

Шорнікова С.В.

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України

ЯКІСТЬ ВИРОБНИЦТВА ДРУКОВАНИХ ПЛАТ. АНАЛІЗ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ

У даній статті проведено дослідження застосування електроніки у всіх сферах життєдіяльності людини. Електронна апаратура на великому підприємстві або примітивний побутовий пристрій, повинні якісно виконувати задачі, закладені в них розробником. Відповідальність за досконалу роботу будь-якого пристрою покладена на виробників, які повинні виконати замовлення якісно, відповідно документації та з дотриманням всіх державних та міжнародних норм і стандартів.

У статті розкрито процес виготовлення будь-якої електронної техніки, який починається з розробки та виготовлення друкованої плати, від її складності якої залежить від сфери застосування. Кожний етап у виробництві друкованої плати вимагає контролю, який повинен забезпечити надійність, технологічність та безпечність. Вибір матеріалу основи друкованої плати, метод нанесення провідного малюнка, захисне покриття плати – всі ці етапи виробництва повинні виконуватися на високоточному обладнанні з забезпеченням максимальної точності.

З'ясовано, що виконання цих вимог можливе при дотриманні вимог відповідно до державних стандартів – ДСТ України та міжнародних – ISO, IPC, IEC тощо.

Стандарти, на які базується виробництво друкованих плат включають широкий спектр вимог, зменшують витрати від нестандартних процесів, забезпечують якість та надійність, ефективнішу взаємодію між замовником та виробником. Отримання якісного виробу, де друкована плата є одним з основних складових, це виробництво з дотриманням норм та стандартів. Дотримання вимог відповідно нормативних документів забезпечує гарантію якості.

Випуск продукції відповідно міжнародних стандартів робить підприємство більш конкурентоспроможним на ринку виробників. Якість етапів виробництва друкованих плат, друкованих вузлів, монтажу виробу тощо, визначається стандартами розробленими державними та міжнародними структурами стандартизації.

Відповідно до того, як збільшуються вимоги до виду та якості плат, галузеві асоціації Сполучених Штатів, Європи, Азії активно сприяють розробці нових та вдосконаленню існуючих стандартів друкованих плат.

Ключові слова: електронна техніка, друкована плата, провідний малюнок, захисне покриття, державний стандарт, міжнародні стандарти ISO, IPC, IEC.

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток електроніки вимагає від розробників нестандартних рішень у формах, методах конструювання та якісного виробництва як всього виробу так і окремих деталей та вузлів.

В свою чергу, розвиток нових технологій та матеріалів вимагає постійного корегування та розробку нових нормативних документів до вимог сучасного виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливість розробки та виготовлення друкованих плат високої якості відповідно міжнародним стандартам, акцентували в своїх роботах такі вітчизняні науковці: Зінгер Ю.Л., Адаменко Ю.Ф., Яцюк Л.А., Косогін О.В. Євсіна Н.О., Дудник О.В. тощо.

Серед вітчизняних виробників друкованих плат з високою якістю виробництва завдяки

дотриманню міжнародних стандартів ISO, IPC тощо, можна відзначити компанії ДП «Гальванотехніка», «Віаком», VERIKOM, СК-ТЕХНО, РСВETAL тощо.

Закордонні фірми, якість виробництва яких підтверджена міжнародними стандартами: UET (Unlon Electronic Technology) – якість виробництва відповідає стандартам IPC – 610-D, Highleap Electronics, – усі процеси мають сертифікат ISO9001: 2015 тощо.

Постановка завдання. Метою статті є визначення необхідності виготовлення будь-яких видів друкованих плат відповідно норм міжнародних стандартів для отримання інноваційних електронних виробів, необхідність розробки нових стандартів відповідно до сучасних вимог виробництва друкованих плат.

Виклад основного матеріалу. Незалежно від того, де буде здійснюватися проектування, виготовлення, тестування друкованих плат, монтаж електронних компонентів, замовник повинен отримати якісний продукт. Високу якість друкованих плат та друкованих вузлів забезпечують компанії, виробництво яких відповідає встановленим законодавчим вимогам та підтверджене відповідно до державних та міжнародних стандартів.

Якість виробу – сукупність властивостей, що закладається в процесі конструкторської та технологічної розробки, наукових досліджень, виробничого циклу, а проявляється в процесі експлуатації.

Основними показниками якості виробництва електронної апаратури та друкованих плат зокрема є [1]:

- конструктивні – ступінь стандартизації, нормалізації, уніфікації, коефіцієнт складності, кількість блоків (комплектність), маса;
- надійності – технічний ресурс, термін служби, імовірність безвідмовної роботи;
- економічні – трудомісткість, собівартість, ціна;
- товарно-споживчі – споживана потужність, стійкість до зовнішніх впливів (температура, вологість, вібрація тощо).

