

# ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

УДК 621.3.049.75

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.5.1/03>**Білевська О.С.**Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз  
Служби безпеки України

## ГНУЧКІ ДРУКОВАНІ ПЛАТИ. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ

*Комунікаційне, автомобільне та медичне обладнання, аерокосмічна промисловість, сільськогосподарська тощо – сфери які постійно розвиваються та потребують досконалості у виготовленні сучасного обладнання.*

*У статті визначено, що сучасне виготовлення друкованих плат потребує постійного удосконалення методів розробки з урахуванням вимог сучасної елементної бази та використання новітніх технологій виробництва з сучасними матеріалами. Розвиток електронної техніки вимагає комплексного підходу та удосконалення на всіх етапах виробництва: проектування, виборі елементної бази та матеріалів, виборі технології виконання як усього виробу, так і окремих вузлів. При розробці будь-якої апаратури практично нероздільним є зв'язок між схемотехнікою, конструюванням та технологічним процесом виготовлення.*

*Безпосередньо це стосується друкованих плат, які повинні відповідати всім вимогам використання у виробі сучасної електроніки та мікроелектроніки. Друковані плати є невід'ємною складовою частиною при конструюванні електронних вузлів будь яких електротехнічних виробів від побутової до високотехнологічної техніки та одним з показників надійності, функціональності, швидкодії та компактності електронних пристроїв.*

*Друковані плати на жорсткій основі (жорсткі плати) є основним видом плат, клас точності яких постійно підвищується завдяки удосконаленню електронних компонентів. Однак сучасна електроніка все частіше вимагає використання жорстко гнучких та гнучких друкованих плат.*

*У статті розглянуто основи технології виготовлення гнучких друкованих плат, яка розвивається завдяки можливостям виготовлення їх з поліамідів, рідкокристалічних полімерів та інших матеріалів, що дає можливість виготовлення пристроїв мінімізованих розмірів та нестандартних форм.*

*В статті з'ясовано, що розробка та виготовлення друкованих плат на гнучкій основі дає можливість зрозуміти переваги даного виду перед платами виконаними на жорсткій основі. Безперервне удосконалення електронних компонентів для складання друкованих вузлів, враховує можливості їх використання на гнучких друкованих платах.*

**Ключові слова:** друкована плата, друкований вузол, жорстка основа, гнучка основа, електронні компоненти.

**Постановка проблеми.** Новітня електроніка дозволяє вирішувати різноманітні задачі майже у всіх сферах життєдіяльності. Це потребує постійного розвитку нових технологій виготовлення друкованих плат, розробка яких повинна враховувати вимоги до конструктивних форм та параметричних показників виробів.

Актуальним у вирішенні цього питання для розробників та виробників є розробка високо-технологічних процесів випуску гнучких друкованих плат (ФРС) та якісних основ для гнучких друкованих плат. Удосконалення матеріалів основ гнучких друкованих плат та технології їх виготов-

лення дають можливість використання їх у корпусах будь-яких нестандартних форм з дотриманням всіх електричних вимог.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Доцільністю використання та технологіями виготовлення гнучких друкованих плат, вирішенням проблемних питань цих процесів займалися такі вітчизняні науковці: Євсіна Н.О., Дудник О.В., Зінгер Ю.Л., Адаменко Ю.Ф., Яцюк Л.А., Косоґін О.В. та інші.

Серед вітчизняних виробників друкованих плат з високою якістю виробництва та дотриманням сучасних технологічних процесів можна

відзначити фірми PCBETAL (потужності виробництва знаходяться у м. Олександрія), СК-ТЕХНО (м. Київ) тощо.

Закордонні фірми, такі як BETON, KING-PCB, NOVA TECHNOLOGY, є представниками виробництва високоякісних, високоточних плат з передовими технологіями та мають можливість розробки і освоєння нових технологій. Якість виробництва підтверджена американською та європейською сертифікацією UL (UL E 492586), TS 16949 і сертифікатом менеджменту якості ISO9001:2008. А.В. Орещенко.

**Постановка завдання.** Метою даної статті є визначення доцільності виготовлення гнучких друкованих плат з використанням передових технологій, розробка та використання гнучких основ з високоточними струмопровідними можливостями, сучасні методи виготовлення гнучких друкованих плат для отримання інноваційних електронних виробів.

