

4.1.3 ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С МОНТАЖОМ НА ПОВЕРХНОСТЬ

4.1.3.1. Проектирование контактных площадок, печатных проводников

4.1.3.2. Допустимые расстояния между компонентами

4.1.3.3. Элементы тест-контроля и внешнего подключения на печатных платах с монтажом на поверхность

4.1.3.4. Рекомендации по проектированию трафаретов

4.1.3.1. Проектирование контактных площадок, печатных проводников

Одним из основных моментов при разработке топологии является проектирование контактных площадок. Выбор размеров и формы контактных площадок, не отвечающих определенным требованиям, может привести к различным дефектам.

Нормативные требования к контактным площадкам наиболее подробно изложены в международных стандартах

- **IPC-SM-782A. Контактные площадки при поверхностном монтаже (Конфигурация и правила конструирования)**
- **IPC-7351. Общие требования по конструированию контактных площадок и печатных плат с применением технологии поверхностного монтажа.**

К сожалению, отечественная нормативная база в этом направлении представлена руководящими указаниями отдельных предприятий. Наиболее значимыми являются материалы, подготовленные фирмой ОСТЕК:

- ***Рекомендации по конструированию печатных узлов. – М.: ЗАО Предприятие ОСТЕК, 2008. – 276 с.***
- ***Введение в технологию поверхностного монтажа. – М.: ЗАО Предприятие ОСТЕК, 2008. – 286 с.***

Комитеты по стандартизации

- **IPC** - Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits - Институт печатного монтажа (США)
- **ГОСТ** - Государственные общероссийские стандарты (Россия)
- **EIA** - Electronic Industries Association - Ассоциация электронной промышленности (США)
- **J-STD** - Joint Industry Standards - Совместные промышленные стандарты EIA и IPC
- **JEDEC** - Joint Electron Devices Engineering Council of the EIA - Объединенный технический совет по электронным приборам EIA (США)
- **MIL** - Military - Военные стандарты (США)
- **DoD** - Department of Defense - Стандарты министерства обороны (США)

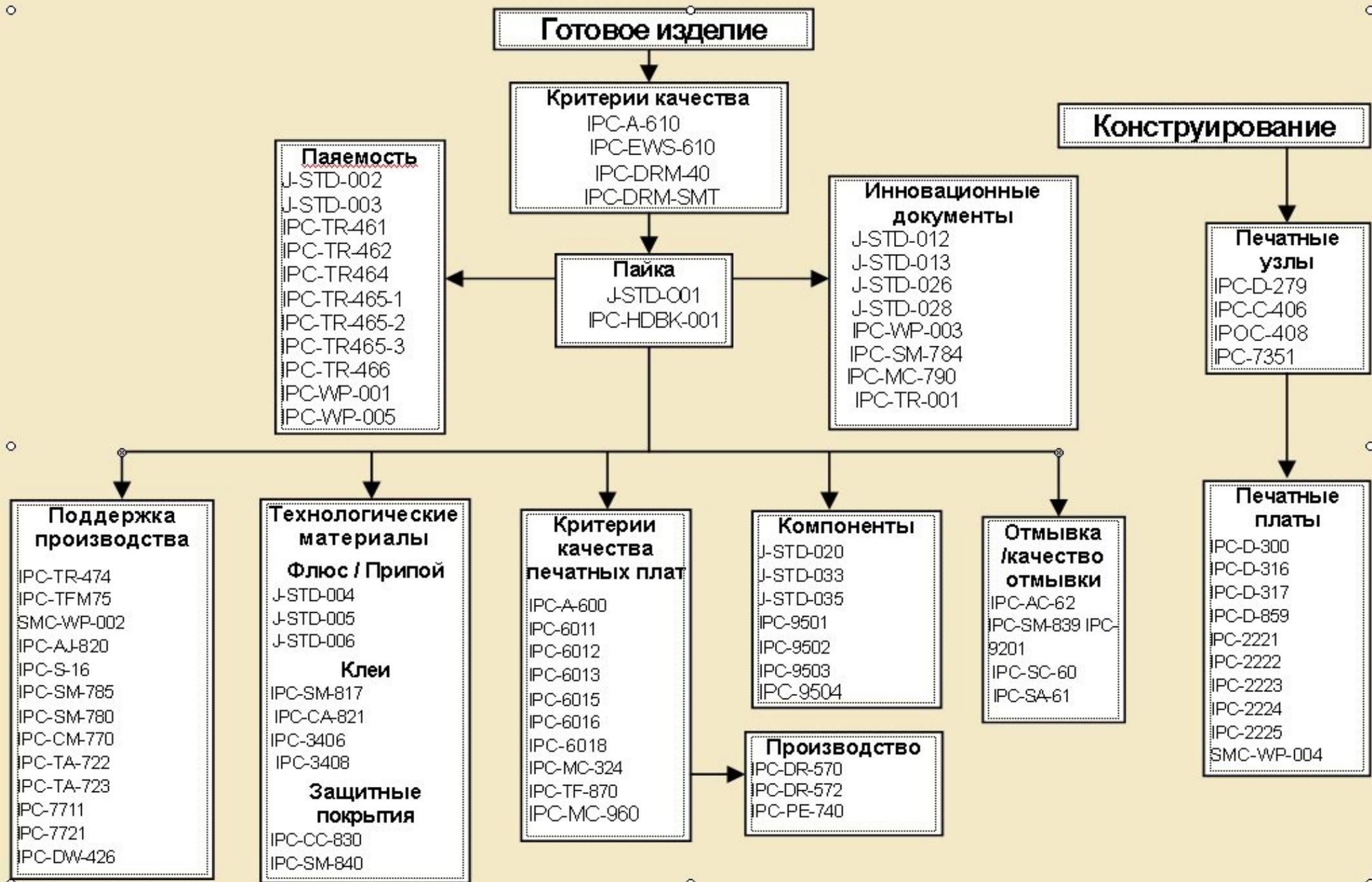
Основными стандартами на изготовление и контроль печатных плат и электронных блоков считаются международные стандарты IPC. В настоящее время IPC выпускает свыше 300 руководств и стандартов.

О стандартах IPC

IPC (The Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits) – международная ассоциация производителей электроники, созданная в 1957 г. В настоящее время IPC объединяет свыше 2200 предприятий из 49 стран, занимающихся проектированием, изготовлением и сборкой печатных плат, производством оборудования, материалов и компонентов. Российская сторона представлена в ассоциации ЗАО Предприятие ОСТЕК.

- Стандарты постоянно обновляются и совершенствуются. Большинство из них дает исчерпывающий ответ на освещаемый вопрос благодаря наличию большого количества иллюстраций, в том числе и цветных. Так, стандарт IPC-A-610D "Критерии качества электронных сборок" изложен на 400-х страницах и содержит 732 цветных фотографии и иллюстрации.
- Стандарты IPC носят рекомендательный характер. В соответствии со статьей №184-ФЗ от 27.12.02 "О техническом регулировании" стандартизация осуществляется в соответствии с принципами добровольного применения стандартов. Данный закон не запрещает применение международных стандартов и одновременно рекомендует их применение в качестве основы для разработки национальных стандартов и СТП.
- **Имеющиеся на кафедре КиПР стандарты:**
IPC-A-610D "Критерии качества электронных сборок"
IPC-782A "Проектирование контактных площадок для поверхностно-монтируемых компонентов"

Карта выбора стандартов IPC



Основные международные стандарты по конструированию ПП

Все типы печатных плат (ПП) разрабатываются в соответствии с требованиями международных стандартов серии IPC-2220:

- **IPC-2221A** Общий стандарт по конструированию печатных плат (Generic standard on printed board design)
- **IPC-2222** Конструирование жестких печатных плат из материалов на органической основе (Rigid organic printed board structure design)
- **IPC-2223** Конструирование гибких печатных плат (Flexible printed board structure design)
- **IPC-2224** Конструирование ПП формата «PC card» на органической основе (Organic, PC card format, printed board structure design)
- **IPC-2225** Конструирование ПП формата «MCM-L» на органической основе (Organic, MCM-L, printed board structure design)
- **IPC-2226** Конструирование структур с высокой внутренней плотностью соединений (High Density Interconnect (HDI) structure design)
- **IPC-2227** Конструирование ПП встраиваемых пассивных приборов (в разработке) (Embedded Passive Devices printed board design (In Process))

Основные международные стандарты по конструированию ПП

IPC/EIA J-STD-001D	Требования к пайке электрических и электронных сборок
IPC/EIA J-STD-012	Конструкция и технология применения компонентов в корпусах Flip Chip и Chip Scale
IPC/EIA J-STD-013	Конструкция и технология применения компонентов BGA и в других корпусах с высокой плотностью размещения выводов
IPC/EIA J-STD-026	Стандарт по конструированию полупроводниковых Flip Chip компонентов
IPC/EIA J-STD-027	Стандарт. Основные положения по механическим характеристикам Flip Chip и CSP компонентов
IPC/EIA J-STD-028	Стандарт по конструкции выводов для Flip Chip и Chip Scale компонентов
IPC/EIA J-STD-032	Стандарт по конструкции шариковых выводов для компонентов BGA
IPC/E1A/JEDEC J-	Тесты на паяемость выводов компонентов, контактных поверхностей и проводов STD-002B
IPC/EIA/J E D EC J -	Тесты на паяемость печатных плат STD-003A
IPC/JEDEC J-STD-	Классификация чувствительности к влажности / пайке для негерметичных твердотельных компонентов поверхностного монтажа

Российские стандарты

по проектированию печатных плат

- **ГОСТ 10317-79** «Платы печатные. Основные размеры».
- **ГОСТ 2.417-91** «Единая система конструкторской документации. Платы печатные. Правила выполнения чертежей».
- **ГОСТ 20406-75** «Платы печатные. Термины и определения».
- **ГОСТ 23661-79** «Платы печатные многослойные. Требования к типовому технологическому процессу прессования».
- **ГОСТ 23662-79** «Платы печатные. Получение заготовок, фиксирующих и технологических отверстий. Требования к типовым технологическим процессам».
- **ГОСТ 23664-79** «Платы печатные. Получение монтажных и подлежащих металлизации отверстий. Требования к типовым технологическим процессам».
- **ГОСТ 23665-79** «Платы печатные. Обработка контура. Требования к типовым технологическим процессам».
- **ГОСТ 23751-86** «Платы печатные. Основные параметры конструкции».
- **ГОСТ Р 53429-2009** «Платы печатные. Основные параметры конструкции»
- **ГОСТ 23752-79** «Платы печатные. Общие технические условия».
- **ГОСТ 23752.1-92** «Платы печатные. Методы испытаний».
- **ГОСТ 29137-91** «Формовка выводов и установка изделий электронной техники на печатные платы. Общие требования и нормы конструирования».
- **ГОСТ Р 50621-93** «Платы печатные одно- и двусторонние с неметаллизированными отверстиями. Общие технические требования».
- **ГОСТ Р 50622-93** «Платы печатные двусторонние с металлизированными отверстиями. Общие технические требования».
- **ГОСТ Р 51040-97** «Платы печатные. Шаги координатной сетки».

Термины и определения по монтажу и конструированию электронных сборок, соответствующие международному стандарту IPC-T-50

- **Базовое отверстие**, фиксирующее отверстие — элемент конструкции печатной платы, который обеспечивает необходимую точность позиционирования печатной платы на технологическом оборудовании.
- **Вывод ИЭТ** (англ. pin) — элемент конструкции корпуса ИЭТ, предназначенный для соединения соответствующего электрода с внешней электрической цепью.
- **Групповая заготовка**, мультиплицированная плата (англ. multiboard, panel) — мультиплата, панель, проектируемая для удобства автоматизированной сборки ПУ и состоящая из нескольких единичных ПП, разграниченных между собой линиями скрайбирования и/или перфорацией. Принципиальное отличие групповой заготовки и мультиплицированной платы заключается в том, что мультиплицированная плата состоит из нескольких однотипных ПП, а групповая заготовка может объединять разные по конструкции типы ПП.
- **Изделие электронной техники**, ИЭТ, электрорадиоэлемент, ЭРЭ (англ. component) — комплектующее изделие, представляющее собой функциональный прибор или устройство, изменяющее электрические параметры цепи и предназначенное для применения в качестве элемента электрической схемы электронного устройства.
- **Изделие электронной техники монтируемые в отверстия**, ИМО, выводной, навесной, штырьковый, штыревой компонент (англ. through-hole component) — выводное ИЭТ, конструкция которого обеспечивает установку в монтажные отверстия печатной платы.

Термины и определения по монтажу и конструированию электронных сборок, соответствующие международному стандарту IPC-T-50

Контактная площадка, (КП) — площадка на печатной плате, используемая для присоединения ПМИ или ИМО.

Контактная поверхность корпуса, (ПМИ) (англ. terminal, termination) — металлизированная часть корпуса безвыводных ПМИ (чип-компонентов), предназначенная для соединения соответствующего электрода с внешней электрической цепью.

Координатная сетка — это ортогональная сетка, состоящая из параллельных равноудаленных линий, предназначенных для размещения соединений на ПП.

Малый шаг выводов ЭРЭ (англ. fine pitch) — шаг выводов ПМИ меньше, чем 0,6 мм (например, 0,5 мм или 0,4 мм).

Место монтажа (англ. land pattern) — группа контактных площадок с единым геометрическим центром установки, предназначенных для электрического соединения выводов или контактных поверхностей одного ПМИ. **Паяльная маска** (англ. solder mask) — защитное покрытие печатной платы, предназначенное для защиты печатных проводников от попадания припоя во время пайки.

Печатный модуль — совокупность нескольких ПУ, входящих в состав не разделенной групповой заготовки.

Печатная плата, (ПП) (англ. printed circuit board, PCB) — диэлектрическая подложка для монтажа ЭРЭ с нанесёнными на ней определённым образом рисунком печатных проводников и контактными площадками, а также маркировкой, реперными знаками, переходными и/или монтажными отверстиями, покрытая или не покрытая паяльной маской.

Шаг координатной сетки

ГОСТ Р 51040—97

Узел координатной сетки — пересечение двух линий координатной сетки.

4 ОСНОВНЫЕ ШАГИ КООРДИНАТНОЙ СЕТКИ

4.1 Для размещения соединений на печатной плате должна применяться координатная сетка с номинальным шагом 0,50 мм в обоих направлениях.

4.2 Если координатная сетка с номинальным шагом 0,50 мм не удовлетворяет требованиям конкретной конструкции, то должна применяться координатная сетка с номинальным шагом 0,05 мм.

4.3 Для конкретных конструкций, использующих элементную базу с шагом 0,625 мм, допускается применение шага координатной сетки 0,625 мм.

5 ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЙ ШАГ КООРДИНАТНОЙ СЕТКИ

5.1 При необходимости применения координатной сетки с шагом, отличным от основных, шаг ее должен быть кратным основным шагам координатной сетки.

Кратный шаг определяется умножением основного шага сетки на модуль n , который составляет целое число 1, 2, 3...

5.2 Предпочтительные модули для координатных сеток с шагом 0,50; 0,05 мм и соответствующие им значения кратных шагов координатной сетки приведены в таблице 1.

Таблица 1

В миллиметрах		
Основной шаг координатной сетки	Предпочтительный модуль n	Предпочтительный шаг координатной сетки
0,05	5	0,25
	10	0,50
	15	0,75
	20	1,00
	25	1,25
0,50	1	0,50
	2	1,00
	5	2,50
	6	3,00
	10	5,00

Термины и определения по монтажу и конструированию электронных сборок, соответствующие международному стандарту IPC-T-50

Печатный проводник — одна проводящая полоска или один элемент в проводящем рисунке ПП.

Печатный узел, (ПУ) (англ. printed board assembly) — печатная плата с подсоединёнными (прикреплёнными) к ней электрическими и механическими элементами и/или другими печатными платами и со всеми выполненными процессами обработки (по ГОСТ 20406-75).

Поверхностный монтаж (ПМ) (surface mounting) — электромонтаж ПМИ на поверхность печатной платы с распайкой выводов или контактных поверхностей к контактными площадкам платы без использования монтажных отверстий.