Відповідно до закону України «Про стандартизацію» №1315-VII від 5.06.2014 року [2]:

- стандартизація – діяльність, що полягає в установленні положень для загального та неодноразового використання щодо наявних чи потенційних завдань і спрямована на досягнення оптимального ступеня впорядкованості в певній сфері;
- стандарт – нормативний документ, заснований на консенсусі, прийнятий визнаним органом, що встановлює для загального і неодноразового використання правила, настанови або характеристики щодо діяльності чи її результатів, та спрямований на досягнення оптимального ступеня впорядкованості в певній сфері;
- міждержавний стандарт – регіональний стандарт, передбачений Угодою про проведення узгодженої політики в галузі стандартизації, метрології і сертифікації від 13 березня 1992 року та прийнятий Міждержавною радою із стандартизації, метрології і сертифікації;
- міжнародний стандарт – стандарт, прийнятий міжнародною організацією із стандартизації і доступний для широкого кола користувачів.

Державні та галузеві (відомчі) службами стандартизації України:

– Держстандарт України – Державний комітет з технічного регулювання і споживчої політики;

– УкрНДІССІ – Український науково-дослідний інститут стандартизації, сертифікації та інформатики;

– ДНДІ «Система» – Державний науково-дослідний інститут «Система»;

– УкрЦСМ – Український державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації;

– Український навчально-науковий центр із стандартизації, метрології та якості продукції;

– технічні комітети стандартизації;

– територіальні центри стандартизації, метрології та сертифікації.

Перевірка якості виробництва друкованих плат в Україні, виготовлених для промислових галузей, відбувається відповідно державним стандартам – ДСТУ2606-94, ДСТУ2779-94, ДСТУ2783-94, ДСТУ3334-96, ДСТУ3520-97, ДСТУ EN 16182:2022, серія стандартів – ДСТУ EN 16188:2022, ДСТУ EN 60947-4-3:2022, серія стандартів ДСТУ EN 16602:2022 тощо.

Однак, можливість продавати свою продукцію на міжнародних ринках, брати участь у міжнародних тендерах на виробництво друкованих плат, друкованих вузлів та електронної техніки в цілому, дає наявність міжнародного сертифіката відповідної структури.

До міжнародних структур, що розробляють стандарти якості відносяться:

– ISO (Міжнародна організація стандартизації) – розробляє та випускає серії міжнародних стандартів, спрямованих на підвищення якості продукції та послуг, що надаються глобальними підприємствами та організаціями;

– IPC (Інститут зв'язку електронної промисловості) – це офіційна назва асоціації, яка розробляє стандарти, пов'язані з друкованими платами. Стандарти IPC – це стандарти, прийняті в електронній промисловості для проектування, виробництва друкованих плат та електронного складання. Існує стандарт IPC, пов'язаний практично з кожною конструкцією, виробництвом і складанням друкованої плати. Максимально наближений до стандартів МЕК;

– IEC (Міжнародна електротехнічна комісія (МЕК)) – комісія, що діє під егідою СОТ. розробляє та впроваджує стандарти в галузі електроніки та телекомунікацій;

– ANSI (Американський національний інститут стандартів) – є американським представником у виробництві міжнародних стандартів МЕК;

– IATF (International Automotive Task Force) – спеціалізованою агенцією, заснованою провідними світовими виробниками та асоціаціями автомобілів;

– CEN (Європейський комітет зі стандартизації) – розробляє та впроваджує європейські стандарти на друковані плати;

– UL – стандарт, що застосовується до друкованих плат і блоків живлення. UL вимагає від виробників ретельного тестування своєї продукції, дотримуючись правильних процедур, щоб мінімізувати проблеми з готовим продуктом;

– ITU-T – (International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector) – Сектор стандартизації Міжнародного союзу електров'язку, що діє під егідою ООН. Визначає стандарти в галузі телекомунікації та радіо. Займається розподілом радіочастот, міжнародною телефонною організацією та організацією радіозв'язку, стандартизацією телекомунікаційного обладнання. Згідно цього стандарту відбувається класифікація міжнародних кодів телефонних номерів в світі;

– TIA – (Telecommunication Industry Association) – Асоціація промисловості засобів зв'язку. TIA функціонує під керівництвом Альянсу електронної промисловості EIA (Electronics Industries Alliance) та зосереджує свої зусилля на телекомунікаційної та інформаційної промисловості.

