

# Использование стандартов IPC на всех этапах производства электроники

## Часть 1. Стандарты серии IPC-2220 и IPC-7351A

**Все, кто занят в производстве электронного оборудования, знают, что готовое электронное изделие — это результат множества разнообразных и сложных операций, составляющих очень длинный производственный процесс. Если не все операции выполняются более или менее качественно, то будет трудно достичь предъявляемых производителями высоких требований к качеству и надежности, за которые никто из них не хочет дорого платить.**

**Ларс Валлин (Lars Wallin)**

**Введение**

Это уравнение решить нелегко, но в течение своей 52-летней истории ассоциация IPC разрабатывала стандарты, которые могут помочь производителям электронного оборудования получить возможность выпускать изделия высокого качества.

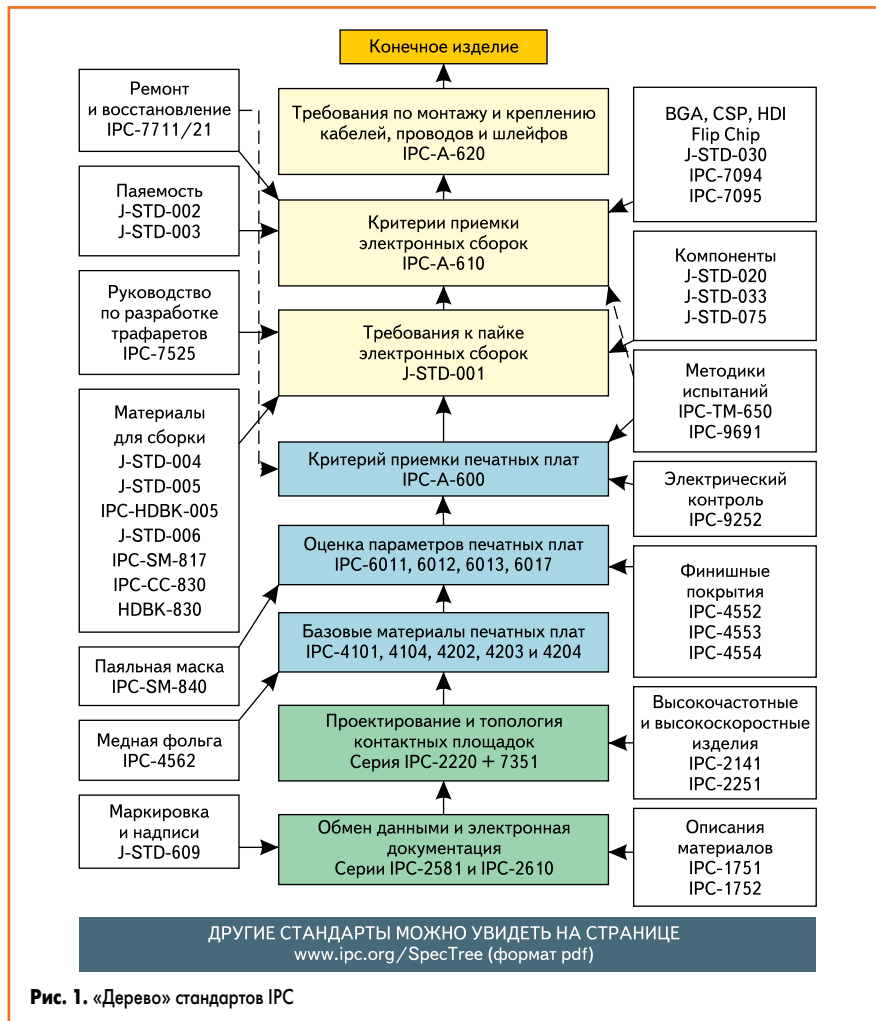
Поскольку IPC работает очень активно и имеет на сегодня более 200 стандартов, бывает трудно подобрать наиболее подходящий стандарт для тех или иных задач в рамках общей производственной цепочки. В Европе, где многие компании не развиваются так, как могли бы с использованием стандартов IPC из-за их сложной структуры, очень велика необходимость во всеобъемлющей информации об IPC, и поэтому представительство IPC в Европе приняло решение о создании этих статей для российского рынка электроники.