Поверхностно-монтируемое изделие, (ПМИ) (англ. SMD) — малогабаритное выводное или безвыводное ИЭТ, которое может быть присоединено к печатной плате посредством технологии поверхностного монтажа.

Проводящий рисунок ПП — рисунок ПП, образованный проводниковым материалом.

Резистивная маска, защитная маска, паяльная маска, паяльный резист (англ. solder mask) — термостойкое покрытие, наносимое избирательно для защиты отдельных участков печатной платы в процессе групповой пайки.

Реперный знак, репер (англ. fiducial mark) — элемент проводящего рисунка печатной платы, который создаётся в одном технологическом процессе с контактными площадками, и используется для базирования печатной платы на автоматизированном технологическом оборудовании.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ ПП

- Конструирование ПП выполняется в соответствии с требованиями, предъявляемыми к конечному изделию — прибору, и условно делится по назначению (как и сами изделия) на три класса (международная классификация):
 - **Класс 1 — ПП и ПУ в изделиях общего назначения (Бытовая электроника)**
 - Включают потребительские изделия, такие, как компьютеры и компьютерную периферию, применяемые там, где косметические дефекты не имеют значения, а главным требованием является функционирование готового изделия электроники.
 - **Класс 2 — ПП и ПУ в изделиях промышленной электроники** Включают коммуникационное оборудование, сложную профессиональную аппаратуру и приборы, от которых требуется высокая производительность и увеличенный срок службы, и для которых бесперебойная работа желательна, но не является предельно важной. Допустимы определенные косметические дефекты.
 - **Класс 3 — ПП и ПУ в высококачественных электронных изделиях (Спецтехника)**
 - Включают оборудование и изделия, для которых особую важность имеет бесперебойное функционирование. Простой оборудования неприемлем, оборудование должно задействоваться незамедлительно; например, в системах жизнеобеспечения, авиационной, космической или военной технике. Электронные изделия этого класса применяются для решения задач, где требуются высокие уровни надежности, функционирование является самым главным, а условия работы могут быть чрезвычайно суровыми.

Предельные условия эксплуатации конечных изделий разных категорий

(согласно требованиям международного стандарта IEC-7351)

Категория конечного изделия	Температурный диапазон, °C		Предельные условия эксплуатации						
	хранение	эксплуатация	T _{min} , °C	T _{max} , °C	ΔT, °C	T _D , час	Циклов в год	Срок службы, лет	Вероятность отказа, %
Товары широкого потребления	-40/+85	0/+55	0/+32	+60/+140	35/63	12	365	1-3	1
Компьютерная техника	-40/+85	0/+55	0/+32	+60/+140	20/36	2	1460	5	0,1
Телекоммуникационное оборудование	-40/+85	-40/+85	-40/-40	+85/+185	35/63	12	365	7-20	0,01
Для гражданской авиации	-40/+85	-40/+85	-55/-67	+95/+203	20/36	12	365	20	0,001
Промышленная электроника	-55/+150	-40/+85	-55/-67	+95/+203	20/36	12	185	10-15	0,1
Военная техника (наземного и морского базирования)	-40/+85	-40/+85	-55/-67	+95/+203	40/72 и 60/108	12 12	100 265	10-20	0,1
Космическая техника LEO GEO	-40/+85	-40/+85	-55/-67	+95/+203	от 3/5,4 до 100/180	1 12	8750 365	5-30	0,001
Военная авиационная техника a b c	-55/+125	-40/+85	-55/-67	+125/+257	40/72 60/108 80/144	2 2 2	100 100 65	10-20	0,01
Автомобильная электроника	-55/+150	-40/+125	-55/-67	+125/+257	60/108	1	1000	10-15	0,1

Конструкторские требования к топологии печатной платы для SMD монтажа

- 1.1. Предпочтительны **печатные платы**, на которых SMD компоненты находятся на одной (верхней) стороне платы.
- 1.2. Наличие паяльной маски на печатной плате обязательно.
- 1.3. Наличие паяльной маски между выводами SMD микросхем обязательно.
- 1.4. На площадках пайки SMD компонентов не должно быть переходных отверстий.
- 1.5. Под SMD компонентом не должно быть переходных отверстий или проводников, не закрытых паяльной маской.
- 1.6. Переходные отверстия желательно закрывать паяльной маской, а переходные отверстия, касающиеся контактных площадок - в обязательном порядке.
- 1.7. Массивные (габаритные) SMD компоненты необходимо размещать на верхней стороне печатной платы.
- 1.8. Резисторы и конденсаторы желательно располагать не ближе 2 мм от выводов SMD микросхем.

Конструкторские требования к топологии печатной платы для SMD монтажа

1.9. Все перемычки между ножками SMD микросхемы должны находиться вне места пайки:



1.10. Площадки SMD компонентов, находящиеся на больших полигонах (экранах), должны быть отделены от полигона перемычками:



1.11. Маркировка не должна пересекать (касаться) площадок пайки.

1.12. На маркировке должна быть указана ориентация полярных компонентов и микросхем.

1.13. Для плат с двухсторонним SMD монтажом маркировку желательно делать на обеих сторонах платы.

Требования к проводникам

- Уменьшение расстояния между выводами до 0,3 – 0,5 мм вызывает необходимость уменьшить ширину проводников и зазоров между ними до величины 0,1 мм (с учетом возможности прокладки дополнительных трасс между контактными площадками), что соответствует 5 классу точности печатных плат по **ГОСТ Р 53429-2009**
- Увеличение ширины проводника свыше 0,2 мм во многих случаях нежелательно, так как это может привести к стеканию на проводник значительной части припоя от выводов компонента при групповой пайке и к непропайке соединения.
- При назначении ширины проводников и зазоров между ними следует учитывать величины предельно допустимого тока через проводник и напряжения, прикладываемаемого между двумя соседними элементами проводящего рисунка. Величина допустимого рабочего напряжения не должна превышать 25 В при расстоянии между элементами проводящего рисунка от 0,1 до 0,2 мм, 50 В – при расстоянии от 0,2 до 0,3 мм, 100 В – при расстоянии от 0,3 до 0,4 мм.

Требования к проводникам

Плотность электрического тока в печатном проводнике не должна превышать 30 А/мм².

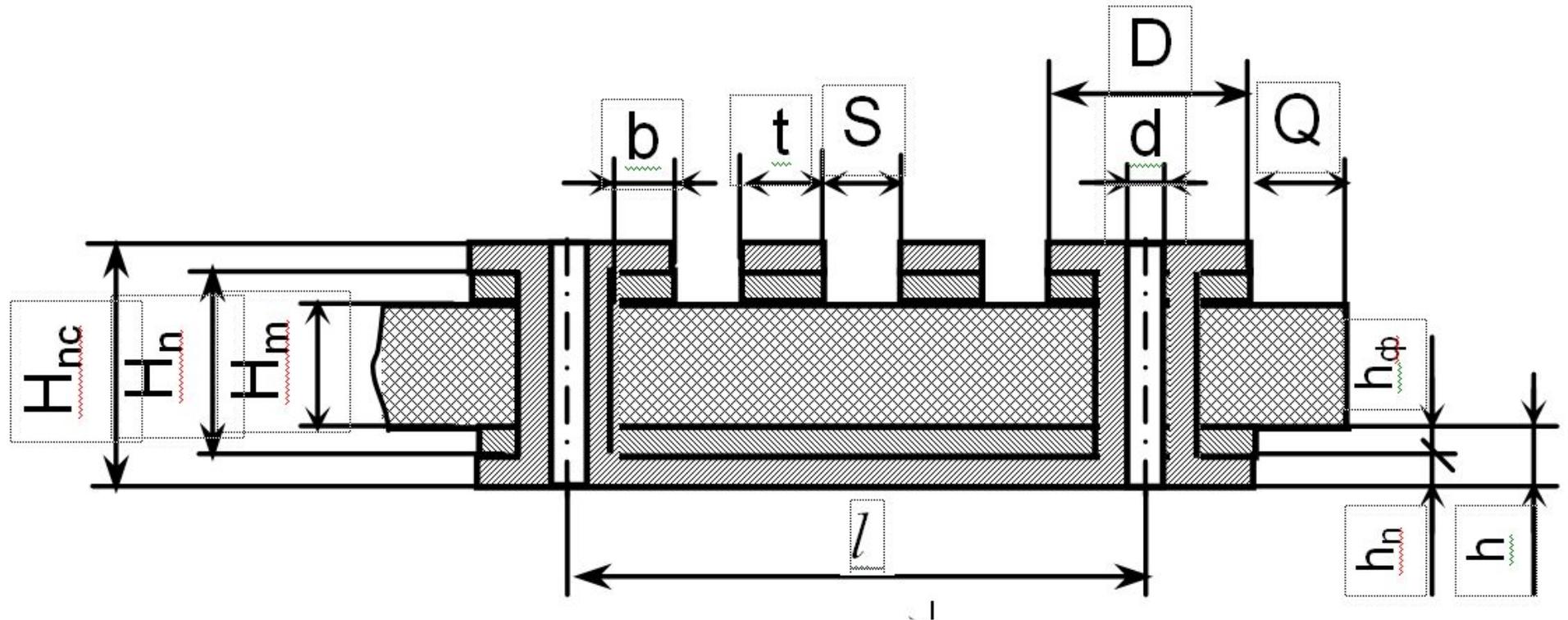
Сечение печатного проводника определяется как произведение его ширины на толщину. Толщина проводника равна толщине фольги (при химических методах изготовления печатной платы) или же сумме толщин фольги и слоя гальванической меди при комбинированных методах изготовления. Ширина проводника выбирается в соответствии с табл. 3.1.

Толщина фольги (проводника), мкм	Метод изготовления	Ширина проводника, мм				
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
35	Химический	0,07	0,15	0,21	0,28	0,35
50	То же	0,1	0,20	0,30	0,40	0,50
35 (80)	Комбинированный	0,16	0,32	0,48	0,64	0,80
50 (95)	То же	0,19	0,38	0,57	0,76	0,95

Технологические допуски при изготовлении печатных узлов

- **погрешности изготовления оригинала фотошаблона** (изменение геометрических размеров фотошаблона из-за температурных воздействий, старения материала, несовершенства используемых при изготовлении оптических систем и т.д.). Как правило, эти погрешности не превышают 0,006 - 0,01 мм;
 - **погрешности за счет материала коммутационной платы.** Связаны с изменением геометрических размеров платы из-за непостоянства технологических температур. Так, изменение температуры на пять градусов приведет к изменению геометрических размеров платы на основе стеклотекстолита с размерами стороны 300 мм на 0,02 мм
 - **погрешности, связанные с обработкой коммутационной платы.**
Для плат, изготавливаемых фотоспособом с механическим сверлением отверстий, отклонение расположения элементов печатного монтажа и их размеров не должно превышать 0,02 – 0,05 мм;
 - **погрешности, вносимые сборочными автоматами.** Точность установки компонента, в зависимости от фирмы изготовителя автомата, способа базирования и контроля, находится в пределах от 0,02 мм до 0,2 мм
- Суммарный технологический допуск, не должен превышать для большинства плат величины 0,2 – 0,4 мм

Параметры печатной платы



H_n - толщина печатной платы; H_m - толщина основания печатной платы; h_{ϕ} - толщина фольги; h - толщина проводящего рисунка; h_n - толщина химико-гальванического покрытия; b - гарантийный поясок контактной площадки; d - диаметр отверстия; D - диаметр контактной площадки; t - ширина печатного проводника; S - расстояние между краями соседних элементов проводящего рисунка; Q - расстояние от края платы, выреза, паза до элемента проводящего рисунка; l - расстояние между центрами отверстий.

Классы точности печатных плат (по ГОСТ Р53429-2009)

Наименование параметра	Наименьшие номинальные значения размеров элементов проводящего рисунка для класса точности						
	1	2	3	4	5	6	7
Ширина проводника	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10	0,075	0,050
Расстояние между проводниками	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10	0,075	0,050
Гарантийный поясок контактной площадки	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025	0,020	0,015

Классы точности печатных плат (по ГОСТ Р53429-2009)

Диаметр отверстия	Наличие металлизации	Предельное отклонение диаметра отверстия для класса точности						
		1	2	3	4	5	6	7
До 0,3	Без металлизации	-	-	-	±0,02	±0,02	±0,02	±0,02
включ.	С металлизацией	-	-	-	-0,03	-0,03	-0,02	-0,02
	без оплавления				-0,07	-0,07	-0,06	-0,06
	С металлизацией и с оплавлением	-	-	-	-	-	-	-
Св. 0,3 до 1,0	Без металлизации	±0,10	±0,10	±0,05	±0,05	±0,05	±0,025	±0,02
включ.	С металлизацией	+0,05	+ 0,05	+0	+0	+ 0	-0,025	-0,02
	без оплавления	-0,15	-0,15	-0,10	-0,10	-0,10	-0,075	-0,05
	С металлизацией и	+0,05	+ 0,05	+0	+0	+0	-	-
	с оплавлением	-0,18	-0,18	-0,13	-0,13	-0,13		
Св. 1,0	Без металлизации	±0,15	±0,15	±0,10	±0,10	±0,10	±0,05	±0,03
	С металлизацией	+0,10	+0,10	+0,05	+0,05	+0,05	+0	-0,02
	без оплавления	-0,20	-0,20	-0,15	-0,15	-0,15	-0,10	-0,08
	С металлизацией и	+0,10	+0,10	+0,05	+0,05	+0,05	-	-
	с оплавлением	-0,23	-0,23	-0,18	-0,18	-0,18		

Определение диаметров монтажных, переходных и крепежных отверстий

Диаметр монтажного отверстия зависит от диаметра вывода элемента, необходимого монтажного зазора, обеспечивающего возможность автоматизации сборки и затекание припоя внутрь отверстия при пайке, наличия металлизации:

$$d = d_э + r + |\Delta d_{но}|$$

где $d_э$ - диаметр вывода навесного элемента;

r - разность между минимальным значением диаметра отверстия и максимальным значением диаметра вывода элемента (значение параметра должно находиться в пределах от 0,1 до 0,4 мм);

$\Delta d_{но}$ - нижнее предельное отклонение номинального значения диаметра отверстия (см. таблицу на предыдущем слайде).

Предпочтительные размеры монтажных отверстий выбирают из ряда 0,4(0,5); 0,6(0,7); 0,8(0,9); 1,0(1,2); 1,3; 1,5, при этом количество выбранных диаметров не должно превышать трех.

Переходные отверстия должны иметь малое сопротивление, а для получения высокой плотности печатного рисунка - и малые размеры. Однако при малом диаметре отверстий и большой толщине плат трудно обеспечить хорошее качество металлизации, поэтому минимальный диаметр переходного отверстия выбирают из условия:

$$d \geq \gamma h$$

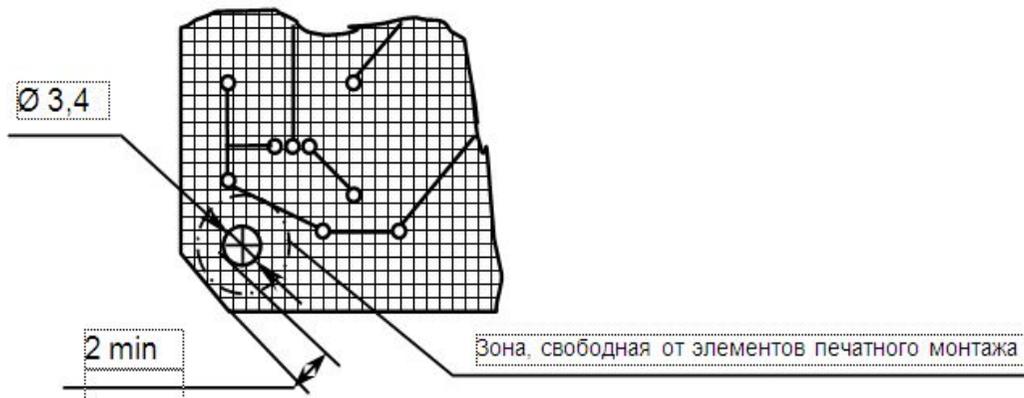
где h - толщина платы, мм;

γ - отношение номинального значения диаметра металлизированного отверстия к толщине платы (выбирается по таблице 3.5 в зависимости от класса точности. Это отношение лежит в пределах от 0,2 для 5 класса точности до 0,4 для 1 и 2 класса точности печатной платы).