Найбільший акцент при виробництві друкованих план виробники роблять на стандартах ISO та IPC. Світові та вітчизняні виробники, сертифіковані відповідними стандартами, гарантують якість та надійність як всього виробництва – ISO так і конкретного виду продукції – IPC.

Сертифікат ISO 9001:2018 – це документ, що підтверджує, що система менеджменту компанії, сертифікованої даним документом, відповідає певним міжнародним правилам як документально, так і практично. Встановлює правильну модель управління діяльністю організації. Стандарт поширений та визнаний у 190 країнах світу. Сертифікація передбачає перевірку всього виробництва, а не самого продукту. Впровадження цього стандарту дає право на маркування своєї продукції.

Переваги стандарту для міжнародних та українських виробників:

- покращує ефективність роботи;
- підвищує якість продукту, отриманого на виході виробництва;
- діяльність організації відповідає вимогам МООЗ та МОЗ України;

– доступ до європейських ринків.

ISO 14001 – сертифікат міжнародного рівня, який видається з метою зведення до мінімуму шкідливого впливу діяльності виробництва на навколишнє середовище. Іншими словами, він передбачає методики та засоби, які дозволять ефективно використовувати ресурси і скоротити відходи.

Переваги стандарту:

- раціональне використання ресурсів;
- захист біорізноманіття та екосистеми;
- уповільнення зміни клімату;
- запобігання забруднень навколишньому середовищу.

ISO 45001 – встановлює вимоги до розробки та впровадження системи професійної безпеки. Визначає відповідальність керівництва щодо виробничої безпеки, сприяє безпеці робочих місць. Стандарт спрямований на методичне управління в критичних ситуаціях. Переваги стандарту:

- зменшення травматизму та зниження виплат на лікарняні;
- підвищення результативності праці;
- підтвердження безпеки для контролюючих органів.

ISO 13485 – призначений для використання організаціями, які займаються розробкою, виробництвом, установкою та обслуговуванням друкованої плати, щоб створювати найкращі РСВА для індустрії обладнання.

Стандарти IPC розроблені для забезпечення надійності та технологічності виробництва друкованих плат та електронних вузлів. IPC – серія стандартів, визнаний різними органами влади після різних перевірок. Стандарти містять вимоги до розробників та виробників. Як правило, друкована плата, яка відповідає цим стандартам, буде безпечнішою, надійнішою та продуктивнішою. IPC стандарти визначають важливі вимоги до виробу у будь-якій галузевій вертикалі чи сегменті ринку.

IPC налічує більше 300 перевірених галузевих стандартів, які охоплюють всі етапи розробки та виготовлення електроніки. Стандарти IPC включають широкий спектр вимог до виготовлення друкованих плат та їх збірок: матеріал підкладки, міцність паяльного з'єднання, товщина резиста та багато інших виробничих вимог. Запроваджують загальну термінологію.

Серії стандартів IPC для виготовлення друкованих плат:

Конструкція: серія IPC 2200 і IPC-7351:

- IPC-2220 – стандарт містить конкретні специфікації для друкованих плат, таких як гнучкі, жорсткі та інші;

– IPC-7351 – стандарт для конструкції поверхневого кріплення та стандарти шаблонів колодок.

IPC-2152 – визначає вимоги до струмопровідності в мідних трасах та площинах у ряді різних застосувань.

IPC-2221 – загальний стандарт проектування друкованих плат:

– IPC-2221B – стандарт для розробки друкованих схем.

IPC-2222A – стандарт дизайну поперечного перерізу для жорстких друкованих плат.

IPC-2223D – стандарт для жорстко-гнучкої та гнучкої друкованої плати.

IPC-2224 – стандарт РСВ.

IPC-2225 – стандарт дизайну поперечного перерізу для органічних багатокристалльних модулів МСМ-L.

IPC-2226 – стандарт для плат високої щільності HDI.

IPC-2252 – стандарт проектування друкованих плат СВЧ.

IPC-2581 – загальний стандарт для виробництва друкованих плат.

IPC-4101, серії IPC-4200, IPC-412 і IPC-4562 – стандарти матеріалів для виробництва друкованих плат:

– IPC-4101C – стандарт про вимоги до підкладок (ламінати або препреги) друкованих плат.

IPC-4761 – вказівки щодо проектування захисту прохідних каналів.

IPC-6011 – загальна класифікація друкованих плат. Відповідно даного стандарту у виробництві

друковані плати поділяються на три класи рівня якості, від найнижчого (стандарти класу 1) до найвищого (стандарти класу 3) [3]:

– Електроніка класу 1: Загальна електроніка

– Електроніка класу 2: Спеціальна сервісна електроніка

– Електроніка класу 3: Високонадійна електроніка

– A-Level або IPC 6012 клас 3. Спеціалізована електроніка.

