 8-10 можуть виконуватися або з використанням систем автоматизованого проектування (САПР), або вручну.

В залежності від числа нанесених друкованих провідникових шарів та матеріалу основи ДП поділяються на одно-, двосторонні і багатошарові, гнучкі, провідні.



## Основні варіанти розміщення компонентів на ДП

В електронній промисловості існує спеціальний стандарт (IPC-7070, J-STD-013), який включає наступні схеми поверхневого монтажу:

**Тип 1** - монтовані компоненти встановлені тільки на верхню сторону ДП;

**Тип 2** - монтовані компоненти встановлені на обидві сторони ДП;

**Клас А** - компоненти through-hole (PTH-монтовані в отвори) компоненти;

**Клас В** - тільки поверхнево монтовані елементи (SMD);

**Клас С** - змішані: монтуються в отвори і поверхнево монтовані компоненти;

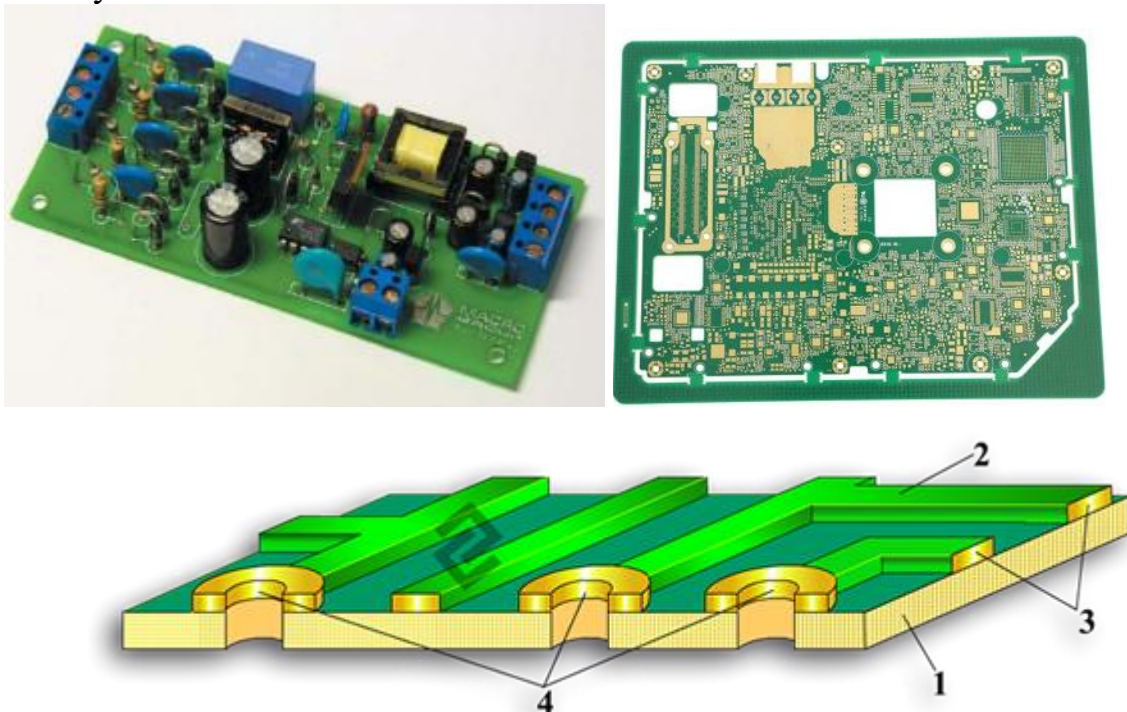
**Клас Х** - комплексно-змішана збірка: through-hole, SMD, BGA, fine pitch;

**Клас Y** - комплексно-змішана збірка: through-hole, SMD, Ultra fine pitch, CSP;

**Клас Z** - комплексно-змішана збірка: through-hole, Ultra fine pitch, COB, Flip Chip, TCP

**Односторонні ДП (ОДП)** виконуються на шаруватій пресованій основі. ОДП використовуються виключно для одностороннього монтажу елементів в гладкі (неметалізовані) отвори. Елементи встановлюються з боку верхнього (неметалізованого) шару, а увесь електричний монтаж здійснюється на другому шарі. ОДП забезпечують найвищу точність виконання провідного малюнка та поєднання його з отворами. Можливості монтажу і трасування цих плат низькі. Надійність ОДП і механічна міцність кріплення елементів також невисока. Щоб уникнути відшаровування друкованих провідників усі елементи слід монтувати без проміжків між корпусом елементу та друкованою платою.

Для підвищення міцності кріплення елементів можливе виготовлення односторонніх ДП з металізацією отворів, але вартість у таких плат буде, як у двосторонніх, так що цей підхід в більшості випадків не виправданий. ОДП прості по конструкції і економічні у виготовленні. Їх застосовують для монтажу побутової радіоапаратури, силової електроніки та пристроїв техніки зв'язку.