Серия будет состоять из 6 отдельных статей, отражающих цепочку от разработки до производства печатных узлов (рис. 1):

- Часть 1. Серия стандартов IPC-2220 и IPC-7351A. С помощью этой статьи читатели смогут взглянуть на мир разработчиков и конструкторов электронной аппаратуры и на использование стандартов IPC.
- Часть 2. Стандарт IPC-4101C и серия стандартов IPC-6010. Здесь показывается важность правильного выбора базового материала и необходимость контроля возможностей поставщиков печатных плат.
- Часть 3. Стандарт IPC-600H. Статья иллюстрирует различные критерии качества печатных плат.
- Часть 4. Стандарты J-STD-001E, J-STD-020D, J-STD-075 и J-STD-033B, которые дают читателю представление о том, насколько важно контролировать условия хранения компонентов и параметры процессов сборки и пайки.
- Часть 5. Стандарт IPC-610E. Отражены некоторые критерии качества электронных сборок.
- Часть 6. Стандарт IPC-7711/21 — руководство по восстановлению и ремонту печатных плат и электронных сборок.

Всегда необходимо помнить об основных принципах стандартизации IPC (табл. 1).

Процесс разработки стандарта IPC основывается на добровольной работе, осуществляемой представителями электронной промышленности, которые объединяются в комитет по каждому стандарту. Роль IPC является в основном административной: она заключается в обеспечении запланированного



**Рис. 1.** «Дерево» стандартов IPC

Таблица 1. Основные принципы стандартизации IPC

Стандарты должны	Стандарты не должны
Отражать связь с вопросами технологичности и экологичности (DfM и DfE)	Препятствовать новаторству
Сокращать время выхода изделия на рынок	Увеличивать время выхода изделия на рынок
Быть изложены на простом (упрощенном) языке	Держаться в стороне от пользователей
Содержать только специализированную информацию	Увеличивать время производства
Уделять основное внимание характеристикам конечного изделия	Указывать, как что-то должно быть сделано
Включать механизм обратной связи по практическому применению и возникающим проблемам для последующего усовершенствования	Содержать неподтвержденную информацию

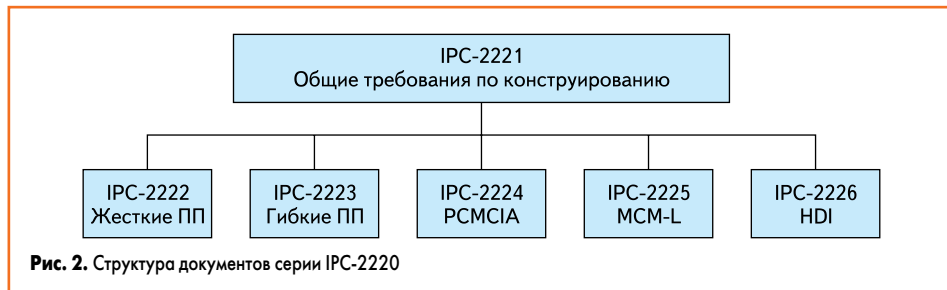


Рис. 2. Структура документов серии IPC-2220

выполнения процесса разработки и предоставления широкому кругу представителей мира электроники возможности составить свое мнение о стандартах IPC прежде, чем они будут опубликованы.

Цель этих статей — ознакомить участников российского рынка электроники с применением стандартов IPC на всех этапах производства электроники для удовлетворения потребностей в качестве и надежности при использовании как свинцовосодержащих, так и бессвинцовых технологий.

### Стандарты серии IPC-2220 и IPC-7351A

Серия стандартов IPC-2220 устанавливает основные требования к проектированию печатных плат из органических материалов и других видов оснований для монтажа компонентов и коммутационных изделий. Органические материалы могут быть однородными, армированными или использоваться в комбинации с неорганическими материалами, а коммутация может осуществляться с одной стороны, с двух сторон или на нескольких слоях.

Стандарт IPC-2221 определяет основные принципы конструирования и дополнен различными специализированными документами, содержащими подробную информацию, связанную с конкретной технологией изготовления печатных плат. Структура документов серии IPC-2220 показана на рис. 2:

- IPC-2221A — стандарт по общим требованиям к конструированию печатных плат.
- IPC-2222 — конструирование жестких печатных плат из органических материалов.
- IPC-2223B — конструирование гибких печатных плат.
- IPC-2224 — конструирование печатных плат для карт стандарта РСМСІА.
- IPC-2225 — конструирование печатных плат для многокристалльных модулей.
- IPC-2226 — конструирование печатных плат высокой плотности.