Определение диаметров монтажных, переходных и крепежных отверстий

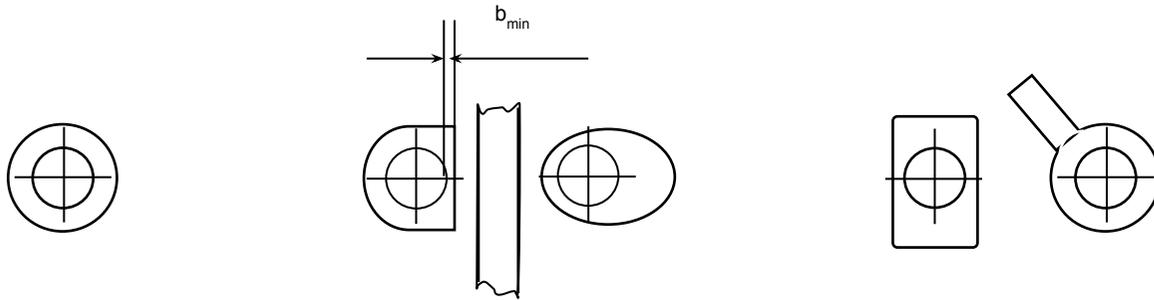
Крепежные отверстия располагаются, как правило, по углам (периметру) печатной платы. При выборе диаметров этих отверстий необходимо обеспечить свободную установку крепежных элементов как на плате, так и на шасси. Так, например, для назначаемых обычно отклонениях межцентрового расстояния $\pm (0,1 \dots 0,2)$ мм для наихудшего случая разница присоединительных размеров платы и шасси составляет величину до 0,4 мм, что требует назначения номинального диаметра крепежного отверстия для винтов М3 не менее 3,4 мм.

При этом следует также определить возможную зону расположения крепежных отверстий. Частой ошибкой является расположение их близко к краю ПП, что механически ослабляет угол платы. Следует выдержать расстояние от края отверстия до края печатной платы не менее 2 мм. В зоне расположения головки винта и шайбы не должны располагаться выводы элементов, контактные площадки и печатные проводники



Определение диаметров монтажных, переходных и крепежных отверстий

Контактные площадки могут иметь произвольную форму, однако предпочтительной является круглая форма. Для обеспечения лучшей трассировки допускается подрезание краев контактной площадки до минимально допустимого гарантийного пояса или развитие в свободную сторону. Контактная площадка, предназначенная для установки первого вывода многовыводного элемента, должна иметь форму, отличную от остальных (например, иметь "усик" или быть квадратной или прямоугольной формы).



Диаметр круглой контактной площадки можно определить по формуле:

$$d_k = d + \Delta d_{\text{до}} + 2b + c,$$

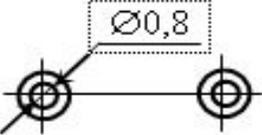
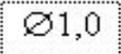
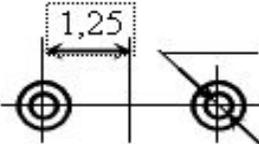
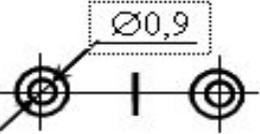
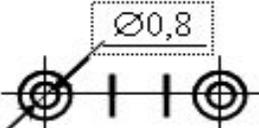
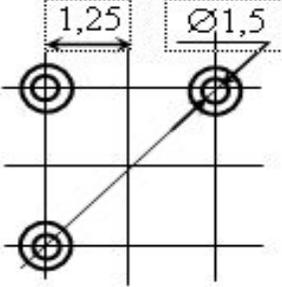
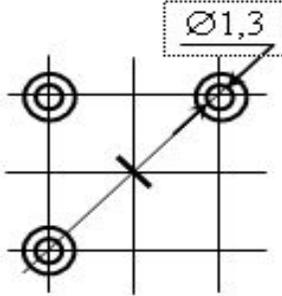
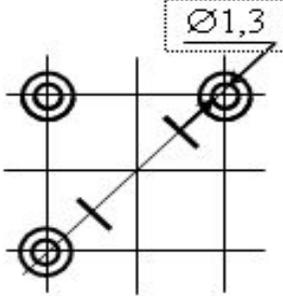
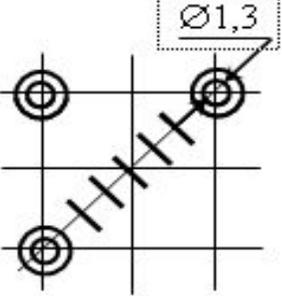
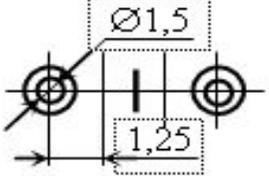
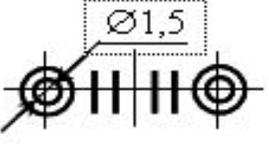
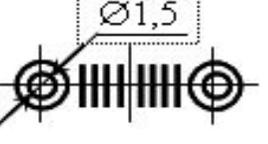
где d - диаметр монтажного отверстия;

$\Delta d_{\text{до}}$ - верхнее предельное отклонение диаметра отверстия (см. данные таблицы 3.5);

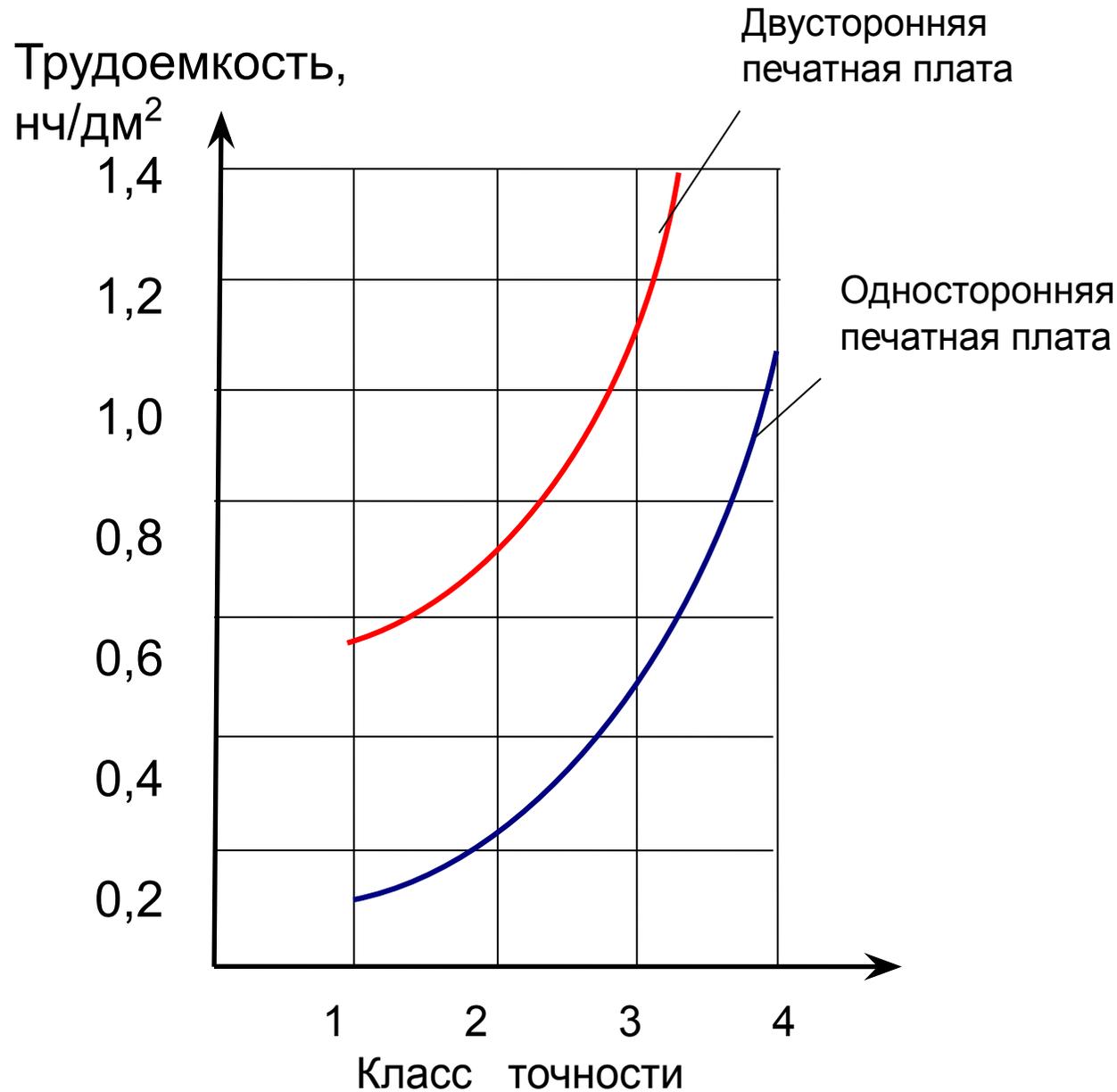
b - гарантийный пояс контактной площадки (см. таблицу 3.5);

c - коэффициент, учитывающий влияние разброса межцентрового расстояния, смещение фольги в разных слоях, подтравливание диэлектрика. Для плат 1 класса точности $c = 0,6...0,7$, для плат 2 и 3 классов $c = 0,4...0,5$.

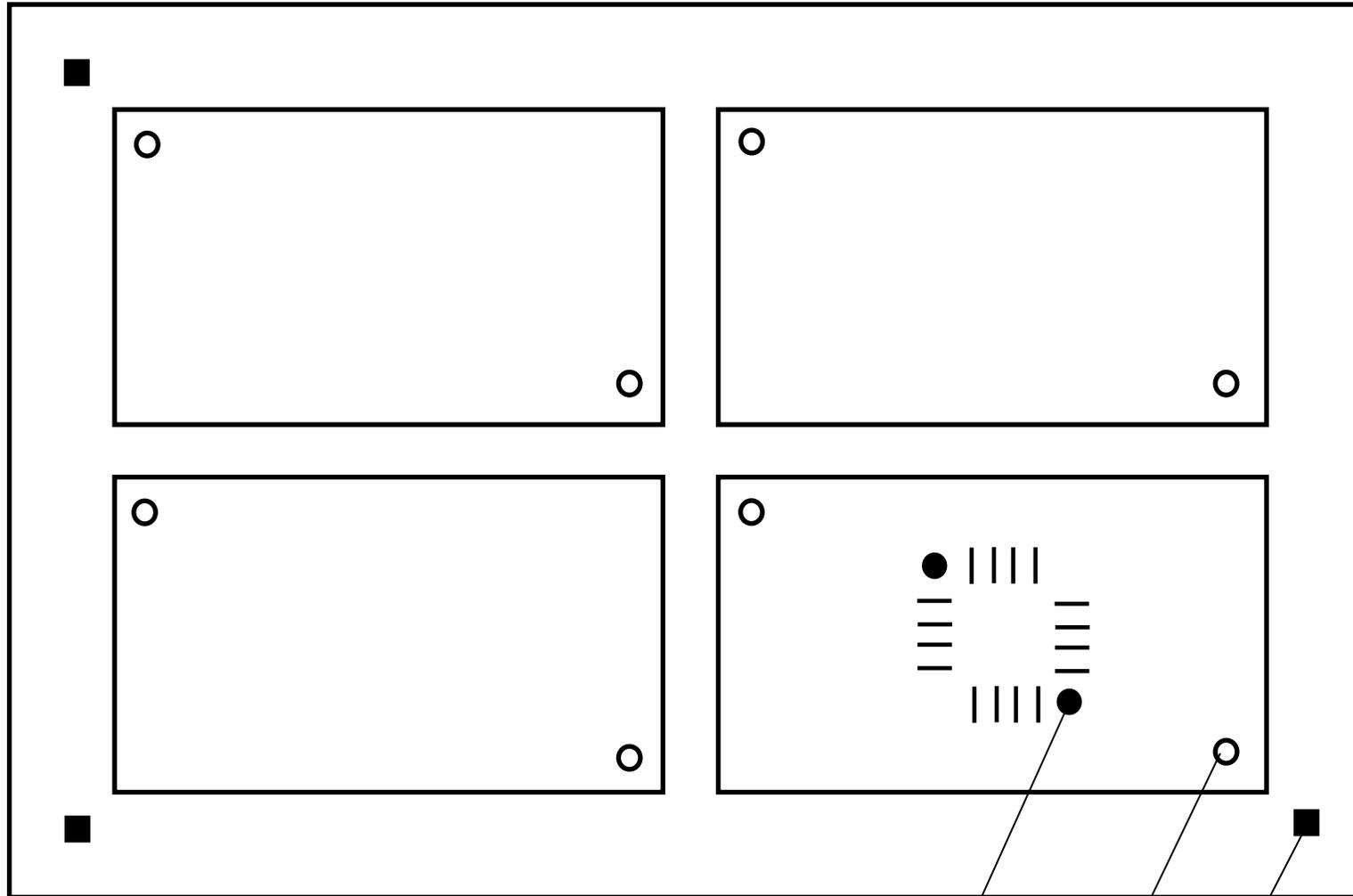
Классы точности печатных плат

Расстояние между отверстиями	Класс точности			
	1	2	3	4
1,25				
2,50				
3,54				
5,00				

Экономическое обоснование выбора класса точности печатной платы



Глобальные и локальные реперные знаки



Локальные реперные знаки компонента

Реперные знаки кадра групповой заготовки

Глобальные реперные знаки групповой заготовки

Глобальные реперные знаки служат для ориентации отдельной платы или мультиплицированной платы

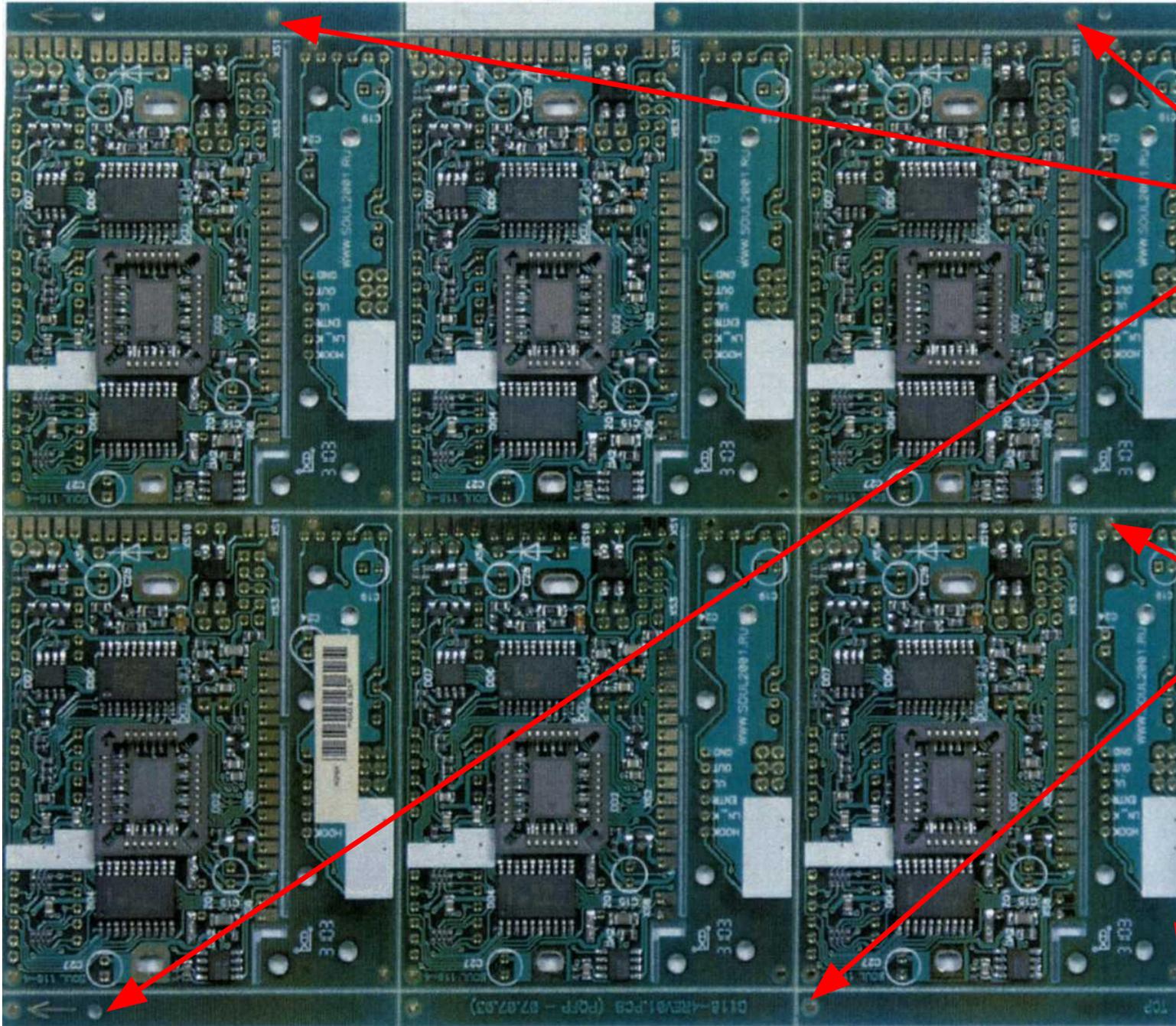
локальные – для ориентации компонентов (как правило, больших размеров и сложной формы, с малым (менее 0,63 мм) шагом расположения выводов, например, в корпусах типа QFP).