1. Діелектрик
2. Захисний шар (маска)
3. Струмopрoвідна доріжка
4. Контактний отвір

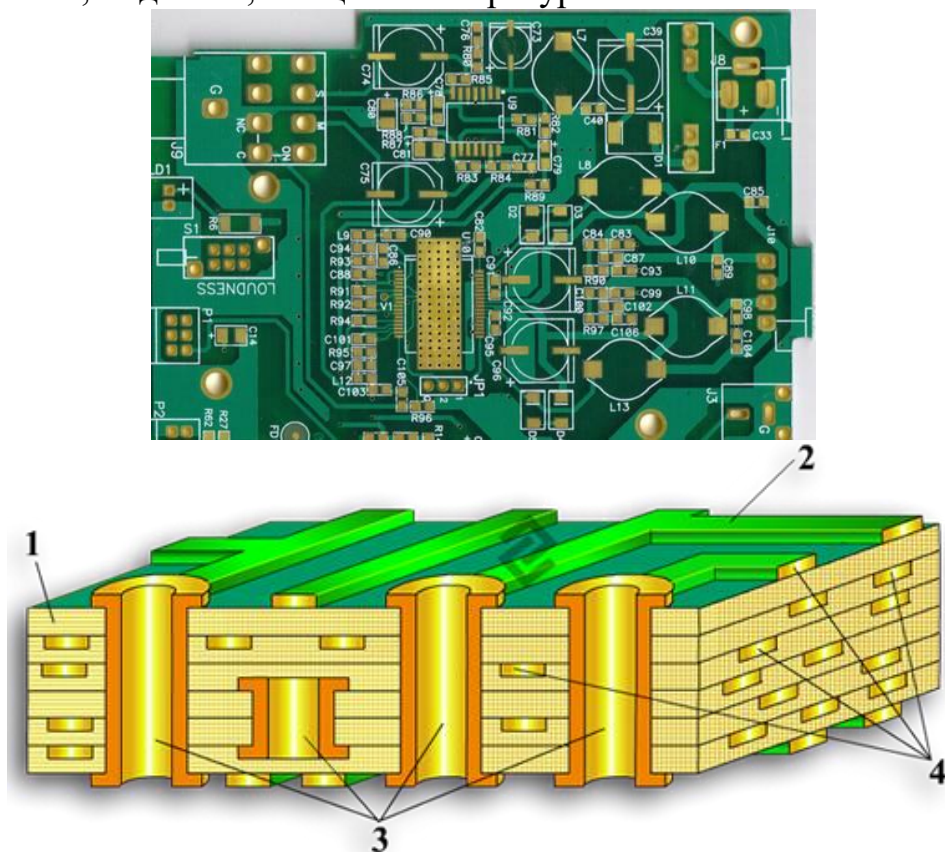
*Двосторонні ДП* (ДДП) мають провідниковий рисунок на обох сторонах діелектричної чи металевої основи. Електричний зв'язок шарів друкованого монтажу здійснюється металізацією отворів.

Розміщувати ЕРЕ можна як на одній, так і на двох сторонах ДП. ДДП використовуються двох різновидів: без металізації наскрізних отворів і з металізацією. ДДП без металізації по багатьох параметрах відповідають одностороннім платам. Але із-за наявності ще одного шару підвищується здатність трасування та певною мірою щільність компонування елементів. Проблема таких плат забезпечення електричних переходів між шарами, для чого застосовуються заклепки, дротяні перемички або пайка виводів елементів з двох сторін ДДП. Усе це різко ускладнює монтаж і в цілому підвищує вартість пристрою. Плати з металізацією перехідних отворів також мають високу здатність трасування, забезпечують високу щільність монтажу елементів і хорошу механічну міцність їх кріплення. ДДП допускають монтаж елементів на поверхню і є найбільш поширеними у виробництві

радіоелектронних пристроїв. ДДП використовуються у вимірвальній техніці, системах управління, автоматичного регулювання та ін.

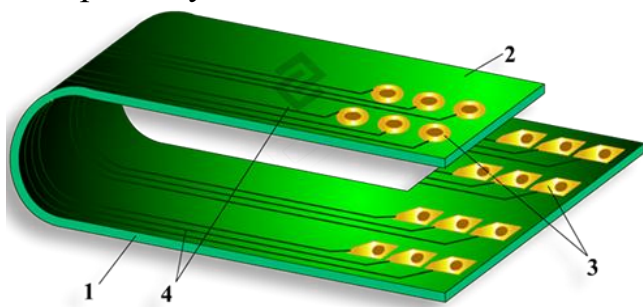
**Багатошарові ДП (БДП)** складаються із шарів ізоляційного матеріалу, що чергуються, і провідного малюнка, з'єднаних клейовими прокладками в монолітну структуру шляхом пресування. Електричний зв'язок між провідними шарами виконується спеціальними об'ємними деталями, друкованими елементами чи хіміко-гальванічною металізацією.