В этой статье основное внимание уделяется стандарту IPC-2221A.

Стандарт IPC-2221A содержит общие сведения:

- о базовых материалах;
- об механических и физических свойствах;
- об электрических свойствах;
- об обеспечении теплового режима;
- о вопросах, относящихся к компонентам и сборке;
- об отверстиях и межсоединениях;
- об общих требованиях к элементам рисунка.

Ниже приводятся некоторые примеры из каждого раздела. И это лишь малая часть того, что отражено в стандарте IPC-2221A.

Таблица 2. Основные характеристики материалов

Характеристика	Материал					
	FR-4 Эпоксидная смола, стеклоткань типа E	Много- функциональная эпоксидная смола	Эпоксидная смола с улучшенными характеристиками	Бисфенолид триакин + эпоксидная смола	Полиимид	Циановый эфир
Диэлектрическая постоянная (чистый полимер)	3,9	3,5	3,4	2,9	3,5–3,7	2,8
Электрическая прочность, В/мм	$39,4 \times 10^3$	$51,2 \times 10^3$	$70,9 \times 10^3$	$47,2 \times 10^3$	$70,9 \times 10^3$	$65 \times 10^3$
Объемное сопротивление, МОм·см	$4,0 \times 10^6$	$3,8 \times 10^6$	$4,9 \times 10^6$	$4 \times 10^6$	$2,1 \times 10^6$	$1,0 \times 10^5$
Коэффициент абсорбции воды, % вес	1,3	0,1	0,3	1,3	0,5	0,8
Тангенс угла потерь	0,022	0,019	0,012	0,015	0,01	0,004

Таблица 3. Условия эксплуатации материалов

Условия эксплуатации	Материал					
	FR-4 Эпоксидная смола, стеклоткань типа E	Много- функциональная эпоксидная смола	Эпоксидная смола с улучшенными характеристиками	Бисфенолид триакин + эпоксидная смола	Полиимид	Циановый эфир
Тепловое расширение в горизонтальной плоскости, ppm/°C	16–19	14–18	14–18	≈15	8–18	≈15
Тепловое расширение по вертикали при температуре ниже температуры стеклования, ppm/°C	50–85	44–80	≈44	≈70	35–70	81
Температура стеклования, °C	110...140	130...160	165...190	175...200	220...280	180...260
Модуль упругости при изгибе, $\times 10^{10}$ Па						
в направлении поперечных нитей	1,86	1,86	1,93	2,07	2,69	2,07
в направлении продольных нитей	1,20	2,07	2,20	2,41	2,89	2,20
Предел прочности на разрыв, $\times 10^8$ Па						
в направлении поперечных нитей	4,13	4,13	4,13	3,93	4,82	3,45
в направлении продольных нитей	4,82	4,48	5,24	4,27	5,51	4,13

### Выбор материала

Конструктор печатной платы должен выбрать материал, из которого она будет изготовлена. При выборе базового материала конструктор сначала определяет, каким требованиям должна отвечать печатная плата. Эти требования включают: температуру пайки (для свинцовой или бессвинцовой технологии), температуру эксплуатации, электрические свойства, типы соединений (монтаж компонентов пайкой, разъемы), прочность конструкции и плотность трассировки. Все базовые материалы, используемые для печатных плат, имеют различные свойства (табл. 2 и 3).

### Особенности производства

Изготовление печатных плат на различных заводах мировой электронной промышленности происходит неодинаково. Существуют определенные ограничения, связанные с используемым при изготовлении печатных плат оборудованием, которые необходимо учитывать в целях достижения максимального выхода годных и снижения издержек. В таблице 4 приводятся некоторые технологические ограничения и их описание.