Все реперные знаки должны располагаться в узлах координатной сетки.

Глобальные реперные знаки рекомендуется располагать по диагонали платы на максимально возможном друг от друга расстоянии,

Между знаком и краем платы должно быть расстояние не менее 5 мм

Расположение глобальных и локальных реперных знаков

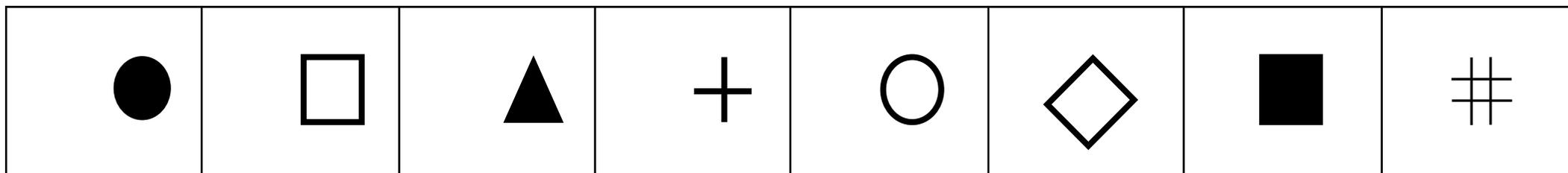


Глобальные
реперные
знаки

Реперные
знаки
печатного
узла

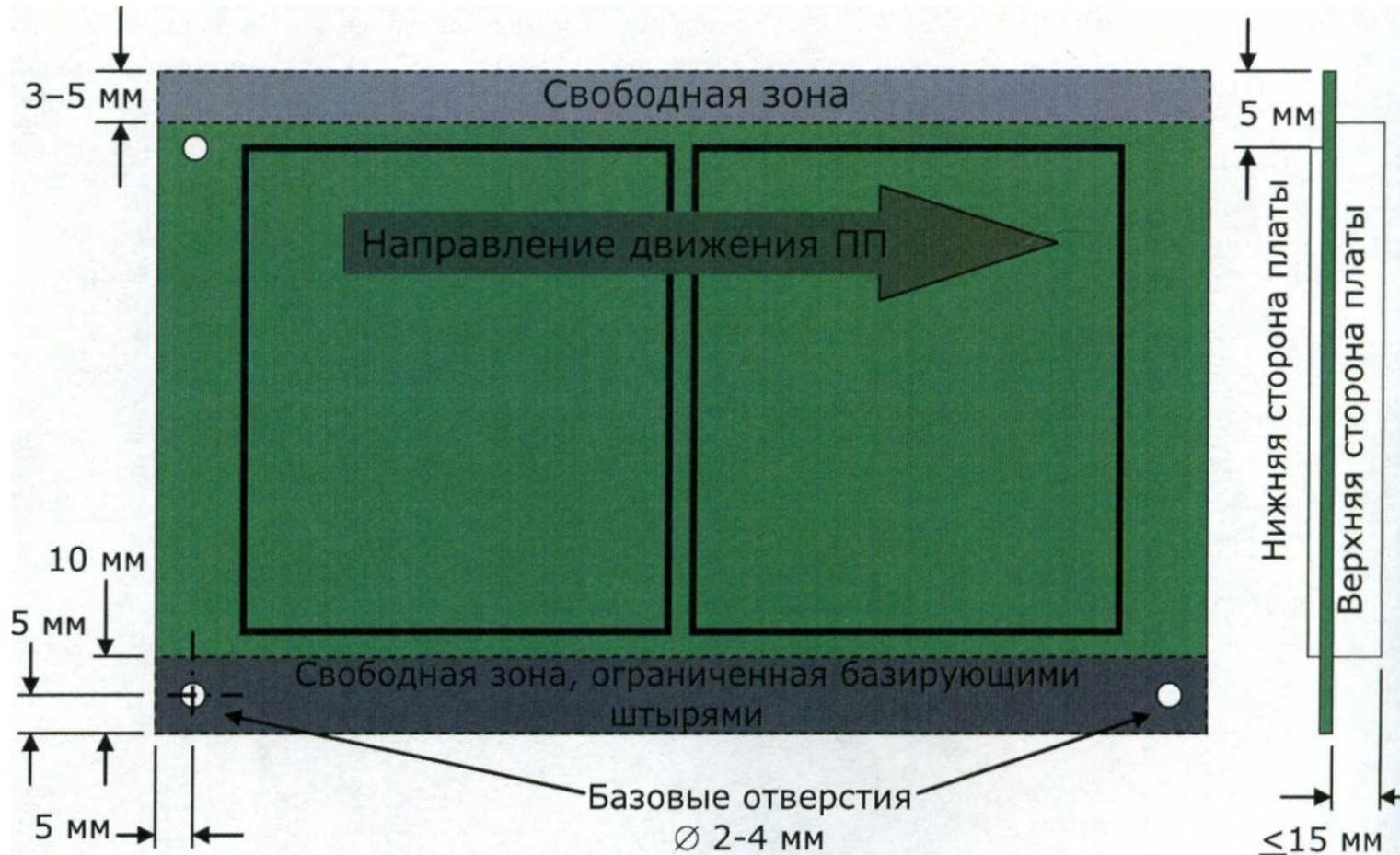
Обеспечение точности позиционирования путем использования систем технического зрения

Рекомендуемые конфигурации и размеры реперных знаков



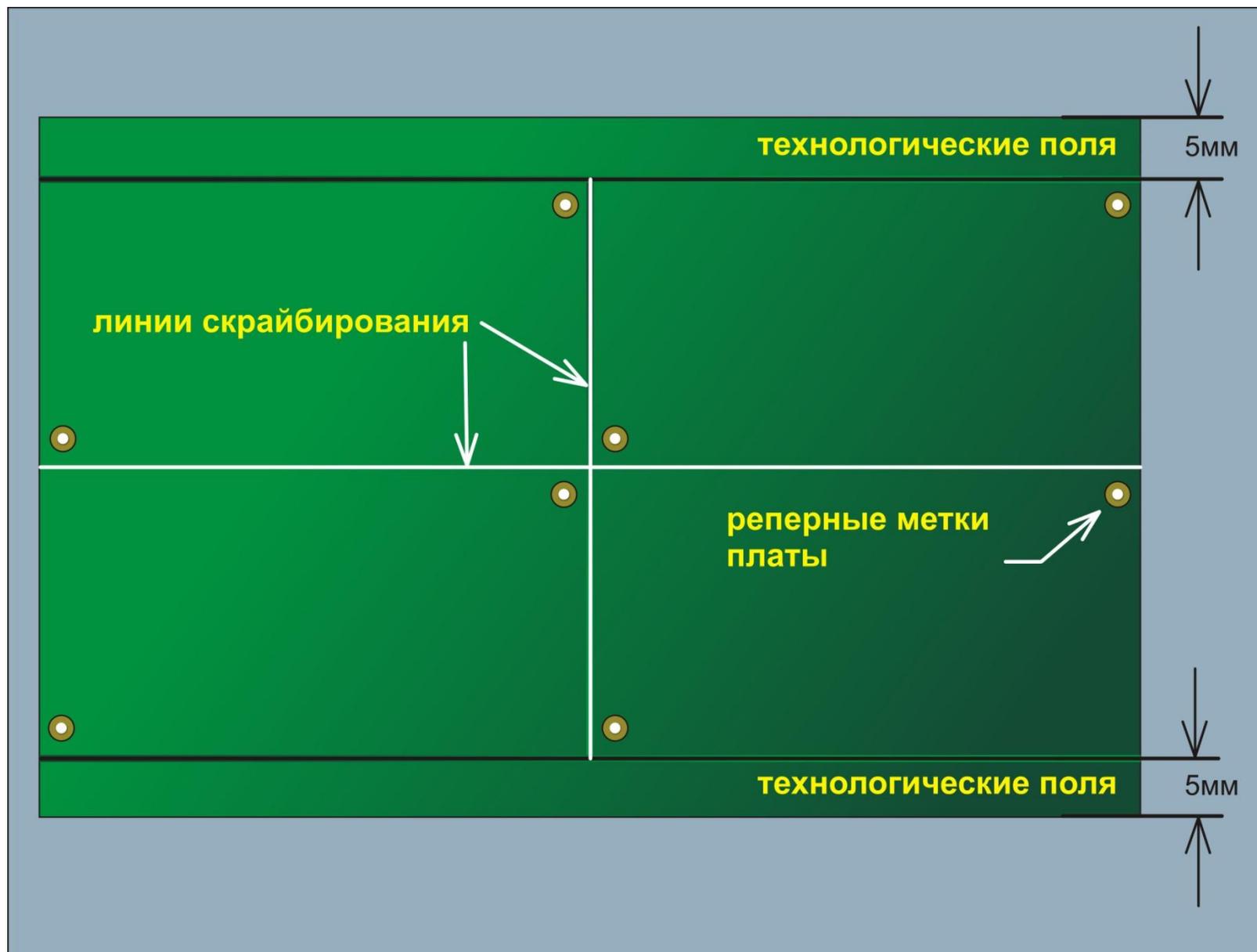
Рекомендуемые размеры реперных знаков – 1,5 – 2 мм

Допустимые зоны установки элементов при автоматизированной сборке



- Свободная зона, недоступная для установки ПМИ и ИМО
- - Свободная зона, ограниченная базирующими штырями. Высота устанавливаемых ПМИ в пределах 10 мм от края ПП ограничена (зависит от типа используемого оборудования), кроме того, установка ПМИ невозможна на расстоянии до 3-х мм вокруг базовых отверстий или края ПП.
- - Область доступная для установки ПМИ и ИМО

Расположение реперных знаков



Отбраковочные маркеры

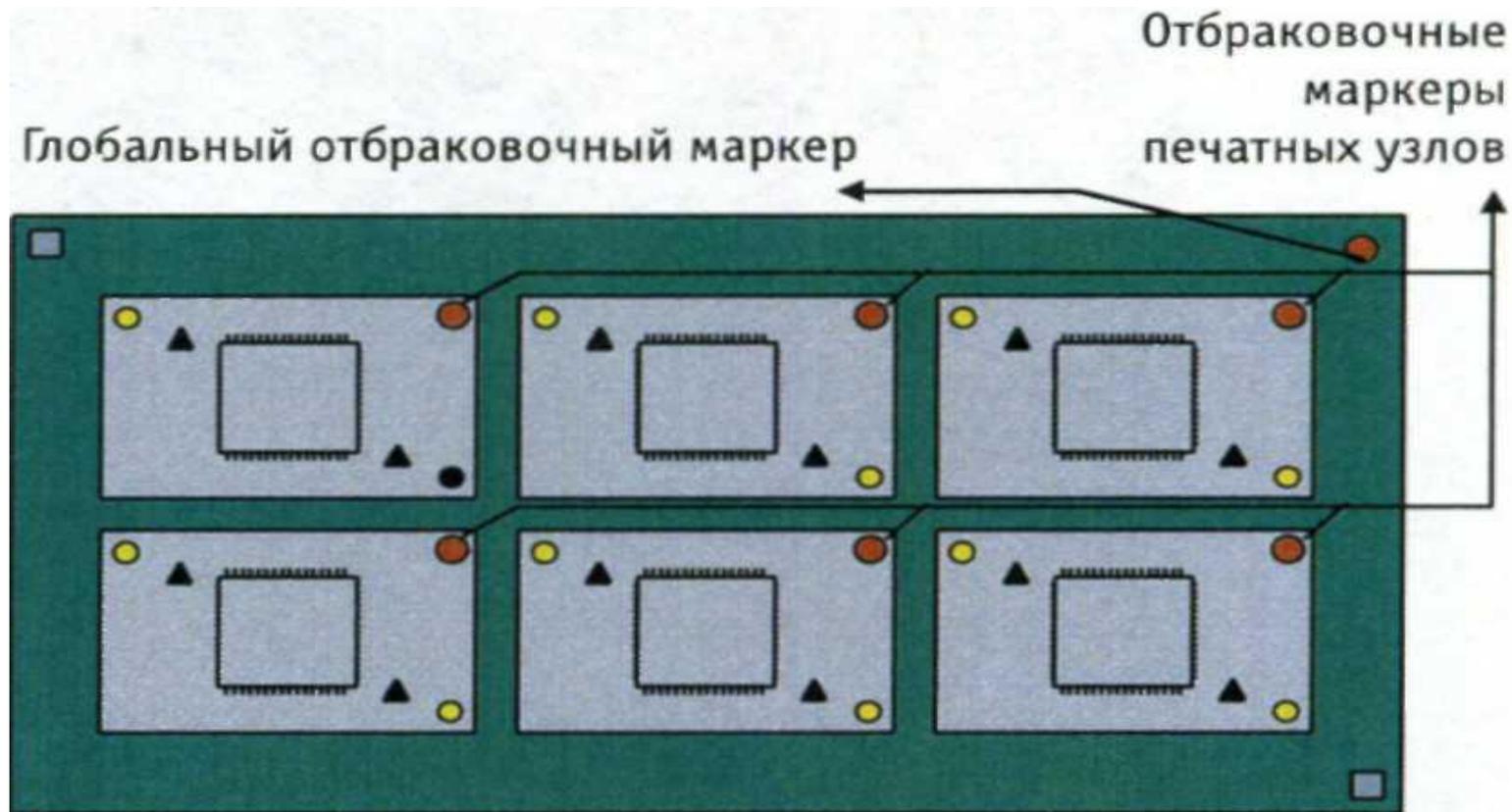
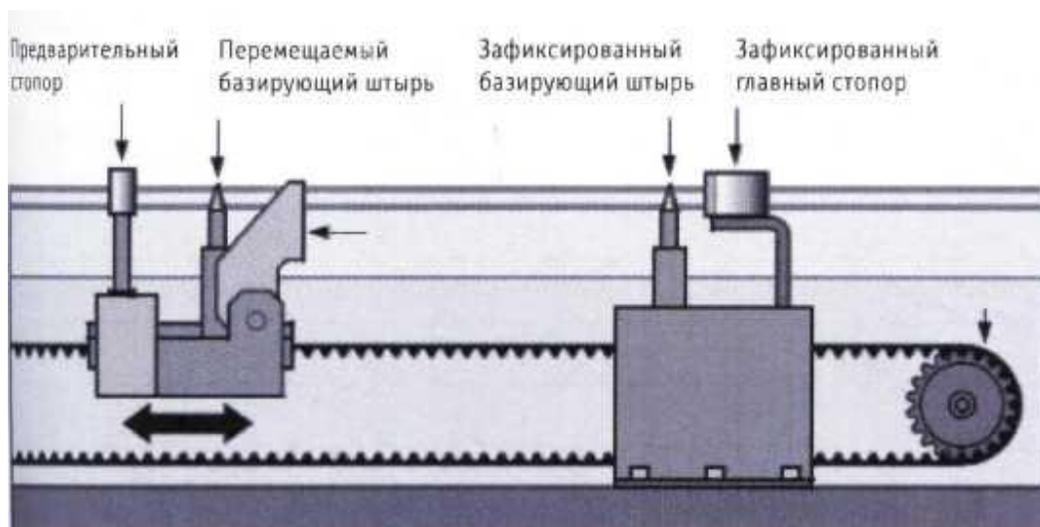
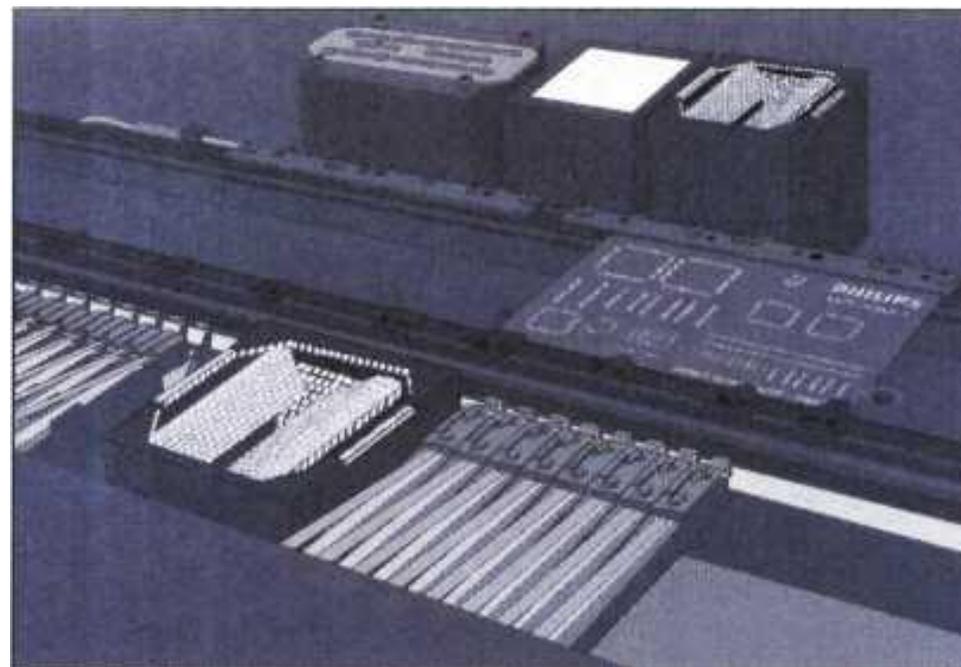