**Виклад основного матеріалу.** В сучасному світі розроблено безмежну кількість різновидів друкованих плат. Кожна з них має свої конструктивно-технологічні особливості, в залежності від сфери застосування приладу для якого вона розроблена. На сьогодні це медичне, автомобільне, комунікаційне обладнання, електроніка безпеки та споживча електроніка, галузі високих технологій, аерокосмічна галузь, сільськогосподарська тощо.

Друковані плати пройшли шлях розвитку від примітивного штампування або вирізання зображення на бронзовій чи мідній фользі на початку ХХ століття до друкованих плат HDI (High Density Interconnect) – плат з технологією з'єднання високої щільності.

Друкована плата (далі – ДП) – це ізоляційна основа (діелектрик) з одного чи двох боків якої розташовані струмопровідні смужки металу у відповідності з електричною схемою. Вона є панеллю для електричного з'єднання компонентів завдяки відображеному на ній струмопровідному рисунку електричної схеми. Друковані плати призначені для монтажу та комутації окремих блоків приладів між собою. Друковані плати мають жорстку або гнучку основу.

Відповідно до ДСТУ 2646-94 [1]:

Друкована плата – матеріал основи, що вирізаний за розміром, містить необхідні отвори і, щонайменше, один рисунок.

Друкований вузол – друкована плата з приєднаними до неї електричними і механічними елементами і (або) іншою друкованою платою

і з виконаними всіма процесами обробки: паяння, покриття і т.д.

Рисунок друкованої плати – конфігурація провідникового і (або) діелектричного матеріалу на ДП.

Провідний рисунок – рисунок ДП, утворений провідниковим матеріалом.

Матеріал основи ДП – матеріал, на якому виконується рисунок ДП.

Види друкованих плат:

Одностороння друкована плата (ОДП) – друкована плата, на одній стороні якої виконаний струмопровідний рисунок.

Двостороння друкована плата (ДДП) – друкована плата, що має одну основу, на обох сторонах якої виконаний струмопровідний рисунок і всі необхідні з'єднання.

Багатошарова друкована плата (БДП) – друкована плата, що складається з шарів ізоляційного матеріалу, які чергуються, зі струмопровідними рисунками на двох або більше шарах, між якими виконані необхідні з'єднання.

Гнучкі друковані кабелі (ГДК) або шлейфи складаються з одного чи декількох непровідних шарів, на яких розміщені друковані провідники. Гнучкі кабелі добре витримують велике число перегинів, вібрацію і застосовуються для міжз'єднань вузлів і блоків. Вони в кілька разів легше і займають менші обсяги ніж круглі кабелі.

Гнучка друкована плата (далі – ГДП) – друкована плата, яка має гнучку основу, що дозволяє згинати її з визначеним радіусом, звертати у циліндр і т.п. ГДП почали застосовуватися в 50-х роках ХХ століття. Поштовхом до цього стала розробка поліамідів з діелектричною провідністю та поліефірних плівок, які стають гнучкою основою. Перехідним етапом до гнучких друкованих плат були гнучкі друковані кабелі. Створення матеріалів з діелектричними властивостями зробили можливим розміщення на гнучкій основі електронних компонентів. Це зробило можливим розробку жорстко-гнучких, а в подальшому – ГДП.

Жорстка-гнучка друкована плата представляє собою гібрид або комбінацію жорстких і гнучких типів друкованих плат [2]. Вона має шар схеми, який не згинається (так звана «жорстка» частина), а також шари гнучких схем, які можна згинати і складати. Ця жорстка гнучка конструкція друкованої плати дозволяє використовувати плату в електричних або електронних пристроях які вимагають, щоб друкована плата вигиналася або складалася у визначених місцях. В цілому, технологія жорстких-гнучких друкованих плат є відмінним рішенням для багатьох типів електроніки, які

вимагають, щоб плата вигиналася або складалася у визначених областях, зберігаючи при цьому міцність і надійність, або де перевагою є стійкість до ударів і вібрації.