Вони практично не мають обмежень по встановлюваних елементах (мікросхеми будь -якого ступеню інтеграції, SMD і т. д.). Електричний зв'язок між провідними шарами може бути виконаний спеціальними об'ємними деталями, друкованими елементами або хіміко-гальванічною металізацією отворів. БДП характеризуються підвищеною надійністю і щільністю монтажу, стійкістю до кліматичних і механічних дій, зменшеними розмірами і меншим числом контактів. Внаслідок великої трудомісткості їх виготовлення, складності отримання високої точності малюнка і поєднання шарів, високій вартості і складності технологічного устаткування, контролю на усіх операціях технологічного процесу, низькій ремонтпридатності БДП застосовують для вже відпрацьованих конструкцій електронно-обчислювальної, медичної, авіаційної апаратури.



1. Діелектрик
2. Захисний шар (маска)
3. Контактний отвір
4. Струмopрoвідна доріжка

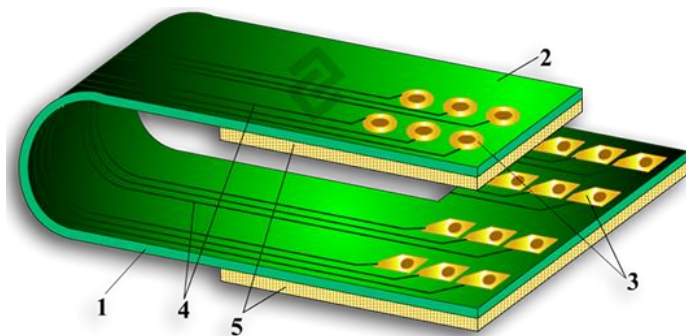
**Гнучкі ДП** (ГДП) оформлені конструктивно як ОДП чи ДДП, але виконані на еластичній основі товщиною 0,1 - 0,5 мм. Вони застосовуються в тих випадках, коли плата після виготовлення піддається вібраціям, багаторазовим вигинам або їй після установки ЕРЕ необхідно додати компактну форму. Такий вид плат може бути односторонніми, двосторонніми, багатошаровими, головне, що їх виробляють з використанням гнучкої підстави невеликої товщини. Необхідні для з'єднання різних частин електронного пристрою, апаратів. Часто ГДП може замінити різні кабельні з'єднання, може служити основою котушки індуктивності, використовують в антенах.



1. Діелектрик
2. Захисний шар (маска)
3. Контактний отвір
4. Струмopрoвідна доріжка

### Гнучко-жорстка друкована плата (ГЖДП)

Цей вид схожий з ДДП, але така плата має механічне посилення. Прикріплюється жорстким шаром (поліамід, склотекстоліт) тильною стороною до ДДП. Унікальність ГЖДП в їх надійності.



1. Діелектрик (Поліамід)
2. Захисний шар (маска)
3. Контактний отвір
4. Струмopрoвідна доріжка
5. Жорстка підкладка

### СВЧ, ВЧ друкована плата

Виготовляють з фторопластовою, керамічно-вуглеводневою підставою, схожі з односторонньою, двосторонній, багатошаровою ДП. Мають чудову термомеханічну стабільність. Застосовують такі плати зазвичай в супутникових антенах (НЕ телевізійних, а саме для супутників), в апаратурі зв'язку.

**Провідні ДП** (ПДП) являють собою діелектричну основу, на якій виконується друкований монтаж чи його окремі елементи (контактні площадки, шини живлення і заземлення), а необхідні електричні з'єднання проводять ізольованими проводами діаметром 0,1...0,2 мм.

Залежно від складності схеми, що реалізується на ДП, та керуючись економічними критеріями, вибирають тип ДП: ОДП, ДДП або БДП. При виборі типу ДП слід враховувати, що трудомісткість виготовлення ДП приблизно оцінюється пропорцією: ОДП:ДДП:МДП = 1:4:20. У сучасній РЕА найчастіше використовують ДДП і БДП.