Рис. 3.15 Отбраковочные маркеры

При проектировании мультиплицированных плат следует предусматривать отбраковочные маркеры на каждом из ПУ для автоматического пропуска бракованных печатных модулей при установке компонентов, а также глобальный отбраковочный маркер для индикации наличия бракованных ПУ на плате.

К отбраковочным маркерам предъявляются те же требования, что и к реперным знакам. Форма и размеры отбраковочных маркеров могут совпадать или отличаться от реперных знаков, используемых на плате.

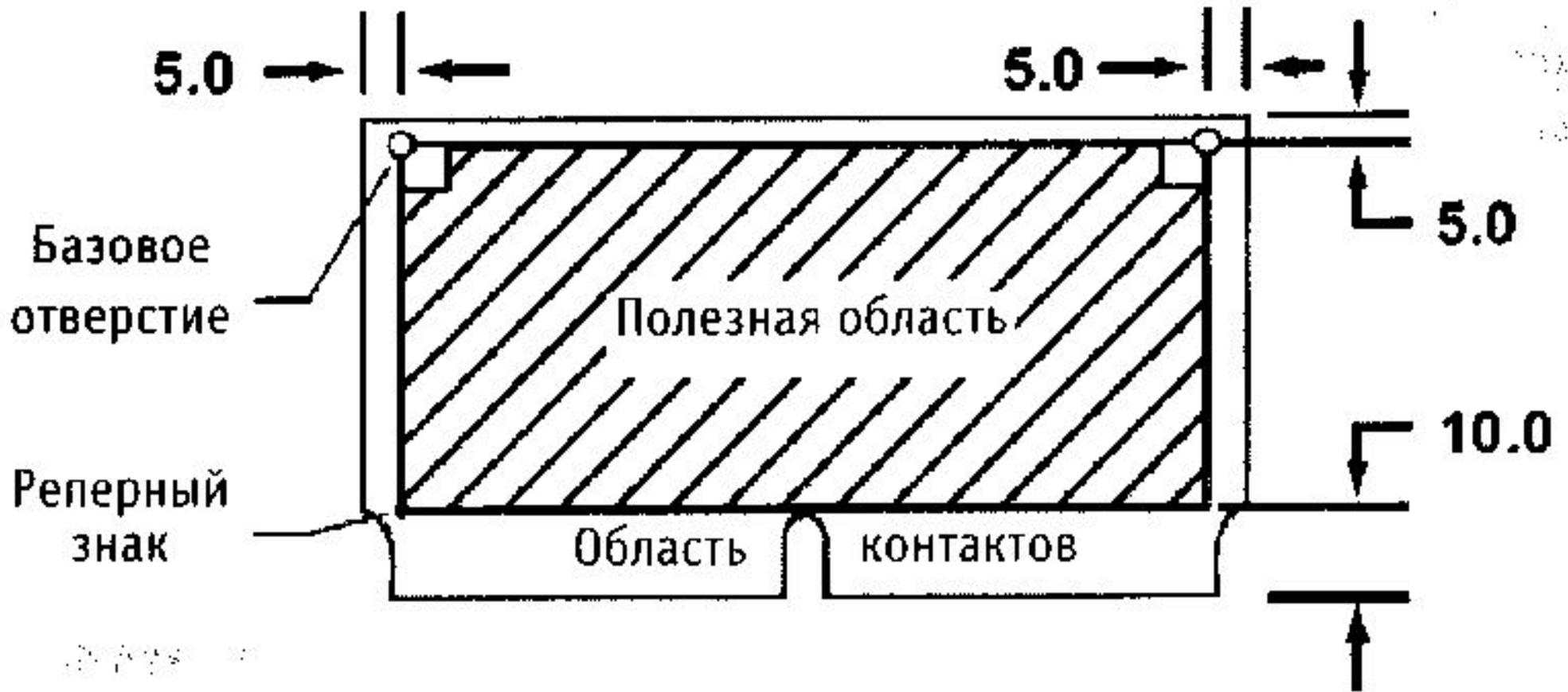
Расположение печатной платы на паллете



Пример с системой фиксации печатной платы по краям

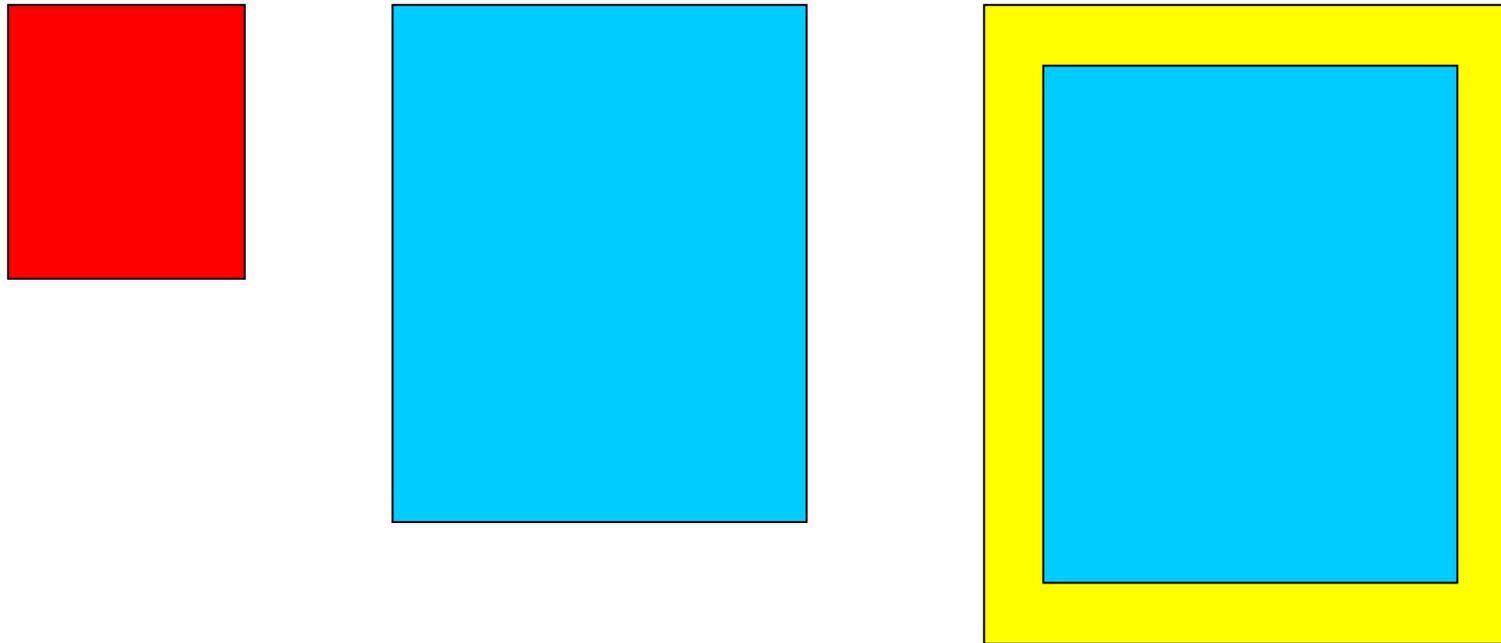
Конструкция системы фиксации по базовым отверстиям

Типичные размеры краевых полей на ПП



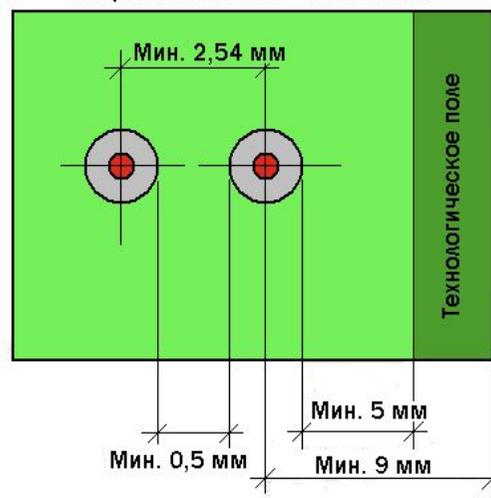
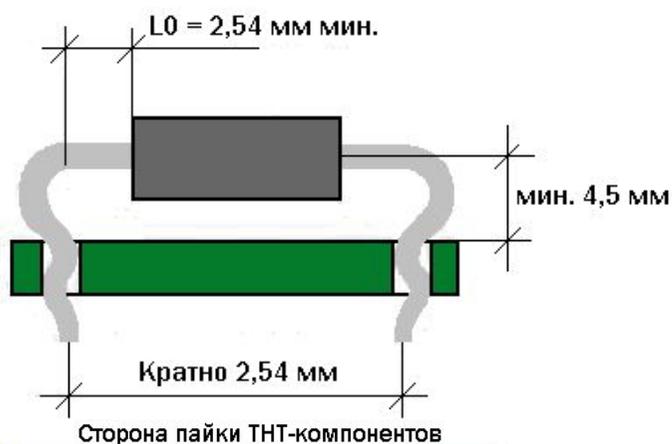
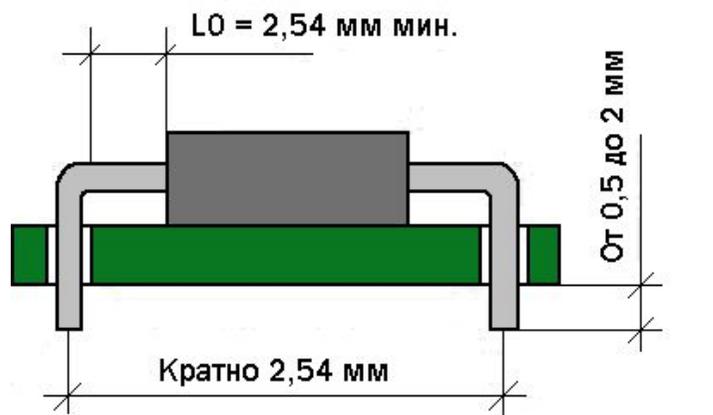
Определение размеров печатной платы

Соотношение площадей проекций элементов, монтажной площади и полной площади печатной платы



-  - площадь проекции элементов на печатную плату
-  - площадь печатной платы с учетом коэффициента увеличения ее площади
-  - полная площадь печатной платы с учетом краевых полей

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ ДЛЯ ТНТ- КОМПОНЕНТОВ



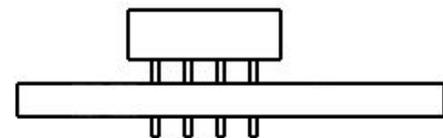
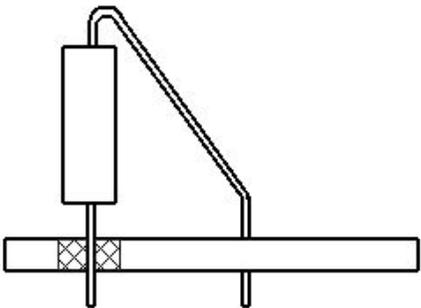
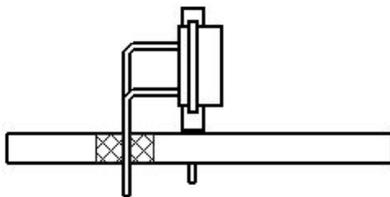
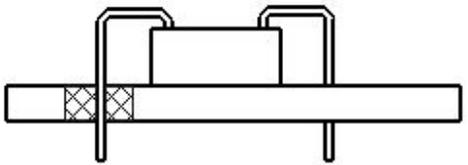
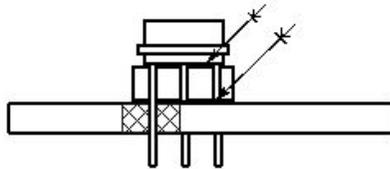
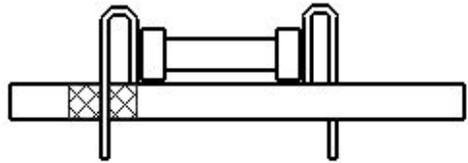
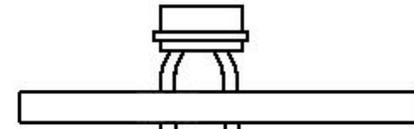
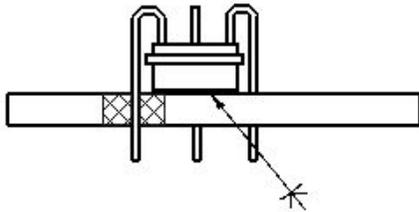
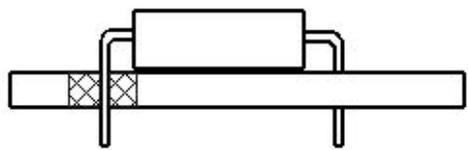
Для всех компонентов, требующих предварительной формовки/гибки/обрезки выводов, расстояние между центрами монтажных отверстий на печатной плате кратно 2,54 мм.

Для компонентов с осевыми выводами минимально допустимый размер вывода до места изгиба должен быть 2,54 мм, т.е. расстояние между выводами определяется согласно рисунку 2.

Минимальная высота формовки выводов под зиг-замок или упорный зиг составляет 4,5 мм (см. рис. 3). Параметры формовки под зиг-замок указаны на рисунке 2 и являются справедливыми как для компонентов с аксиальным расположением выводов, так и с радиальным. Формовка под зиг-замок или упорный зиг возможна только для выводов, толщина которых не превышает 1,2 мм.