Порівняльні характеристики до параметрів на друкованій платі відносно класу якості приведені в таблиці 1.

Робота над друкованою платою необхідно почати з визначення класу до якого буде належати майбутній виріб. Відповідно будуть визначені параметри якості та відповідні стандарти для перевірки.

IPC-6012B – стандарт визначає вимоги до виробництва жорстких друкованих плат, умови для різних категорій продукції щодо структурної цілісності, здатності до спаювання, відстань між проводами.

IPC-6013 – вимоги до продуктивності гнучких друкованих плат.

IPC-7351 – встановлює вимоги до розміру площі та якості поверхні для компонентів SMT. Виробники компонентів використовують даний стандарт при проектуванні контактних площадок для забезпечення надійного електричного з'єднання.

Таблиця 1

	1клас	2клас	3клас	A-Level клас 3
Застосування	Побутові прилади, пульс ДУ, телевізори, іграшки тощо	Комунікаційне обладнання, планшети, смартфони тощо	Електронні виробничі системи, системи підтримки, військові пристрої	Аерокосмічне та медичне обладнання, військові бортові системи, космічне обладнання тощо
Життєвий цикл	Короткий	Довгий	Дуже довгий	Дуже довгий
Мінімальна ширина провідників	0,1мм (4мілс)	0,15мм (6мілс)	0,1мм (4мілс)	0,075мм (3мілс)
Мінімальний відступ між провідниками	0,1мм (4мілс)	0,15мм (6мілс)	0,1мм (4мілс)	0,075мм (3мілс)
Мінімальний діаметр отворів	0,3мм (12мілс)	0,4мм (16мілс)	0,25мм (10мілс)	0,15мм (6мілс)
Мінімальний відступ від отвору до провідників	0,2мм (8мілс)	0,3мм (12мілс)	0,2мм (8мілс)	0,075мм (3мілс)

Електронні компоненти відповідають стандартам:
– Матеріали: J-STD-004, IPC-HDBK-005 і J-STD-006;

– Збірки: IPC-A-610, J-STD-001, IPC-7095, IPC-HDBK-830 IPC/WHMA-A-620 і IPC-7711/771.

IPC-A-600 – стандарт за яким проводиться приймання друкованих плат.

IPC-A-610 – найбільш використовуваний стандарт з серії IPC. Визначає прийнятність електронних компонентів, надаючи стандарти для приймання кінцевого продукту.

IPC-A-620 – стандарт для кабелів, проводів, джгутів.

IPC-A-630 – стандарт використовується для перевірки структури коробки. Крім того, цей спеціальний код допомагає компаніям виробляти, тестувати та перевіряти електронні продукти.

Так J-STD-001 – стандарт контролю виробничого процесу збірки друкованої плати, паяння плат, сполучних матеріалах тощо.

IPC-7711/7721C – стандарт використовується для ремонту, модифікації або переробки виготовленої друкованої плати.

IPC-T-50 – стандарт для схем, друкованих плат та пакети для всієї галузі.

IPC-TM-650 – інструкція з тестування стандартів IPC для друкованих плат. Може оцінити всі аспекти друкованих плат стандартним способом. Наприклад:

– IPC-TM-650 2.6.14.1 – перевірка методу електронної тенденції міграції на поверхні плати;

– IPC-TM-650-2.3.25.1 – тестування вимірювання іонної чистоти тощо.

IPC-D-325 – стандарт містить інструкції та вимоги до документації для друкованих плат, компонентів і опорних креслень.

Розробники стандартів IPC «тримають руку на пульсі» розвитку сучасних технологій, тому в них містяться найсвіжіші рекомендації з роз-

робки [4]. Наприклад, стандарти передбачають вимоги до плат вище 5-го класу точності, в ДСТУ максимальний клас точності – 5. Розроблено базу PCB-Libraris IPC з більшістю сучасних радіоелементів і можливістю їх експорту в різні програми для розробки ПП: PCAD або CAD і тощо.

Висновки. Виробники друкованих плат є основою електронної промисловості, перетворюючи розробки конструкцій на фізичні, високоякісні продукти.

Завдяки прогресу в процесах виготовлення друкованих плат, матеріалах та тестуванні, найкращі виробники постачають плати, які відповідають високим стандартам розроблених міжнародних норм.

Виробництво друкованих плат відповідно міжнародних стандартів допомагає контролювати якість кінцевого продукту.