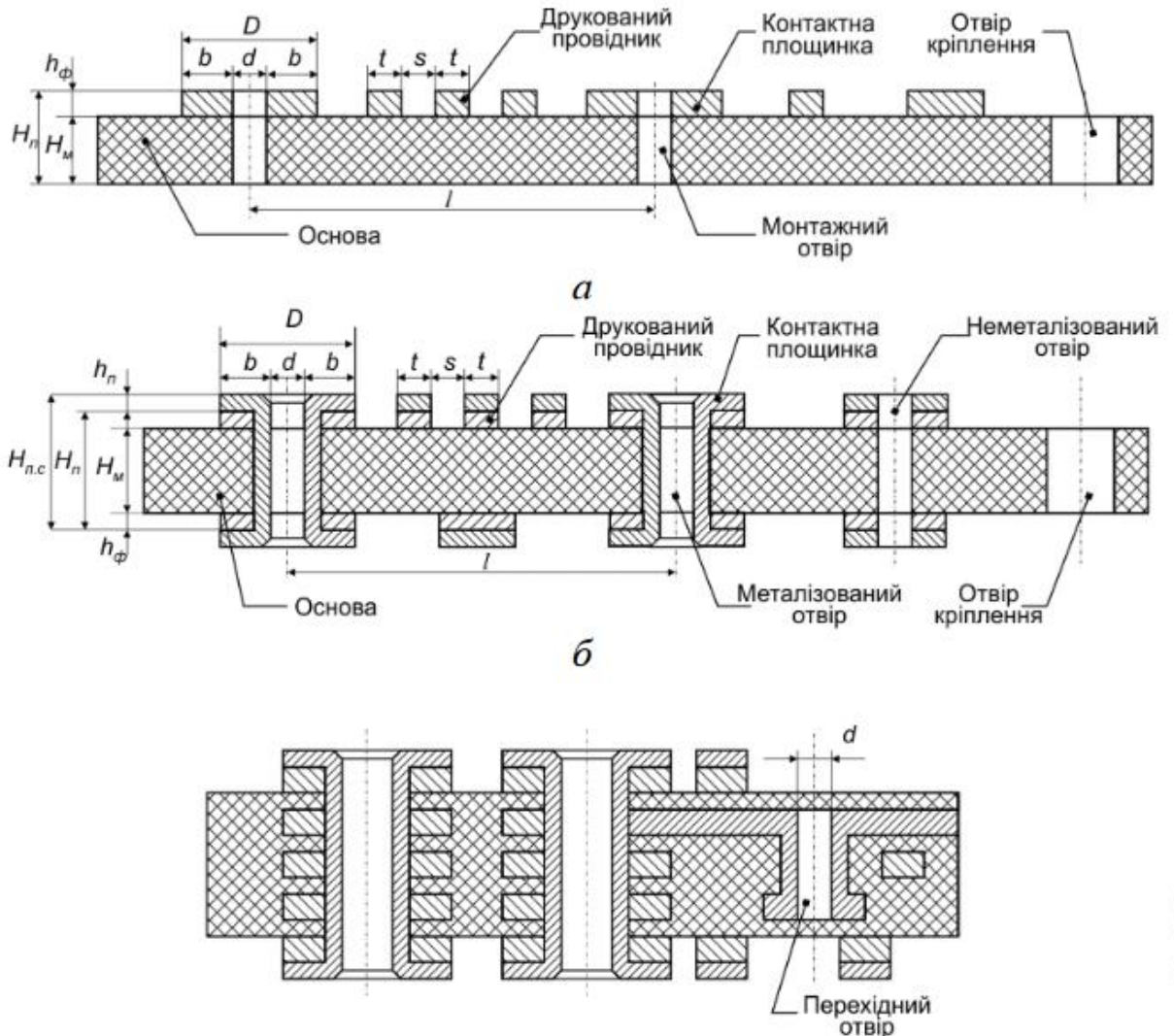


Рисунок 1.1 - Типи друкованих плат:

А - одностороння ДП; б - двостороння ДП; в - багатошарова ДП;

*t* - ширина провідника; *s* - відстань між провідниками; *b* - відстань від краю просвердленого отвору до краю контактної площадки (поясочок); *D* - діаметр контактної площадки; *d* - діаметр отвору; *h<sub>ф</sub>* - товщина фольги; *h<sub>п</sub>* - товщина додаткового хімічного або гальванічного покриття; *H<sub>н</sub>* - товщина матеріалу основи ДП; *H<sub>н.с</sub>* - сумарна товщина ДП з хімічним або гальванічним покриттям; *l* - відстань між центрами (осями) елементів конструкції ДП; *H<sub>п</sub>* - товщина ДП - товщина матеріалу основи ДП (фольгованого або нефольгованого), включаючи провідний малюнок без додаткового хімічного або гальванічного покриття



## Матеріал ДП

Листовий матеріал основи і заготовки може бути в залежності від поставлених перед конструктором задач ізоляційним полімерним, фольгованим полімерним чи металевим.

При виборі матеріалу основи ДП особливої уваги вимагають:

- передбачувані механічні дії (вібрації, удари, лінійне прискорення і т. п.);
- клас точності ДП (ширина провідників, відстань між провідниками);
- електричні функції;
- об'єкт, на який встановлюється ЕА;
- швидкодія;
- умови експлуатації;
- вартість.

Матеріал основи ДП вибирають по ТУ на матеріали конкретного виду і ГОСТ 10316-78 з врахуванням: електричних і фізико-механічних параметрів ДП під час та після дії механічних навантажень, кліматичних факторів та хімічних агресивних середовищ в процесі виробництва і експлуатації; забезпечення автоматизації процесу установки ЕРЕ.