### Электрические параметры

Минимальная ширина и толщина проводников на готовой плате должна определяться, в первую очередь, исходя из требований

Таблица 4. Некоторые технологические ограничения и их описание

Технологические ограничения при конструировании	Описание
Соотношение площадка/отверстие: площадка примерно на 0,6 мм (0,024") больше, чем диаметр отверстия	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ Обеспечивает достаточную область, чтобы не допустить обрывов, то есть выхода отверстия за край площадки (недостаточный поясок).</li> <li>⊖ Большие площадки могут находиться в противоречии с требованиями к минимальным зазорам</li> </ul>
«Слезы» в области соединений проводников с площадками	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ Создают дополнительную область, предотвращающую обрывы.</li> <li>⊕ Могут увеличить надежность, препятствуя образованию трещин на границе площадки и проводника при вибрации и термоциклировании.</li> <li>⊖ Могут находиться в противоречии с требованиями к минимальным зазорам</li> </ul>
Толщина платы: от 0,8 до 2,4 мм (от 0,031 до 0,0945") (с учетом меди)	<ul style="list-style-type: none"> <li>⦿ Более тонкие платы имеют тенденцию к короблению и требуют больше внимания при монтаже компонентов в отверстия. Более толстые платы отличаются низким процентом выхода годных из-за необходимости совмещения слоев. Выводы некоторых компонентов недостаточно длинные для монтажа в отверстия на более толстых платах</li> </ul>
Отношение толщины платы к диаметру металлизированных отверстий: предпочтительным является отношение ≤5:1	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ Меньшие отношения обеспечивают большую однородность металлизации отверстий, облегчают их очистку и снижают изгиб сверла.</li> <li>⊖ Большие отверстия менее подвержены разрыву металлизированных стенок</li> </ul>
Симметрия по толщине печатной платы: верхняя половина должна быть зеркальным отражением нижней для получения сбалансированной конструкции	<ul style="list-style-type: none"> <li>⦿ Асимметричные платы имеют тенденцию к короблению.</li> <li>⦿ На симметрию платы влияет расположение областей металлизации общей шины и питания, ориентация сигнальных проводников и направление нитей ткани армирования.</li> <li>⊖ Крупные области металлизации также должны быть распределены по поверхности платы с целью снижения ее коробления</li> </ul>
Размер платы	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ Маленькие платы обладают меньшей склонностью к короблению и обеспечивают лучшее совмещение слоев.</li> <li>⊖ При работе с большими панелями, имеющими мелкие элементы, следует рассмотреть возможность приклеивания фольги и применения незакрепленных жестко слоев.</li> <li>⦿ Применение групповых панелей определяет стоимость</li> </ul>
Зазор между проводниками (≤0,1 мм (≤0,0039"))	<ul style="list-style-type: none"> <li>⦿ В меньших зазорах травители циркулируют неэффективно, что приводит к неполному удалению металла</li> </ul>
Элементы рисунка (ширина проводников) ≤0,1 мм (≤0,0039")	<ul style="list-style-type: none"> <li>⦿ Элементы меньших размеров более чувствительны к обрывам и повреждениям при травлении</li> </ul>

Преимущества (⊕), недостатки (⊖), последствия неисполнения ограничений (⦿), комментарии (⦿)



Рис. 3. Графики токовой нагрузки и максимально допустимого перегрева проводника

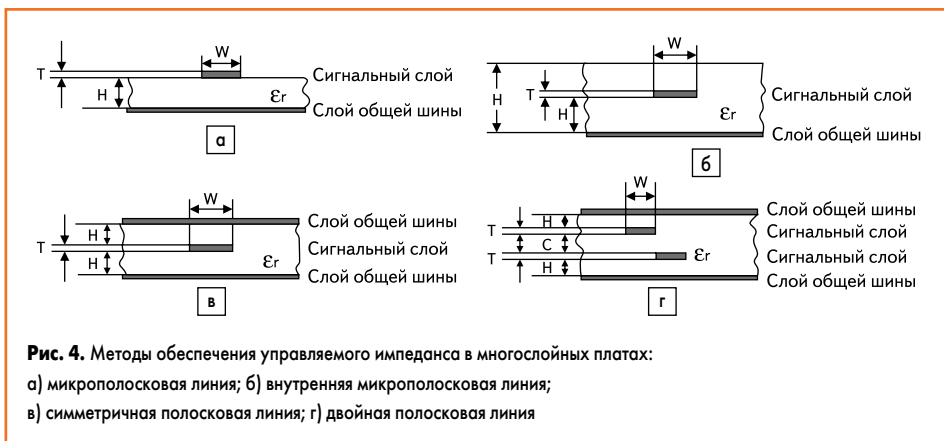


Рис. 4. Методы обеспечения управляемого импеданса в многослойных платах:  
 а) микрополосковая линия; б) внутренняя микрополосковая линия;  
 в) симметричная полосковая линия; г) двойная полосковая линия