Выбор варианта установки компонентов, монтируемых в отверстия

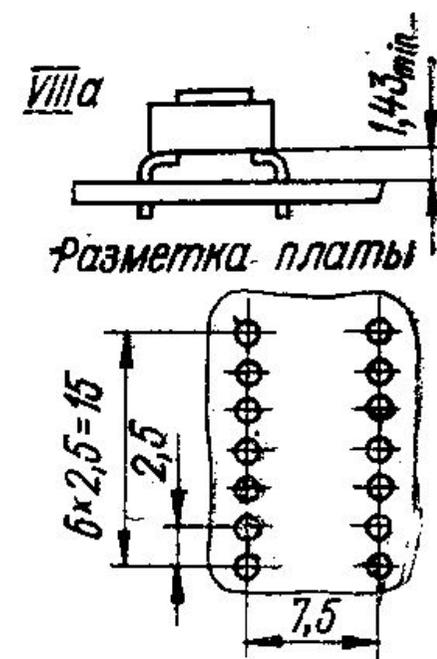
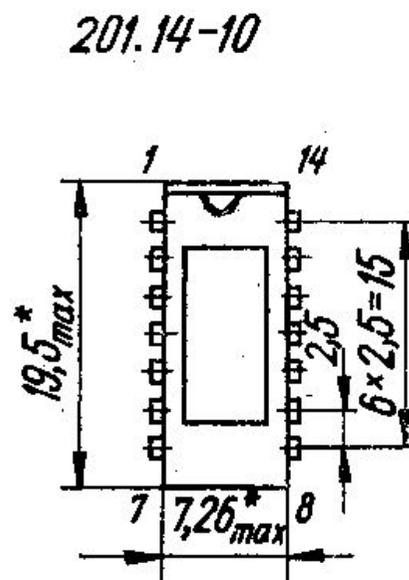
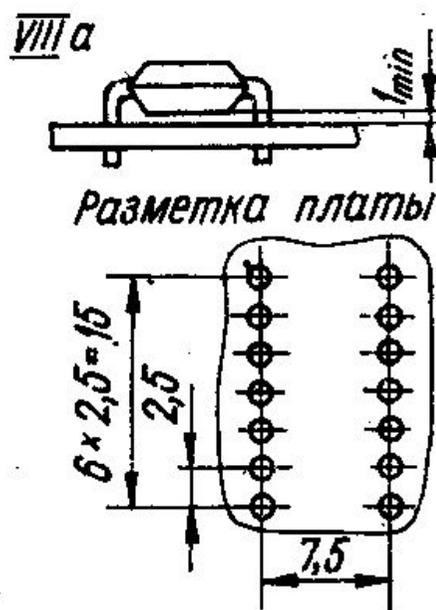
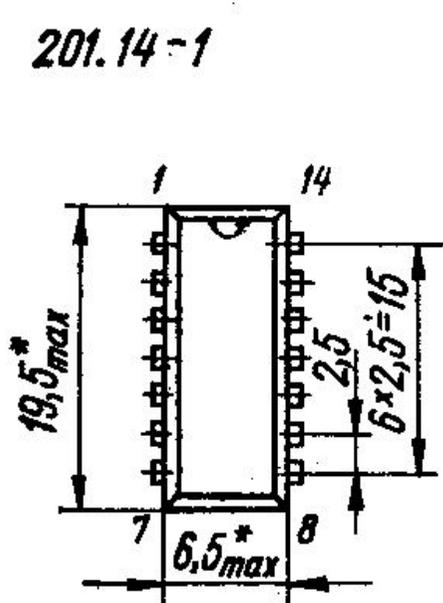
В зависимости от условий эксплуатации, метода изготовления печатной платы, требований к массогабаритным показателям, степени автоматизации монтажа выбирают конкретные варианты установки навесных элементов в соответствии с ОСТ 4.010.030-81 или же ГОСТ 29137-91



Варианты установки навесных элементов в соответствии с ОСТ 4.010.030-81

(см. Горобец А.И. Справочник по конструированию РЭА (печатные узлы)

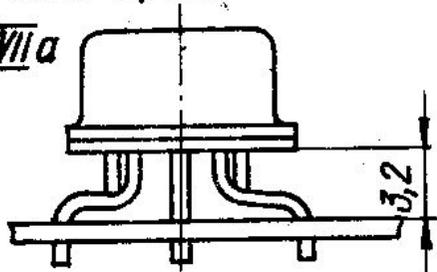
или электронные ресурсы (Варианты установки.doc)



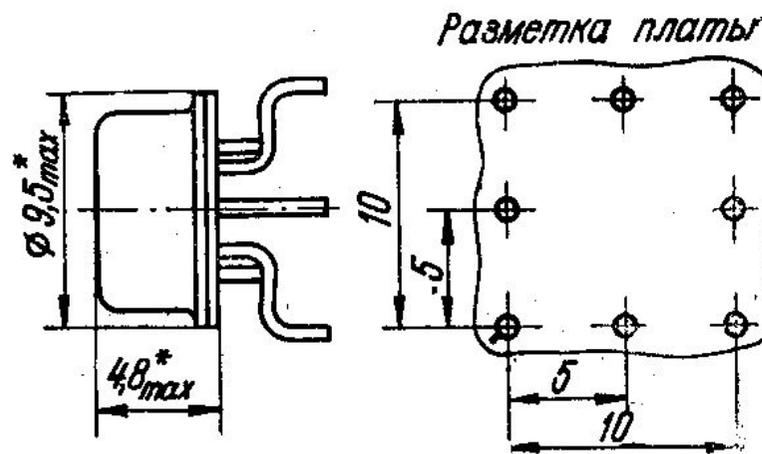
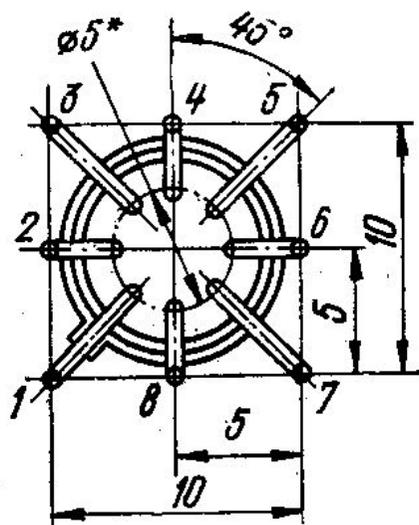
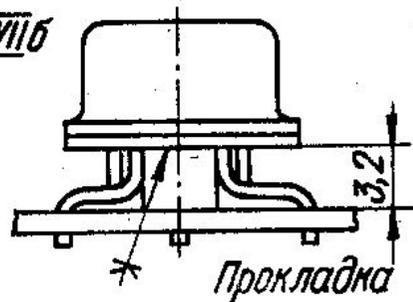
Варианты установки навесных элементов в соответствии с ОСТ 4.010.030-81

301.8-1; 301.8-2

VIIa

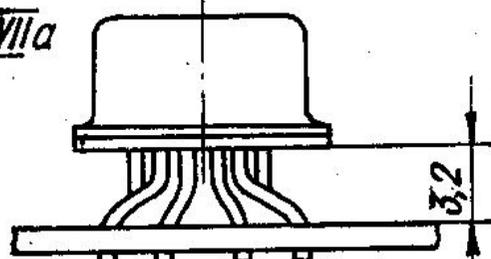


VIIб

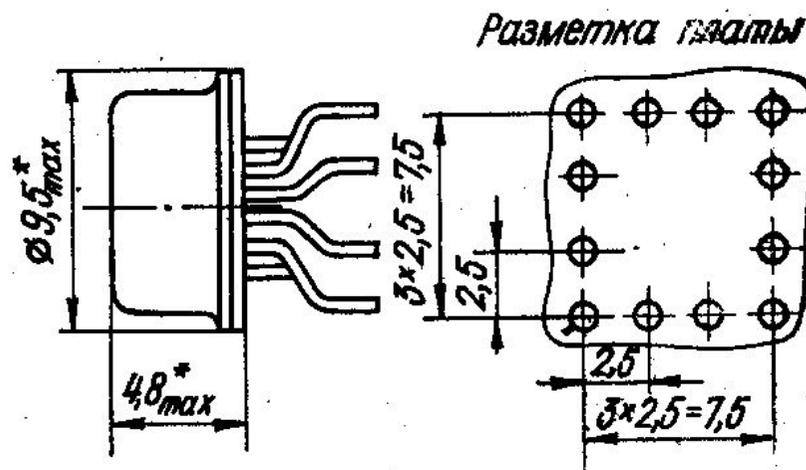
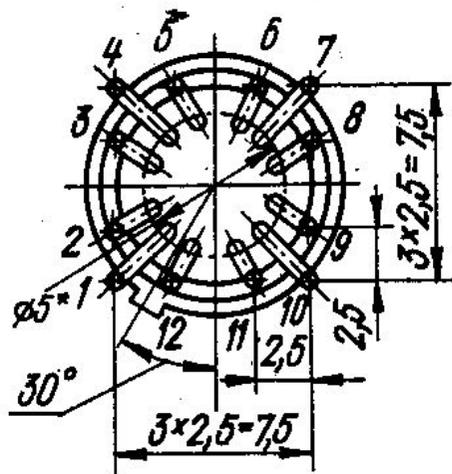
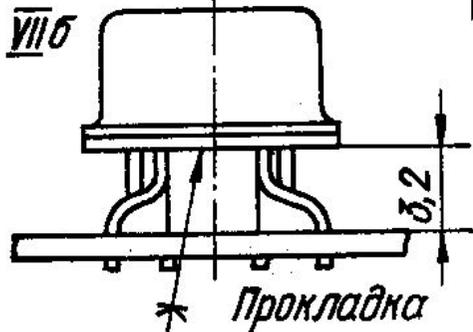


301.12-1

VIIa



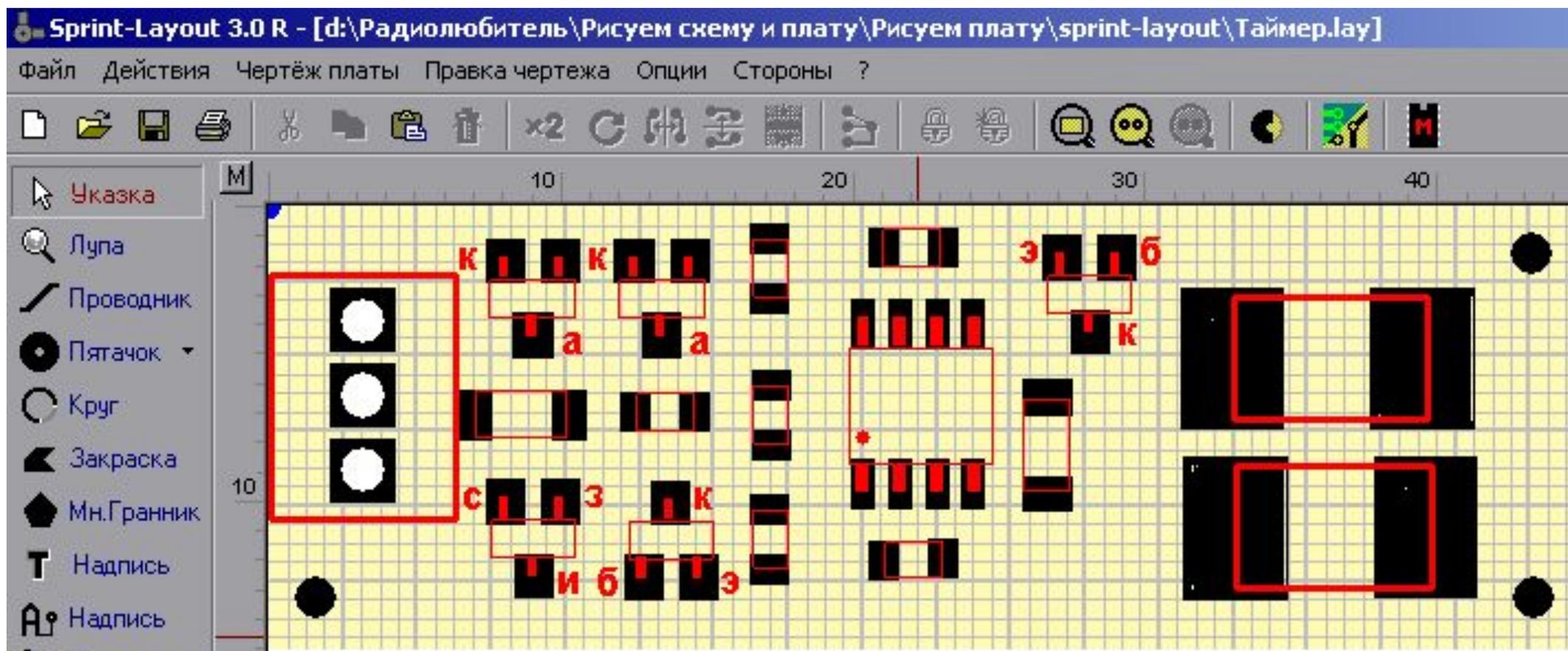
VIIб



Выводы элементов должны располагаться в узлах координатной сетки

The screenshot displays the Sprint-Layout 5.0 software interface. The main workspace shows a PCB layout on a coordinate grid. The grid is labeled with millimeter (мм) values from 0 to 120 on the x-axis and 0 to 80 on the y-axis. The layout includes several components: a large rectangular component on the left, a smaller rectangular component in the center, and a circular component on the right. The components are placed such that their connection points align with the grid nodes. The interface includes a menu bar (Файл, Редактор, Проект, Действия, Опции, Регистрация, Помощь), a toolbar with various icons, and a left sidebar with tool options like Курсор, Масштаб, Проводник, Контакт, SMD-конт, Круг/Дуга, Полигон, Фигура, Текст, Связи, Автотрасса, Контроль, Измеритель, Фотовид, and Маска. A right sidebar shows the 'Свойства' (Properties) panel for 'Плата 1' (Board 1) with parameters like Ширина (160.00 мм) and Высота (100.00 мм), and a 'Библиотека' (Library) panel listing components like TO-100.LMK, TO-10GG-4I, etc. The bottom status bar shows coordinates (X: 121,9 мм, Y: 31,93 мм) and active layers (M1, K1, M2, K2, Ф).

Расположение посадочных мест КМП



Размеры печатных плат

Габаритные размеры ПП определяются в соответствии с **ГОСТ 10317-79** при максимальном соотношении сторон платы прямоугольной формы **3:1**. При этом предполагается, что $S_{пл} = a \cdot b$, где a и b – длина и ширина платы. В соответствии со стандартом размер каждой стороны печатной платы должен быть кратным:

2,5 при длине до 100 мм;

5 при длине до 350 мм и

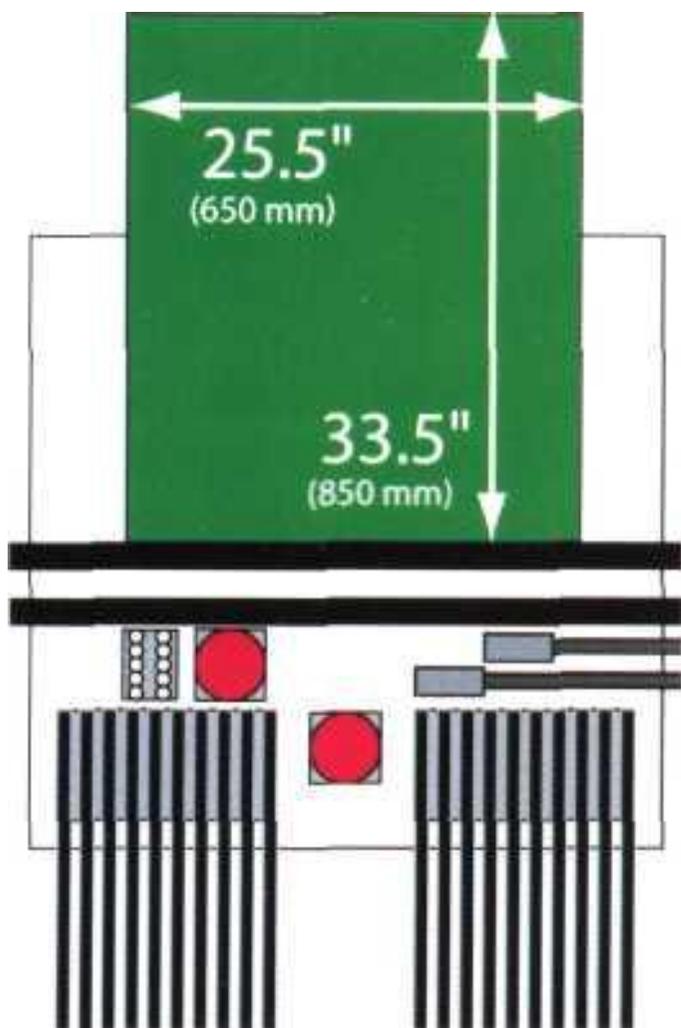
10 при длине более 350 мм.