Вид матеріалу	Марка матеріалу	Товщина		Тип плати	Призначення
		фольги, мкм	матеріалу з фольгою, мм		
Фольгований гетинакс	ГФ-1-35 ГФ-2-35	35	1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	ОДП, ДДП	Для ДП, працюючих в діапазоні частот до 1МГц в негерметичній ЕА
Фольгований склотекстоліт	СФ-1(2)-35 СФ-1(2)-50	35 50	0,8;1,0; 1,5; 2,0;2,5; 3,0 0,5;1,0;1,5;2,0; 2,5; 3,0	ОДП ДДП	Для ДП, працюючих в діапазоні частот до 1МГц.
Склотекстоліт нагрівостійкий	СФ-1Н(2Н)-50	50	0,8;1,0;1,5;2,0; 2,5; 3,0	ОДП ДДП	Для термостійких ДП, працюючих в діапазоні частот до 1 МГц. Стькість до нагріву +180°С на протязі 100 год.
Нефольгований склотекстоліт	СТЭК	—	1,0; 1,5	ДДП, виготовлені електрохімічним методом	Для друкованих плат, працюючих в діапазоні частот до 1МГц
Матеріал для напівадитивної технології	СТПА	5	1,0; 1,5	ОДП, ДДП	Для ДП, працюючих в діапазоні частот до 1МГц
Склотекстоліт фольгований травний;одно- і двосторонній	СТФ-1 (2)	35	0,13; 0,15; 0,20; 0,25; 0,35; 0,50; 0,80; 1,00; 1,50; 2,00; 2,50; 3,00	ДДП, БДП ГДП	Для багатошарових ДП, виготовлених методом металізації крізних отворів і працюючих в діапазоні частот до 1МГц
Склотекстоліт фольгований травний; одно- і двосторонній	ФТС-1-20А(20А0)	20	0,08; 0,15	БДП, ГДП	Для багатошарових ДП, виготовлених методом металізації крізних отворів і працюючих в діапазоні частот до 1МГц
	ФТС-2-20А(20А0)	20	0,18; 0,27; 0,50		
	ФТС-1-35А(35А0)	35	0,10; 0,12; 0,19		
	ФТС-2-35А(35А0)	35	0,14; 0,23; 0,50		

Діелектрик фольгований тонкий одно- і двосторонній	ДФМ-2	35	0,25; 0,35	ГДП	Для ДП, працюючих в діапазоні частот до 1МГц
Гнучкий фольгований діелектрик	ФДЛ	35	0,06; 0,07; 0,10	ГДП	Для ДП, працюючих в діапазоні частот до 1МГц
	ФДЛ	50	0,08; 0,09; 0,12		
	ФДФ-3МС-1	20	0,12		
Діелектрик фольгований, ламінат	GFN PND 39 FR - 1, FR - 2 FR - 4 LamPlex	18;35	0,08-0,5	ДДП, БДП	

Вид матеріалу, марка	Товщина		Призначення	Властивості
	фольги, мкм	матеріалу, мм		
Гетинакс фольгований: ГФ-1-35(50) Вогнестійкий ГОФ-2-50М вологостійкий ГОФВ-2-35	35, 50	1...3	ОДП, ДДП	$\rho_s=1 \cdot 10^9$ Ом; $\sigma=4$ Н; $t=-60...+90^\circ\text{C}$ ; $b=70...130$ мг; $k=1...1...1,5$ ; $\tau=15$ с
Склотекстоліт: з адгезійним шаром СТК з каталізатором СТАМ	35, 50	1,0...1,5 0,7...2,0	ДДП ДДП	$\rho_s=10^{10}$ Ом; $\sigma=4$ Н; $k=1...1...1,5$ ; $\rho_s=1 \cdot 10^9$ Ом; $b=20$ мг; $U_{пр}=15$ кВ/мм
Склотекстоліт фольгований СФ-1(2)-35(50)	35, 50	0,8...3	ОДП, ДДП	$\rho_s=10^{10}...10^{11}$ Ом; $\sigma=3...4...4$ Н; $t=-60...+105^\circ\text{C}$
Фторопласт фольгований: ФФ-4 армований ФАФ-4Д ФЛАН-2,8(3,8; 5; 7,2; 10; 16)	50	1,5...5	ОДП, ДДП	$\rho_s=1 \cdot 10^{13}$ Ом; $\sigma=3...3...3,2$ Н; $t=-60...+200^\circ\text{C}$ ; $\rho_s=5 \cdot 10^{14}$ Ом; $\sigma=3$ Н; $t=-60...+150^\circ\text{C}$ ; $U_{пр}=15$ кВ/мм
	50	0,5...3	ГДК	
	35	1...10	ДДП, НВЧ	
Лавсан фольгований: ЛФ-1 ЛФ-2	35, 50	0,05; 0,1	ГДП, ГДК	$\rho_s=1 \cdot 10^{13}$ Ом; $\sigma=2,4$ Н; $\Pi=400$ ; $t=-60...+100^\circ\text{C}$ ; $c=0,5...1...1\%$
Поліамід фольгований: ПФ-1 ПФ-2	35, 50	0,05...0,1	ГДП, ГДК	$\rho_s=10^{12}$ Ом; $t=-60...+250^\circ\text{C}$ ; $b=0,1\%$ ; $\Pi=600$ ; $U_{пр}=50$ кВ/мм; $b=0,5...2\%$