к допустимой токовой нагрузке и максимально допустимому перегреву проводника. Минимальные толщина и ширина проводников должны соответствовать графикам, приведенным на рис. 3.

Управляемый импеданс в многослойных платах может обеспечиваться с помощью двух распространенных методов, известных как «полосковая линия» или «встроенный микрополосок». Эти методы особенно хорошо подходят для обеспечения требований к импедансу и емкости (рис. 4).

**Требования к контактным площадкам и пояском отверстий**

Все контактные площадки и пояски отверстий должны быть по возможности максимального размера. Чтобы соответствовать требованиям, предъявляемым к пояском отверстий, с помощью приведенных ниже соотношений следует определить минимальные размеры контактной площадки, окружающей металлизированное или неметаллизированное отверстие. В наихудшем случае соотношение размеров отверстия и площадки должно соответствовать формуле:

$$\text{Минимальный размер площадки} = a + 2b + c,$$

где *a* — максимальный диаметр готового отверстия (для внешних слоев используется максимальный диаметр готового отверстия, для внутренних — диаметр отверстия после сверления). *b* — минимальный требуемый поясок. (В расчете следует учитывать подтрав. Подтрав, когда он имеет место, уменьшает область изоляционного материала, на которую опирается внутренняя часть площадки. Минимальный поясок, применяемый в конструкции, не должен быть меньше, чем максимальный допустимый подтрав.) *c* — стандартное производственное отклонение, приведенное в таблице 5 и учитывающее применяемые инструменты и изменения параметров процесса при производстве печатных плат. (Для получения информации по дополнительным производственным отклонениям обратитесь к специализированным стандартам по конструированию.)

Минимальный поясок на внешнем слое определяется минимальным размером медной области (в самом узком месте) между краем отверстия и краем площадки после металлизации отверстия (рис. 5).

Кроме выполнения правил конструирования, описанных в стандартах серии IPC-2220, очень важно использовать правильную геометрию контактных площадок, предназначенных для поверхностного монтажа компонентов. Информация, приведенная в стандарте IPC-7351A

Таблица 5. Минимальные стандартные производственные отклонения для контактных площадок межслойной коммутации

Уровень плотности А	Уровень плотности В	Уровень плотности С
0,4 мм (0,016")	0,25 мм (0,00984")	0,2 мм (0,0079")

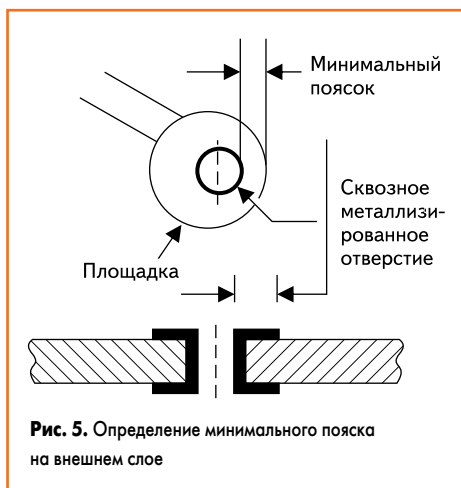


Рис. 5. Определение минимального пояса на внешнем слое

(общие требования к конструкциям и контактным площадкам для поверхностного монтажа), имеет целью предоставить подходящие размеры, форму и допуски контактных площадок для поверхностного монтажа, чтобы обеспечить достаточную площадь для формирования галтели, удовлетворяющей требованиям процессов монтажа и пайки печатных плат, а также сделать возможным контроль, тестирование и ремонт этих паяных соединений.

Стандарт IPC-7351A определяет три уровня технологичности конструкции, которые относятся к элементам рисунка, допускам, измерениям, монтажу, контролю по завершении производственного процесса:

- Уровень плотности А: конструкция общего уровня — предпочтительна (рис. 6а).
- Уровень плотности В: конструкция среднего уровня — стандарт (рис. 6б).