Стандартизація всіх етапів процесу розробки та виготовлення друкованих плат гарантує їх надійність. Однією з головних переваг дотримання міжнародних стандартів для компаній-виробників – впевненість, що результат задовольнить кінцевого споживача.

Гарантія того, що друковані плати відповідають міжнародним стандартам, дозволяє виробляти електронні вироби, які в повній мірі відповідають жорстким вимогам контролю якості, зменшуючи кількість браку, знижуючи обсяги ремонту тощо. Особливо це важливо при виготовленні друкованих плат для космічної галузі, військової, автомобільної галузі, медичного обладнання.

Регулярна модифікація та удосконалення стандартів забезпечує розвиток як самих компаній так і виробництва та процесів його супроводу, відповідно до сучасних вимог розробки, виготовлення та технологій.

Виробники друкованих плат з міжнародною сертифікацією завжди мають достатні об'єми замовлень та постійних замовників.

Список літератури:

1. 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 «ХПІ», 2022. URL:<https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/22b81594-f793-4b2d-bae0-71da5f0fc1b/content>. (дата звернення: 08.11.2024).

2. Закон України про стандартизацію. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1315-18#Text>

3. Зінгер Я.Л., Адаменко Ю. Ф. НАСКРІЗНА РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ. ЧАСТИНА 2 КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ. – Київ КПІ ім. Ігоря Сікорського 2023 р. URL:<https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/f86043c1-c105-4f59-ba6b-25fbf12015b5/conten> (дата звернення: 08.11.2024).

4. Яцюк Л. А., Косоґін О.В., Ущাপовський Д. Ю., Лінючева О. В., Фатєєв Ю. Ф. Технологія нанесення неметалевих покриттів та виробництво плат друкованого монтажу – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018р. URL:<https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/e4f801f7-f2f0-4191-bfc3-17b40bd3e19e/content> (дата звернення: 08.11.2024).

5. Union Electronic Technology. Електронний ресурс. URL: <https://uetpcb.com/uk/why-us/> (дата звернення: 08.11.2024).
6. LEONORM. Електронний ресурс. URL: <http://www.leonorm.lviv.ua/Default.php?Page=stlist&ObjId=562&CatId=1&code=&TableNum=> (дата звернення: 08.11.2024).
7. Органи стандартизації. Електронний ресурс. URL: <https://ua.nettech.ua/news/organi-standartizatsii> (дата звернення: 08.11.2024).
8. Спрощення електронних інновацій. Електронний ресурс. URL: <https://hilelectronic.com/uk/certifications/> (дата звернення: 08.11.2024).
9. ISO-Certify.com. Електронний ресурс. URL: <https://iso-certify.com/ua/iso-9001/> (дата звернення: 08.11.2024).

Shornikova S.V. QUALITY OF PRINTED CIRCUIT BOARD PRODUCTION. ANALYSIS OF INTERNATIONAL STANDARDS

This article examines the use of electronics in all areas of human life. Electronic equipment at a large enterprise or a primitive household device must perform the tasks set out by the developer in a high-quality manner. The responsibility for the perfect operation of any device lies with the manufacturers, who must fulfill the order in a quality manner, in accordance with the documentation and in compliance with all national and international norms and standards.

The article describes the manufacturing process of any electronic equipment, which begins with the development and manufacture of a printed circuit board, the type and complexity of which depends on the application. Each stage in the production of a printed circuit board requires control to ensure reliability, manufacturability, and safety. The choice of PCB base material, the method of applying the conductive pattern, the protective coating of the board – all these stages of production must be performed on high-precision equipment to ensure maximum accuracy.

It was found that fulfillment of these requirements is possible if the requirements are met in accordance with the state standards – DST of Ukraine and international standards – ISO, IPC, IEC, etc.

These requirements can only be met if the requirements are met in accordance with national standards, such as the State Standards of Ukraine, and international standards, such as ISO, IPC, IEC, etc.

The standards on which PCB production is based include a wide range of requirements, reduce costs from non-standard processes, ensure quality and reliability, and make interaction between the customer and the manufacturer more efficient. Producing a high-quality product, where a printed circuit board is one of the main components, means manufacturing in compliance with norms and standards. Compliance with the requirements of the relevant regulatory documents provides a guarantee of quality.

Manufacturing products in accordance with international standards makes the company more competitive in the market of manufacturers. The quality of the production stages of printed circuit boards, printed components, product assembly, etc. is determined by the standards developed by national and international standardization bodies.

Key words: *electronic equipment, printed circuit board, conductive pattern, protective coating, state standard, international standards ISO, IPC, IEC.*