Таблиця 3.1 – Властивості матеріалів друкованих плат

Параметри	Гетинакс	Текстоліт	Склотекстоліт
Щільність без фольги, г/см <sup>3</sup>	1,3...1,4	1,3...1,45	1,6...1,8
Відносна діелектрична проникність	4,5...6	4,5...6	5...6
Питомий об'ємний опір, Ом·м	10 <sup>12</sup> ...10 <sup>14</sup>	10 <sup>12</sup> ...10 <sup>14</sup>	10 <sup>14</sup> ...10 <sup>15</sup>
Діапазон робочих температур, °С	-60...+80	-60...+105	-60...+120
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м×К)	0,25...0,3	0,23...0,34	0,34...0,74
Температурний коефіцієнт лінійного розширення, 10 <sup>-6</sup> К <sup>-1</sup>	22	22	8...9

Таблиця 1.6 - Матеріали гнучких ДП, ГПК і ГЖП

Матеріал	Марка	Товщина, мм
Лавсан фольгований	ЛФР	-
Лавсан фольгований	ЛФ-1 (фольга 35, 50 мкм)	0,05; 0,1
Поліімід фольгований	ПФ-1, ПФ-2 (фольга 35 мкм)	
Поліімід нефольгований	ПИ-40 А	0,040
Поліімід фольгований	ПФМ-1(2) (фольга 18,35,50,105 мкм)	-
Лавсан фольгований	ФДЛ-1 (фольга 35, 50 мкм)	0,02; 0,05
	ФДЛ-100 (фольга 35, 100 мкм)	0,1
	ЭФЛ-1 (фольга 35,50 мкм)	0,02; 0,05
	ЭФЛ-100 (фольга 35 мкм)	0,1
Діелектрик фольгований тонкий	ФДМ-1А, ФДМ-2А, ФДМ-1Б, ФДМ-2Б	0,1; 0,13; 0,16; 0,2
Фольгований діелектрик для мікроелектронної апаратури	ФДМЭ-1А (1Б), ФДМЭ-2А (2Б)	0,15; 0,20; 0,23; 0,30
Фольгований армований фторопласт	ФАФ-4Д	-
Склотекстоліт тепло-стійкий з алюмінієвим протектором	СТПА-5-1, СТПА-5-2	0,1; 0,12; 0,15; 0,2; 0,25
Склотканина з епоксидним просоченням	СТП-3	0,025; 0,1
Поліімід фольгований	Еліфом-ПФ-1, Еліфом-ПФ-2	-
Покривна плівка	Еліфом-ППП	-
Склеююча плівка	Еліфом-ППС	-
Склотканина прокладна	САФ	0,025... 0,062

У матеріалі FR-2 в якості наповнювача використовується папір, а в якості сполучного - фенольна смола; FR-3 - папір та епоксидна смола; в FR-4, FR-5, G-10 та G-11 - склотканина і епоксидна смола.

Товщина ДП безпосередньо залежить від використовуваного матеріалу, який вибирається конструктором з міркувань механічної міцності і жорсткості. Найбільшого поширення у виробництві ДП набули фольгований гетинакс марок ГФ-1 (фольгований з одного боку), ГФ-2 (фольгований з двох сторін) і фольгований склотекстоліт марок СФ-1 (фольгований з одного боку), СФ-2 (фольгований з двох сторін).

Окрім матеріалу основи на такі властивості ДП, як жорсткість та теплопровідність, робить вплив і його товщина. Найбільше поширення в застосуванні набули товщини 1,0 і 1,5 мм. Товщина 1,0 мм зазвичай використовується для плат з габаритами сторін не більше 100 мм.

Встановлено розмірний ряд значень товщини основ ДП - як гнучких, так і твердих:

- для гнучких (0,1-0,2-0,4) мм;
- для твердих (0,8-1,0-1,5-2,0-3,0) мм.

### **Основні правила конструювання друкованих плат**

1. Максимальний розмір сторони ДП не повинен перевищувати 500 (470) мм. Це визначається вимогами міцності і щільності монтажу.
2. Співвідношення розмірів сторін ДП рекомендуються наступні: 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, 3:2, 5:2 і т.д. При виборі співвідношення сторін кращим є співвідношення 2:1.
3. Вибір матеріалу ПП, способу її виготовлення, класу щільності монтажу повинні здійснюватися на стадії ескізного проектування, так як ці характеристики визначають багато електричних параметрів пристрою.
4. При розбитті схеми на шари слід прагнути до мінімізації числа шарів. Це диктується економічними міркуваннями.
5. По краях плати слід передбачати технологічну зону завширшки 1,5-2,0 мм. Розміщення настановних і інших отворів, а також друкованих провідників в цій зоні не допускається.
6. Всі отвори повинні розташовуватися у вузлах координатної сітки. В крайньому випадку, хоча б перший вивід мікросхеми повинен розташовуватися в вузлі координатної сітки.
7. На друкованій платі повинен бути передбачений орієнтаційний паз (або зрізаний лівий кут) або технологічні базові отвори, необхідні для правильної орієнтації плати.
8. Друковані провідники слід виконувати мінімально короткими.
9. Прокладка поруч провідників вхідних і вихідних ланцюгів небажано під через паразитні наводки.
10. Провідники найбільш високочастотних ланцюгів прокладаються в першу чергу і мають завдяки цьому найбільш можливо коротку довжину.
11. Провідники заземлення слід виготовляти максимально широкими.