Рекомендуемые наибольшие размеры печатной платы 460x610 мм, минимальные – 50x50 мм

Возможность работы с большими платами

Автоматы OPAL X1' имеет возможность сборки плат размером до 850x650 мм. Это особенно актуально для предприятий, производящих оборудование для телекоммуникации и специальную технику.

© Даная система работы с большими платами является уникальной и она запатентована компанией Assembleon.



Размеры печатных плат по ОСТ 4.010.020-83 (фрагмент)

Шири-на	Длина								
22,5	60	62,5	125	90	(90)	120	140	170	170
30	40	65	90		100		(160)		200
	55		100		110		180		240
	60		(70)		120		200		250
	(90)		(90)		130		220		270
35	100	70	110		150		240		280
40	(40)		120		160		280		300
	50		(140)		170		150		340
	60		150		(180)		170		205
	(80)		75		170		200		185
	100		80	260	300	220			
	(120)	90	100	(140)	200	240			
50	(50)	80	100	110	150	320			
	60		(110)	120	220	300			
	(70)		120	150	240	240	320		
	75		140	160	280				

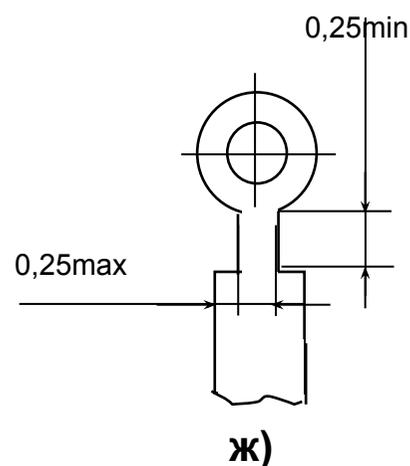
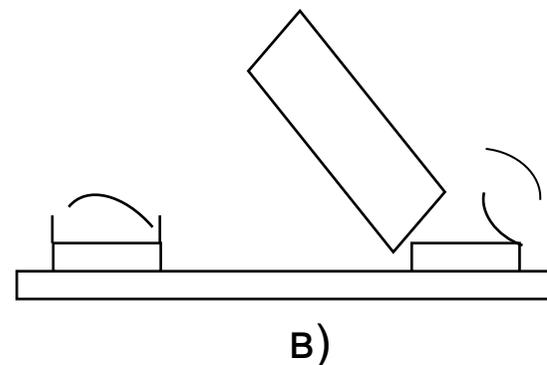
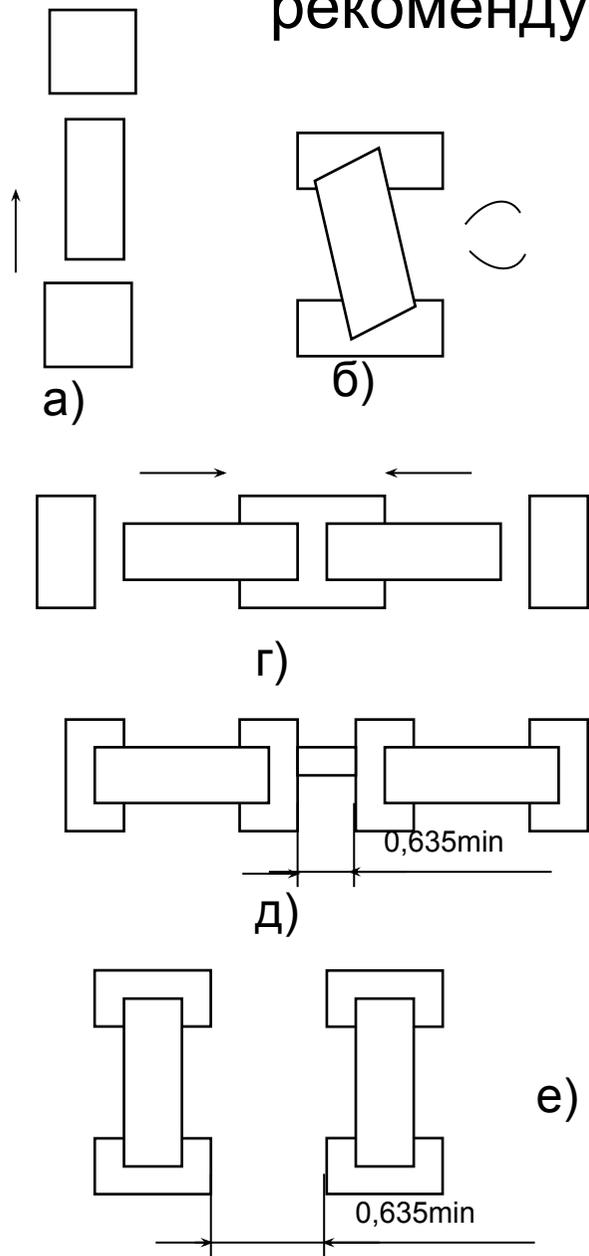
Международная стандартизация размеров ПП

(по стандарту IEC 297-3)

Обозначение	H, высота (мм)	L, длина (мм)
3U	100	100
		160
		220
		280
4U	144,45	100
		160
		220
		280
5U	188,9	100
		160
		220
		280
6U	233,35	100
		160
		220
		280

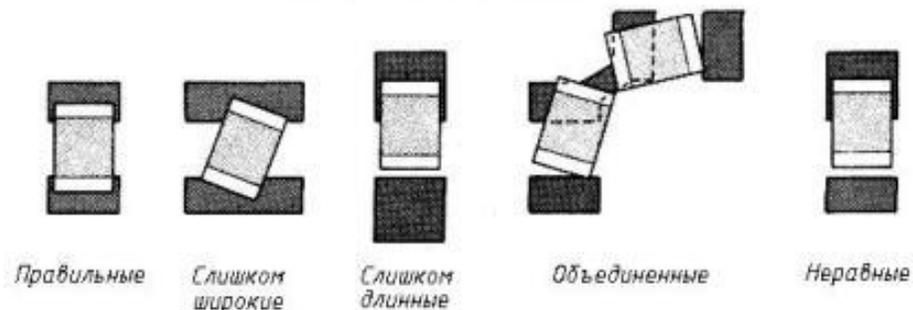
Особенности проектирования контактных площадок

Возможные смещения компонентов при монтаже и
рекомендуемое расположение контактных площадок



а) – смещение КМП при слишком длинной контактной площадке;
б) – разворот компонента при слишком широких площадках;
в) – вздыбливание КМП в результате действия сил поверхностного натяжения;
г) – смещение КМП в случае общей контактной площадки; д), е), ж) – рекомендуемое расположение контактных площадок

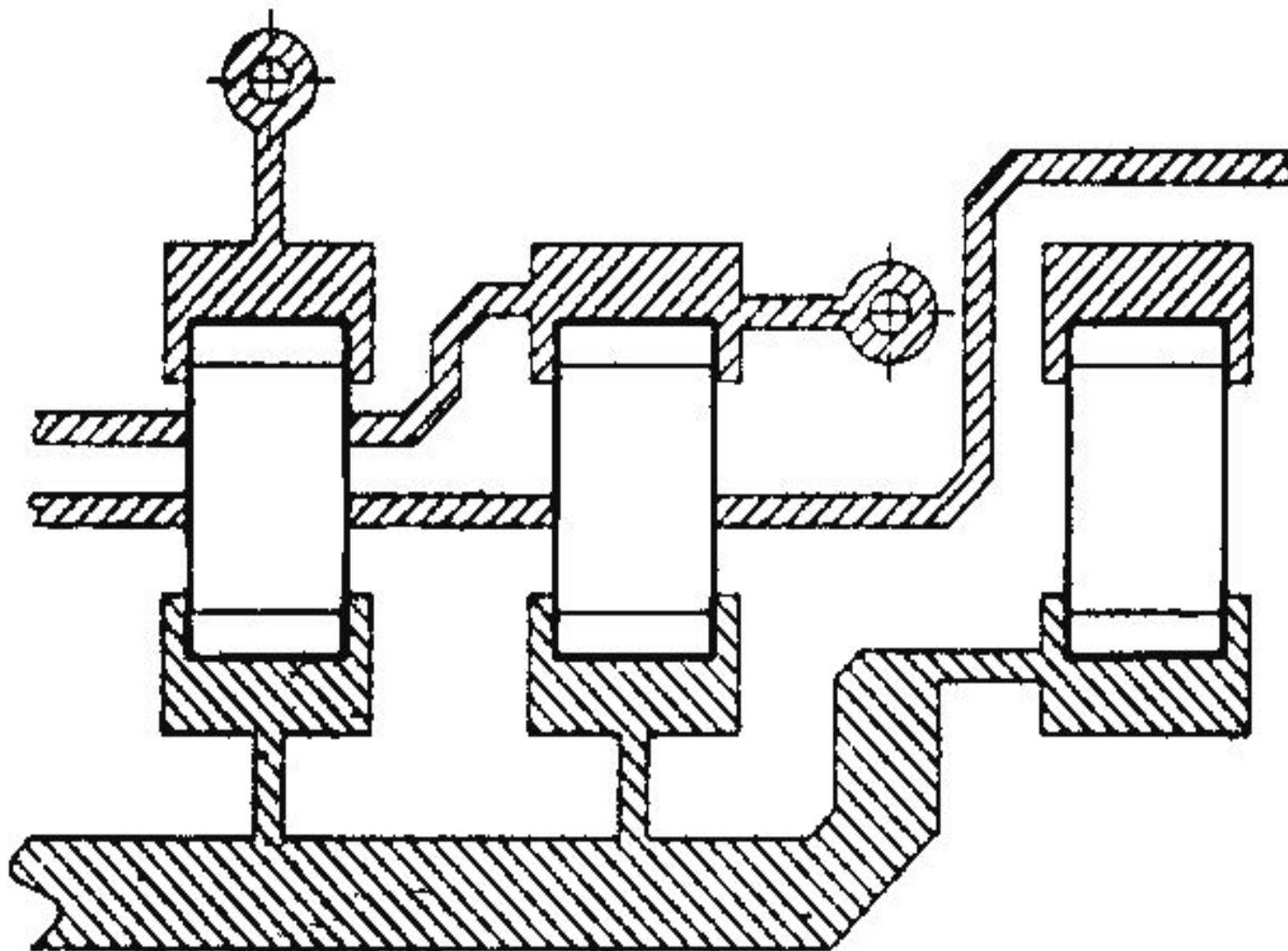
Контактные площадки



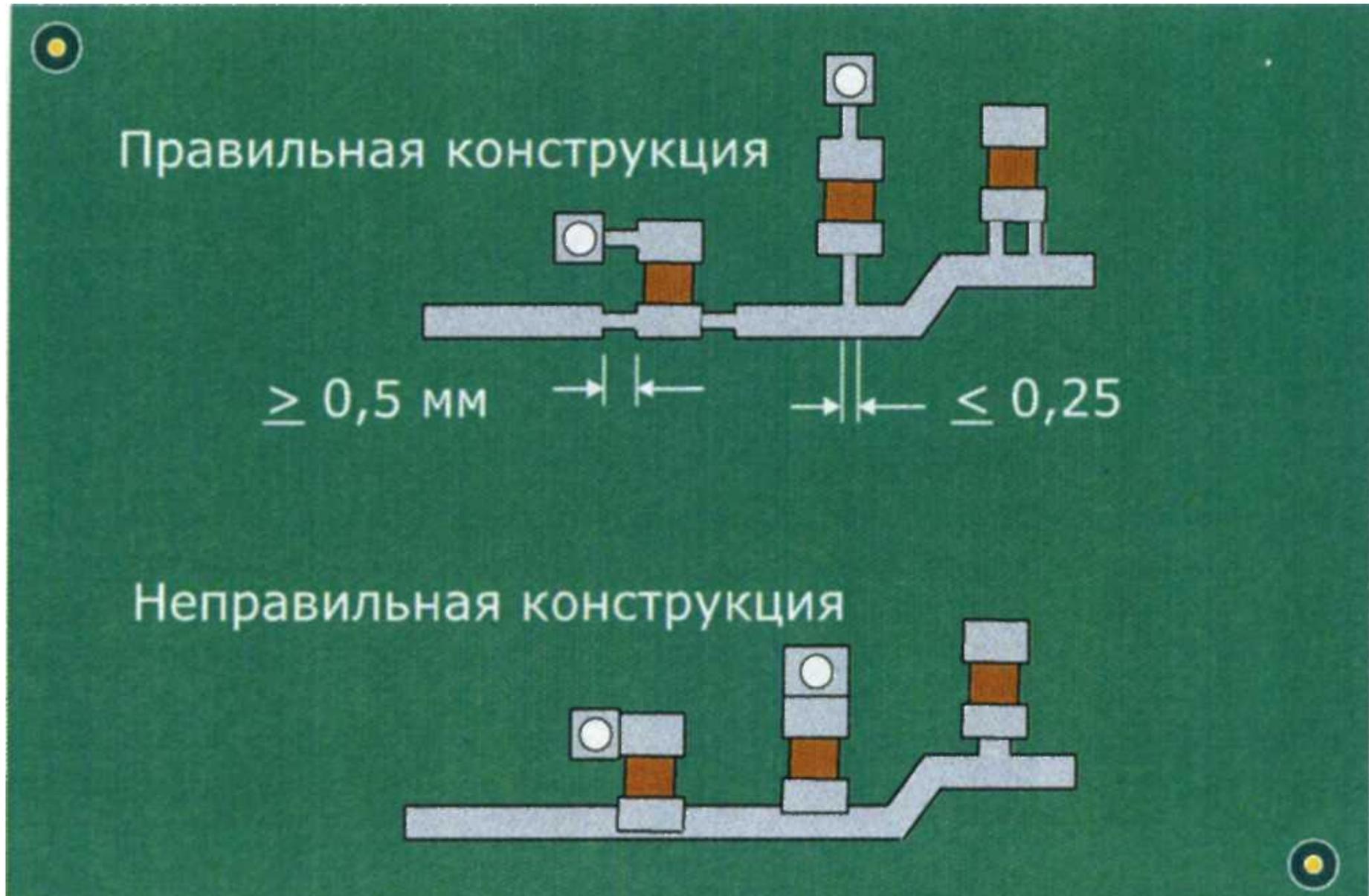
Примеры возникающих дефектов при неправильном проектировании контактных площадок



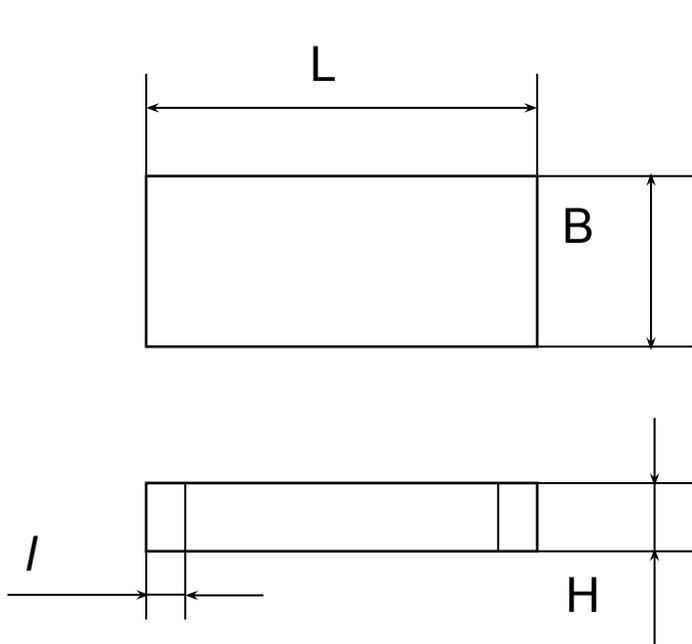
Рекомендуемое соединение контактных площадок