ГДП легко згинаються за визначеним радіусом, скручуються в циліндри, мають гарне розсіювання тепла, вони легкі та тонкі, що зменшує об'єм та вагу виробу.

Розглянемо основні переваги ГДП:

- гнучкість – надавати форму відповідно до пристрою в якому буде застосована. Це дає можливість економії витрат та ваги, оскільки одна ГДП може бути використана для покриття області пристрою, де необхідно розмістити декілька жорстких друкованих плат. Гнучкість також означає більшу надійність та довговічність, бо може зменшити вплив вібрації. ГДП не має потреби в інтерфейсних з'єднаннях, таких як паяльні з'єднання, контактні обтискання та з'єднувачі;

- стійкість до впливу навколишнього середовища – це досягається завдяки використанню сучасних матеріалів для ГДП. Матеріали можуть бути водонепроникними, ударостійкими, корозійностійкими та стійкими до високих температур. Цю перевагу не можуть мати жорсткі друковані плати;

- більша свобода дизайну плат, вона тонка та легка, що значно зменшує простір та веде до мінімізації пристроїв;

- призначені для робочих умов, де температура та щільність є головним фактором;

- відмінні електричні характеристики та діелектричні властивості; дають можливість швидко передавати електричні сигнали та забезпечувати хорошу роботу компонентів виробів;

- висока надійність монтажу та експлуатації; продуктивність та ефективність збільшується за рахунок зменшення проводів та з'єднувачів на платі;

- низька вартість – тонкі та легкі матеріали ГДП впливають не тільки на розмір та зменшення вартості пристрою, а також зменшується розмір упаковки, кінцевої збірки та витрати на матеріали.

Недоліки ГДП:

- потребує висококваліфікованого персоналу для монтажу;

- майже неремонтопридатна та не підлягає корегуванню;

- підвищений ризик пошкодження при використанні;

- висока одноразова початкова вартість замовлення на виготовлення.

Сучасні технології дозволяють випускати ГДП в односторонньому, двосторонньому та вже

і у багатошаровому форматі. Інноваційною є розробка 4-шарової основи для гнучкої друкованої плати з технологією сліпих переходів, що забезпечує більш компактні розміри плати з високою щільністю трасування.

Для виготовлення ГДП використовують гнучкі ламінати [4]. Гнучкі друковані плати на гнучких ламінатах однаково ефективно складаються як в пристрій для одноразового гнучкого встановлення плати, так і для динамічного використання протягом усього терміну служби пристрою.

Гнучкі ламінати тонкі і забезпечують можливість складання електронного дизайну, не втрачаючи при цьому електричної безперервності. Вони не мають склотканини для опори та виготовляються з еластичних матеріалів, таких як пластик. Пластик є хорошим ізолятором, проте, завдяки сучасним досягненням у хімії, фізиці та електроніці, може мати гарні струмопровідні властивості. Нові досягнення у дослідженні струмопровідних полімерів доводять, що органічні матеріали можуть змінюватися від традиційних ізоляторів до напівпровідників.

Розглянемо матеріали, які використовуються для виготовлення ГДП:

- поліаміди – цей тип ламінату забезпечує надзвичайну екологічну стійкість [4]. Він має високі термічні, хімічні та механічні властивості. Це високомолекулярний полімер на основі похідних тетракарбонових кислот, який здатний працювати при температурі 500°C. Стійкі до низьких температур. Поліамідний ламінат ідеально підходить для складних застосувань, у таких галузях як телекомунікаційні, оборонні, аерокосмічні, автомобільні тощо;

- рідкокристалічний полімер (Liquid-crystal polymer, далі – LCP) – в електронній галузі використовують термотропний LCP, який при розплавленні має властивості рідких кристалів та має чудові властивості для малих електронних пристроїв. Цей полімер в основному придатний для масового виробництва лиття під тиском. LCP – матеріал з низькою діелектричною провідністю, має високу термостійкість у безсвинцевому процесі переплавлення, надзвичайно низьке водопоглинання і короткий цикл формування, низьку швидкість усадки (ліотропний LCP – не використовується в електронній галузі);

- мідна фольга, покрита смолою (Resin Coated Copper Foil – RCC) – це ще один базовий матеріал, який широко використовується при конструюванні плат HDI. Характерна відмінність – відсутність склотканини. У стандартній конфігурації