12. Рекомендується розробляти ДП простої прямокутної форми, конфігурацію, відмінну від прямокутної, варто застосовувати тільки в технічно обґрунтованих випадках;

Вибір габаритів ДП відповідно до ОСТ4.010.019-81:

- габаритні розміри, конфігурацію і місця кріплення ДП вибирають у залежності від установчих розмірів, елементної бази, експлуатаційних характеристик, використання автоматизованих методів установки навісних елементів, пайки, контролю і техніко-економічних показників;

- габаритні розміри ДП варто вибирати з урахуванням класу точності, при цьому варто враховувати, що зі збільшенням габаритних розмірів збільшуються відхилення, які допускаються при виконанні елементів конструкції плати;

Розрахунок ведуть за методикою викладеною в [24].

Таблиця – Розрахунок габаритних розмірів друкованої плати

Тип елемента	Кількість елементів, шт	Установочні розміри		Площа одного елемента $S_i$ , мм <sup>2</sup>	Загальна площа $S_{\Sigma}$ , мм <sup>2</sup>
		а, мм	в, мм		
<b>ВСЬОГО</b>					

Скористаємося формулою для розрахунку площі друкованої плати

$$S_{заг} = \frac{\sum_{i=1}^N S_{уст.i}}{K_{зан}}, \quad (5.1)$$

де  $K_{зан}$  – коефіцієнт заповнення, лежить в межах (0,5÷0,8);

$S_{уст}$  – установча площа елемента;

$S_{заг}$  – загальна площа всієї друкованої плати;

$N$  – кількість елементів.

В залежності від геометричних розмірів розрізняють друковані плати наступних типів:

Особливо малогабаритні – розміри 60×90 мм.

Малогабаритні – розміри 120×180 мм.

Середнегабаритні – розміри 200×240 мм.

Крутногабаритні – розміри 240×360 мм.

Розміри однієї сторони рекомендується вибирати з наступного ряду:

25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240 мм. Співвідношення розмірів сторін ДП рекомендуються наступні: 1: 1, 2: 1, 3: 1, 4: 1, 3: 2, 5: 2 і т.д.

Таблиця 1.2 – Взаємозв'язок класу точності і максимального розміру ДП

Конструкція ДП	Максимальні розміри ДП, мм			
	Клас точності			
	1	2	3	4
Одностороння	до 470х470	до 470х470	до 400х470	до 240х240
Двостороння	до 470х470	до 470х470	до 400х470	до 180х180
Багатошарова	до 470х470	до 400х400	до 240х240	до 180х180

Діаметри монтажних і перехідних отворів, металізованих і неметалізованих, повинні відповідати ГОСТ 10317-79, який встановлює наступний ряд: 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 2,0; 2,1; 2,2; 2,3; 2,4; 2,5; 2,5; 2,6; 2,7; 2,8; 3,0 мм.

У нас виділяють 5 класів точності в залежності від щільності друкованого монтажу.

Плати першого і другого класів точності прості у виготовленні, дешеві, що не потребують для свого виготовлення обладнання з високими технічними показниками, але не відрізняються високими показниками щільності компонування і трасування.

Для виготовлення плат четвертого і п'ятого класів потрібне спеціалізоване високоточне обладнання, спеціальні матеріали, безусадкова плівка для виготовлення фотошаблонів, ідеальна чистота в виробничих приміщеннях, аж до створення "чистих" ділянок (гермозони) з кондиціонуванням повітря і підтриманням стабільного температурно-вологісного режиму. Технологічні режими фотохімічних і гальвано-хімічних процесів повинні підтримуватися з високою точністю.

Масовий випуск плат третього класу освоєний більшістю вітчизняних підприємств, оскільки для їх виготовлення потрібно рядове, хоча і спеціалізоване обладнання, вимоги до матеріалів і технології не надто високі.

Зарубіжними стандартами встановлена інша класифікація точності ПП. Ця класифікація пов'язана з кроком проектування і кроком розташування контактів компонентів. У таблиці можна бачити, що з елементів друкованого малюнка нормовані тільки ширина провідника і зазори. Що стосується самої точності, то виявляється, що плати самого грубого нульового класу точності перевершують плати масового вітчизняного третього класу. Дані по кроках

проектування й кроку висновків пов'язують точність плат з застосовуваної компонентної базою, зокрема, з типами корпусів ІМ.