- Уровень плотности С: конструкция повышенной плотности — размеры уменьшены (рис. 6в).

Другим важным фактором является определение размеров монтажной зоны компонента — это минимальная площадь, обеспечивающая минимальный электрический и механический зазор как между максимальными габаритами самих компонентов, так и между максимальными габаритами групп их контактных площадок (рис. 7).

Чтобы определить правильное посадочное место компонента, необходимо принять в расчет следующие параметры:

- Производственные допуски следует учитывать уже на стадии проектирования изделия.
- Монтажная зона представляет собой исходную величину для определения минимальной площади, необходимой для размещения компонента и группы контактных площадок.
- При определении дополнительной площади компонента, необходимой для выполнения установки, тестирования, доработок и ремонта, должны оказать помощь специалисты по производству, монтажу и тестированию.

Данный стандарт IPC, задающий размеры групп контактных площадок, включает в себя специальное программное обеспечение — Land Pattern Viewer, которое может оказаться очень полезным при применении рекомендованных IPC размеров контактных площадок.

*Продолжение следует*

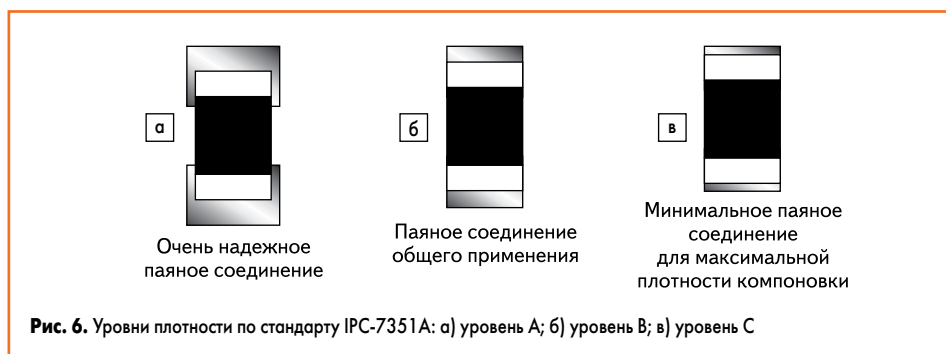


Рис. 6. Уровни плотности по стандарту IPC-7351A: а) уровень А; б) уровень В; в) уровень С

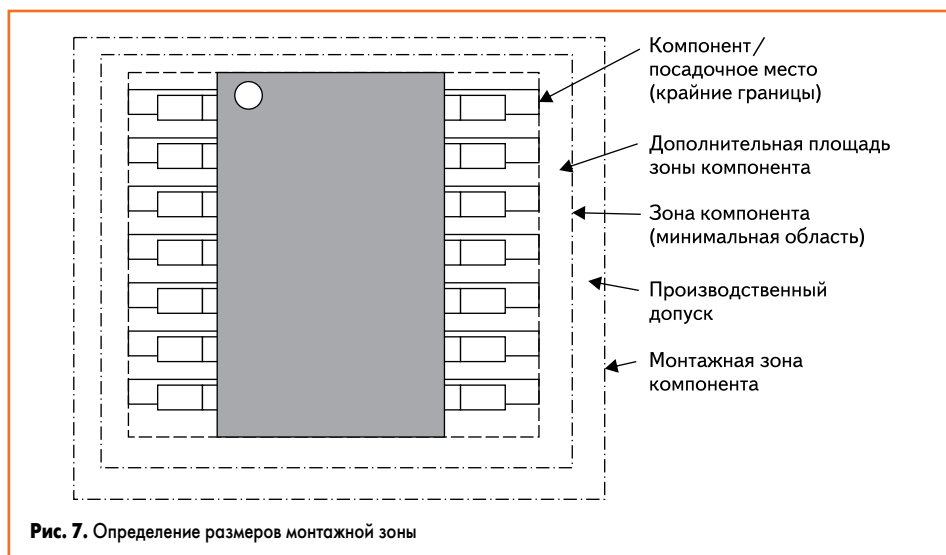


Рис. 7. Определение размеров монтажной зоны