можуть використовуватися три типи фольги товщиною 18 мкм, 12 мкм та 9 мкм;

– відпалена катана фольга – високопластична фольга, яка виробляється шляхом численних послідовних операцій відпалу та прокату до потрібної товщини;

– фоторезистивна плівка FF-9040S. Має чудову адгезію та роздільну здатність, підходить для лужного травлення, не викликає забруднення гальванічного процесу, гарна стабільність після ламінування та експонування;

– лавсан фольгований марки ЛФ-1, що складається з лавсанової плівки, епоксикаучукового адгезиву і електролітичної мідної фольги підвищеної пластичності, відрізняється стійкістю до значозмінних механічних деформацій, дії розплавленого припою при 204°C протягом 30 секунд, має робочу температуру експлуатації до 150°C;

– поліамід фольгований (ПМФ) – м'який та міцний матеріал, характеризується підвищеною термостійкістю з робочою температурою до 300°C, стабільно високими електрофізичними властивостями у широкому діапазоні частот і напруг, легко протистоїть перепадам температур під час процесу паяння та при перепаюваннях, в процесі коливань температур не змінює форму.

Розробляються також нові струмопровідні фарби та підкладки, щоб відповідати вимогам новітніх застосувань, пропонуючи покращені електричні характеристики, довговічність і екологічність. Крім того, інновації в друкарських технологіях, такі як адитивне виробництво та цифровий друк, дозволяють створювати конструкції схем з вищою точністю, розсуваючи межі можливостей у виробництві електроніки.

Метод виготовлення ГДП залежить від конструкторських та експлуатаційних характеристик, конструктивного виконання, проведення техніко-економічного аналізу [3]. Технологія виробництва повинна забезпечувати високу якість протягом тривалого використання та забезпечення сумісності з існуючими процесами складання ГДП.

Поширеними методами виготовлення ГДП є позитивний комбінований метод, метод переносу та субтрактивний.

Позитивний комбінований метод заснований на застосуванні двостороннього фольгованого діелектрика. Струмопровідний рисунок отримують методом травлення міді, а металізація отворів забезпечується електрохімічним методом. Цей метод забезпечує задовільну адгезію елементів до діелектрика.

Метод переносу передбачає використання тимчасової основи у вигляді пластини із нержавіючої

сталі [5]. На цю основу наносять захисний рельєф на пробільні ділянки і шляхом гальванічного осаджування міді формують струмопровідний рисунок. Після цього захисний рельєф видаляють, тимчасову основу рисунком притискають до діелектрика з нанесеним клеєвим шаром. При цьому струмопровідний рисунок відшаровується від нержавіючої сталі і приклеюється до діелектрика. Даний метод більш придатний для односторонніх плат.

При виготовленні ГДП субтрактивний хімічним методом на мідну фольгу діелектрика захисним шаром, стійким до наступного впливу витравлювачів, наноситься позитивний рисунок схеми [3]. Незахищені ділянки фольги витравлюються. Для захисту струмопровідного рисунка від дії травильного розчину, на нього попередньо наносять захисний рельєф. Цей процес виготовлення нескладний та найменш трудомісткий. У порівнянні з іншими методами виготовлення друкованих плат він має короткий технологічний цикл, легко механізується та автоматизується.

Однак, мінімізація електронних виробів, зростаючі вимоги до щільності компонування елементів на платах, вимагають удосконалення існуючих та розробку нових методів виготовлення друкованих плат. Це, в свою чергу, потребує висококваліфікованої робочої сили, спеціалізованого обладнання та обробки у виробництві.

Так для створення гнучких плат найвищої складності та з високою щільністю монтажу використовують метод з використанням струмопровідних паст. Матеріалами для даного методу є нефольгована лавсанова плівка та струмопровідна металополімерна паста, що містить порошок срібла та полімерний зв'язувальний компонент. Нанесення струмопровідного рисунка забезпечується методом трафаретного друку. Висока електропровідність плат виконаних даним методом забезпечена великим відсотком срібла у складі провідників.