Наименование параметра	Усл. обозн.	Размеры элементов проводящего рисунка для классов, мм				
		1	2	3	4	5
Расстояние между проводниками, контактными площадками, металлизированными отверстиями	$t$	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
Расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки данного отверстия	$S$	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
Отношение минимального диаметра металлизированного отверстия к толщине платы	$f$	0,4	0,4	0,33	0,25	0,2

Таблиця 1.3 – Зарубіжна класифікація ДП за рівнем точності

Рівень точності	Ширина проводника і зазор, мм	Крок координатної сітки, мм		Крок виводів ЕРІ, мм	
		зовнішні шари	внутрішні шари	планарні виводи	матричні виводи
0	0,2	1,25	0,625	0,625	2,5
1	0,15	0,625	0,625	0,5	1,25
2	0,1	0,625	1,0	0,5	1,0
3	0,075	0,5	1,0	0,5	1,0
4	0,05	0,5	0,5	0,25	0,5
0,05	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5

Таблиця 2.2

№ п/п	Наименование элемента	Условное обозначение элемента	Размеры элемента, мм, для классов плотности печатного монтажа		
			1-й класс	2-й класс	3-й класс
1	Ширина проводника	$t_{\text{п}}$	0,500	0,250	0,150
2	Расстояние между проводниками, контактными площадками, проводником и контактной площадкой, проводником и металлизированным отверстием	$s$	0,500	0,250	0,150
3	Расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки	$b_{\text{м}}$	0,050	0,035	0,025
4	Отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине платы	$\gamma$	0,500	0,400	0,300
5	Максимальное отклонение расстояний между центрами монтажных отверстий, не более	$\Delta$	$\pm 0,200$	$\pm 0,100$	$\pm 0,100$

Примечание 3-й класс плотности проводящего рисунка применяется только для плат, изготавливаемых полувидитивным методом.

Щільність друкованого монтажу визначається кроком координатної сітки.

Основним кроком координатної сітки до 1998 року був крок 2,5 мм; додатковими - 1,25; 0,625 мм. З 1998 року для розміщення з'єднань на ДП основним кроком координатної сітки є крок 0,50 мм в обох напрямках. Якщо

сітка з номінальним кроком 0,50 мм не задовольняє вимогам конкретної конструкції, то повинна застосовуватися сітка з основним кроком 0,05 мм. Для конкретних конструкцій, використовуваних елементну базу з кроком 0,625 мм, допускається застосування кроку сітки 0,625. Крок координатної сітки вибирають відповідно до кроку більшості ЕРЕ, встановлюваних на ДП. Переважними є наступні кроки координатної сітки:

- $n \cdot 0,05$  мм при  $n=5, 10, 15, 20, 25$ ;
- $n \cdot 0,5$  мм при  $n=1, 2, 5, 6, 10$ .

Допустимі кроки координатної сітки - дюймові кроки, які застосовують в конструкції ДП, що використовують ЕРЕ з кроком, кратним 2,54 мм (2,54 мм; 1,27 мм; 0,635 мм). При використанні багатовивідних елементів (кількість виводів по одній стороні – більше 24) закордонного виробництва необхідно застосовувати не метричну, а дюймову систему завдання кроку.

Товщина плати вибирається рівною 0,8, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0 мм.

Діаметри монтажних та перехідних отворів в залежності від діаметра навісних елементів вибирають рівними: 0,4, 0,6, 0,8, 1,0, 1,3, 1,5, 1,8, 2,0 мм.

Друковані провідними необхідно виконувати однакової ширини на протязі усієї довжини. Допускається в деяких місцях звужувати їх до мінімально допустимих параметрів та прокладати їх перпендикулярно осі, що з'єднує центри отворів. Осі провідників рекомендується суміщати з лініями координатної сітки.

Мінімальне значення номінальної ширини провідника розраховується виходячи з припустимої щільності струму для фольги від 100 до 250 А/мм<sup>2</sup> і для гальванічної міді від 60 до 100 А/мм<sup>2</sup>. Значення мінімальної відстані між провідниками для плати другого класу точності та величина робочої напруги наведена в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Параметри робочої напруги для другого класу точності

Відстань між елементами провідного малюнка, мм	Значення робочої напруги, В							
	Зовнішні діючі фактори							
	Нормальні умови		Відносна вологість (93±3)% при температурі (40±2) °С за час 48 г.		знижений атмосферний тиск			
					53600 Па (400 мм.рт.ст.)		666 Па (5 мм.рт.ст.)	
ГФ	СФ	ГФ	СФ	ГФ	СФ	ГФ	СФ	
>0,40>0,70>	150	300	100	200	110	160	58	80

Конструктивні параметри друкованої плати для другого класу точності наведені в таблиці 8.2.



Таблиця 8.2 – Параметри друкованої плати для другого класу точності

Параметри, мм	Третій клас точності
Мінімальне значення номінальної ширини провідника $t$	0,25
Мінімальне значення відстані між провідниками $S$	0,25
Гарантований пасок $b$	0,10
Граничне відхилення діаметра отвору $\Delta d$ : з металізацією при $d \leq 1$ мм без металізації при $d \geq 1$ мм	+ 0; - 0,10 + 0,05; - 0,15
Граничне відхилення ширини друкованого провідника $\Delta t$ (контактної площадки): без покриття з покриттям	$\pm 0,05$ $\pm 0,10$
Допуск на розташування осей отворів $T_d$ при розмірі плати по великій стороні до 180 мм включно	0,08
Допуск на розташування центрів контактних площадок $T_D$ при розмірі плати по більшій стороні менш 180 мм.	0,15