**Висновки.** Розвиток гнучких електронних технологій несе революційні зміни в промисловості та житті людини. Однією з актуальних задач у даний час є підвищення економічної ефективності виробництва і якості продукції, яка випускається [3]. Зростаючий попит на мініатюрну, гнучку електроніку з застосуванням гнучких друкованих плат стає ключовою тенденцією на ринку.

Застосування гнучких друкованих плат вносить зміни у різні галузі промисловості, включаючи споживчу електроніку, автомобільну промисловість, охорону здоров'я, аерокосмічну технологію тощо. Виробництво гнучких друко-

ваних плат пропонує більшу свободу дизайну, що дозволяє створювати інноваційні та ергономічні вироби – від гнучких дисплеїв та датчиків дотику до RFID-антен і розумного текстилю. Гнучкі плати все частіше інтегруються в повсякденні пристрої, підвищуючи їхню продуктивність, одночасно зменшуючи розмір і вагу. Придатні для більш суворих умов використання завдяки більшій стійкості до ударів та вібрацій. Процес друку в рулон та раціональне використання матеріалів уникає

проблеми відходів від фотолітографії. Вартість гнучкої плати виготовленої методом друку значно нижча за вартість методу фотолітографії.

Гнучка друкована плата є ключовим аспектом у розробці сучасної електроніки. Науковці, інженери та виробники продовжують розширювати межі можливостей у швидкій еволюції розробки та виробництві гнучких друкованих плат, що є важливим етапом для створення інноваційної гнучкої електроніки.

#### Список літератури:

1. ДСТУ 2646-94 Плати друковані. Терміни та визначення.
2. Гарист А. В. Технологія жорстких гнучких друкованих плат (RIGID-FLEX PCB). VII Міжнародна науково-практична конференція «Information technologies in education, technology and industry», Технічні науки.
3. Євсіна Н.О., Дудник А.В. Конструювання і технологія виробництва систем телекомунікацій: Конспект лекцій для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» усіх форм навчання – Харків: НТУ «ХП», 2022.
4. Зінгер Я.Л., Адаменко Ю. Ф. Наскрізна розробка інтелектуальної техніки. Частина 2 конспект лекцій. – Київ КПІ ім. Ігоря Сікорського 2023 р.
5. Яцюк Л. А., Косогін О.В., Ущатовський Д. Ю., Лінючева О. В., Фатєєв Ю. Ф. Технологія нанесення неметалевих покриттів та виробництво плат друкованого монтажу – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018 р.

#### **Bilevska O.S. FLEXIBLE PRINTED BOARDS. ANALYSIS OF CURRENT OPPORTUNITIES**

*Communication, automobile and medical equipment, aerospace industry, agricultural, etc. are areas that are constantly developing and require perfection in the production of modern equipment.*

*The article defines that the modern production of printed circuit boards requires constant improvement of development methods taking into account the requirements of the modern elemental base and the use of the latest production technologies with modern materials. The development of electronic equipment requires a comprehensive approach and improvement at all stages of production: design, selection of the elemental base and materials, selection of technology for the execution of both the entire product and individual components. In the development of any equipment, the connection between circuit engineering, design and manufacturing process is practically inseparable.*

*This directly applies to printed circuit boards, which must meet all the requirements for use in modern electronics and microelectronics products. Printed circuit boards are an integral part of the design of electronic components of any electrical products from household to high-tech equipment and are one of the indicators of reliability, functionality, speed and compactness of electronic devices.*

*Rigid-based printed circuit boards (rigid boards) are the main type of boards, the accuracy class of which is constantly increasing due to the improvement of electronic components. However, modern electronics increasingly require the use of rigid and flexible printed circuit boards.*

*The article discusses the basics of the technology of manufacturing flexible printed circuit boards, which is developing due to the possibilities of manufacturing them from polyamides, liquid crystal polymers and other materials, which makes it possible to manufacture devices of minimized sizes and non-standard shapes.*

*The article found out that the development and manufacture of printed circuit boards on a flexible basis makes it possible to understand the advantages of this type over boards made on a rigid basis. The continuous improvement of electronic components for the assembly of printed circuit boards takes into account the possibilities of their use on flexible printed circuit boards.*

**Key words:** *printed circuit board, printed circuit board, rigid base, flexible base, electronic components.*