Примеры правильной и неправильной конструкции ПП в части присоединения контактных площадок к проводникам и переходным отверстиям

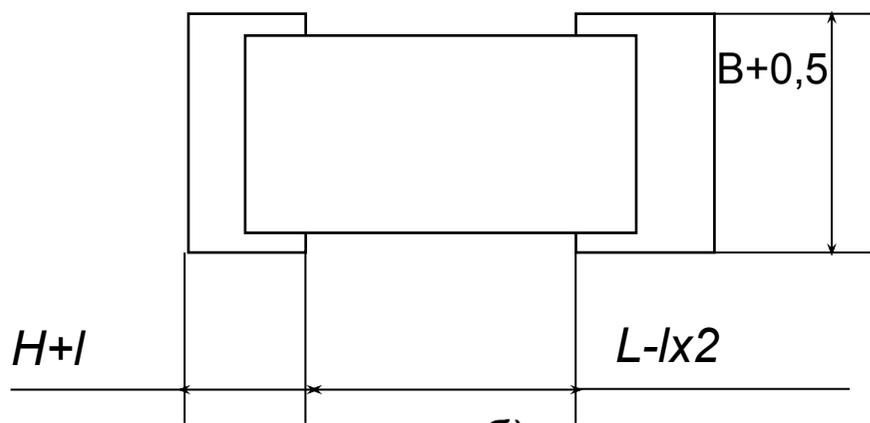
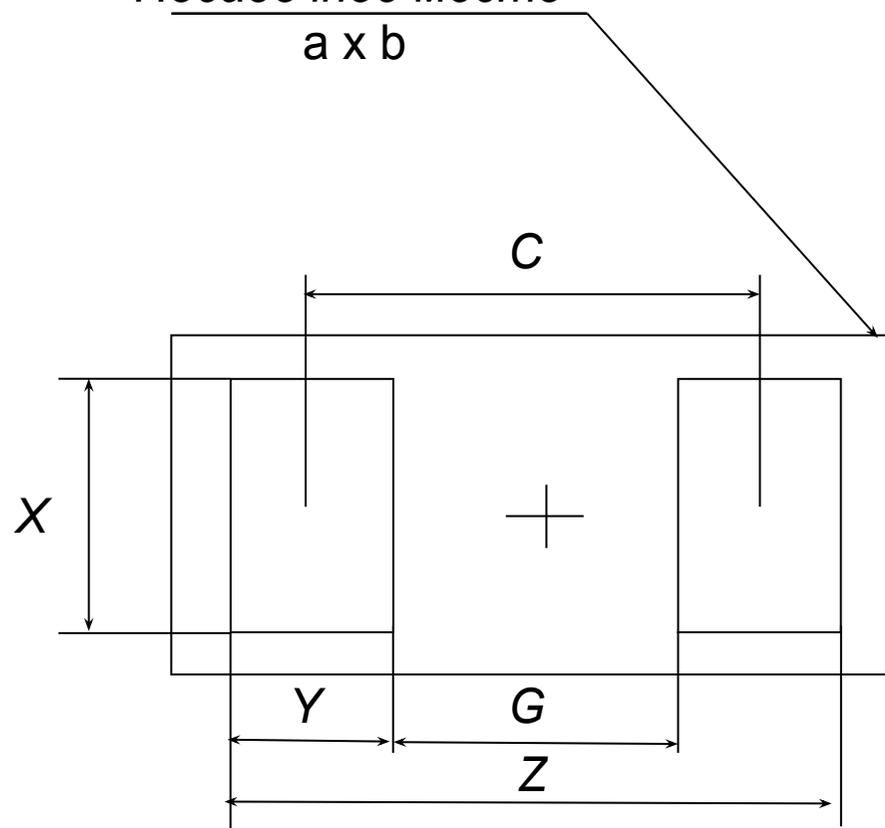


Основные габаритные размеры чип-компонента (а) и разметка посадочного места (б)



а)

Посадочное место



б)

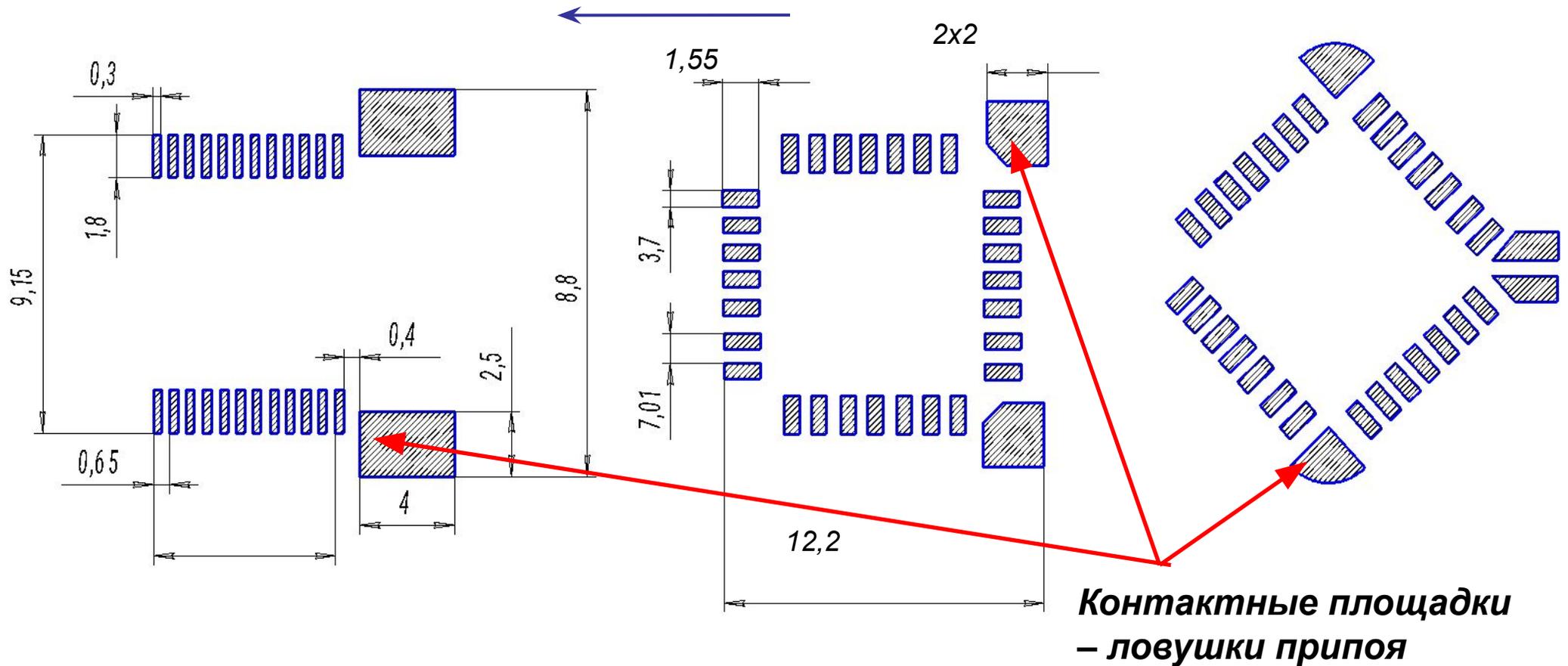
Тип корпуса	Размеры, мм					
	Z	G	X	Y	C	$a \times b$
0402	2,20	0,40	0,70	0,90	1,30	1x3
0603	2,80	0,60	1,00	1,10	1,70	2x3
0805	3,20	0,60	1,50	1,30	1,90	2x4
1206	4,40	1,20	1,80	1,60	2,80	2x5

Размеры контактной площадки, определяемые требованиями качественной пайки



Особенности посадочных мест микросхем в случае пайки волной припоя

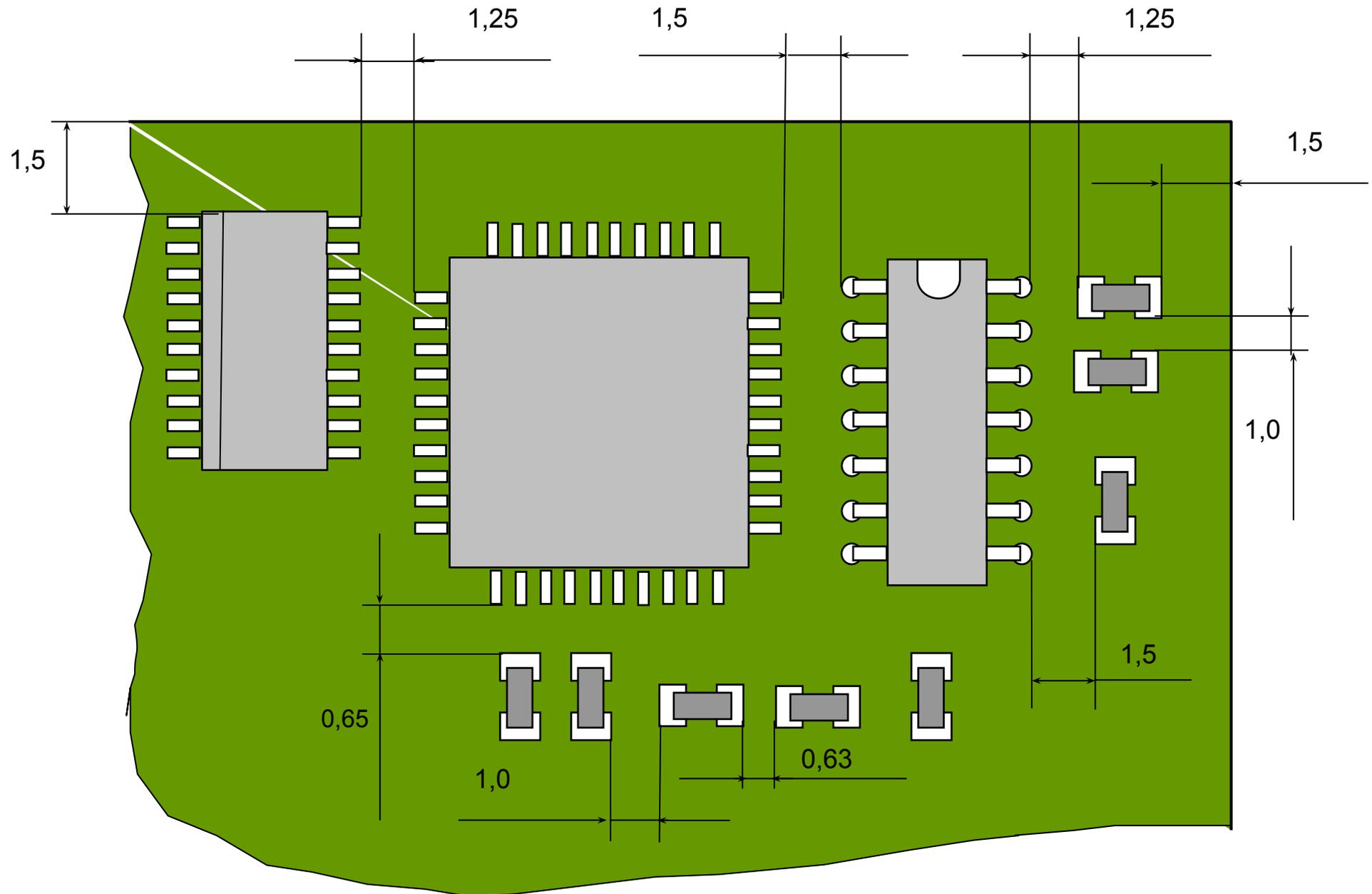
Направление движения платы во время пайки



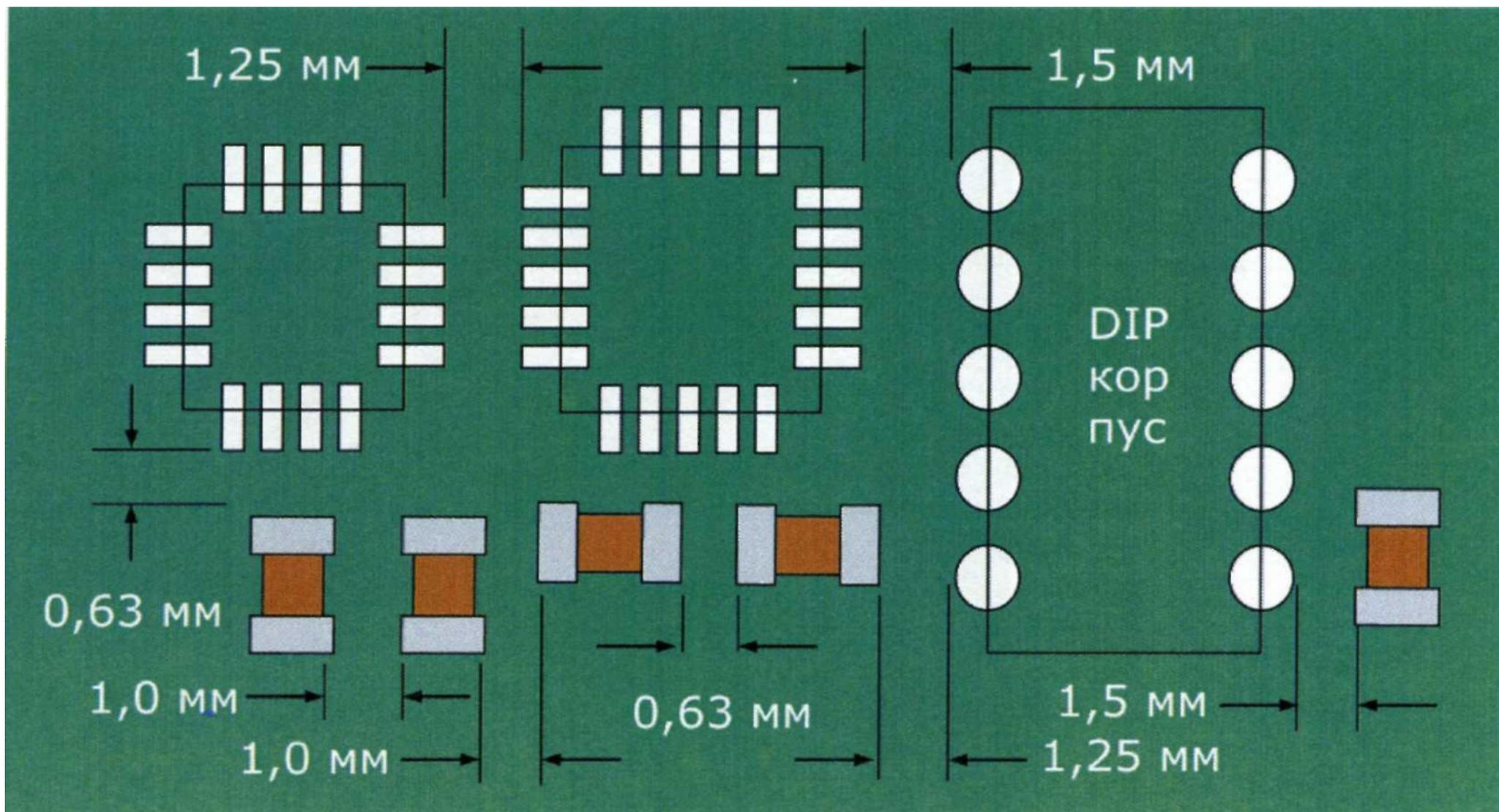
Корпус SSOP-24

Корпус PLCC-28

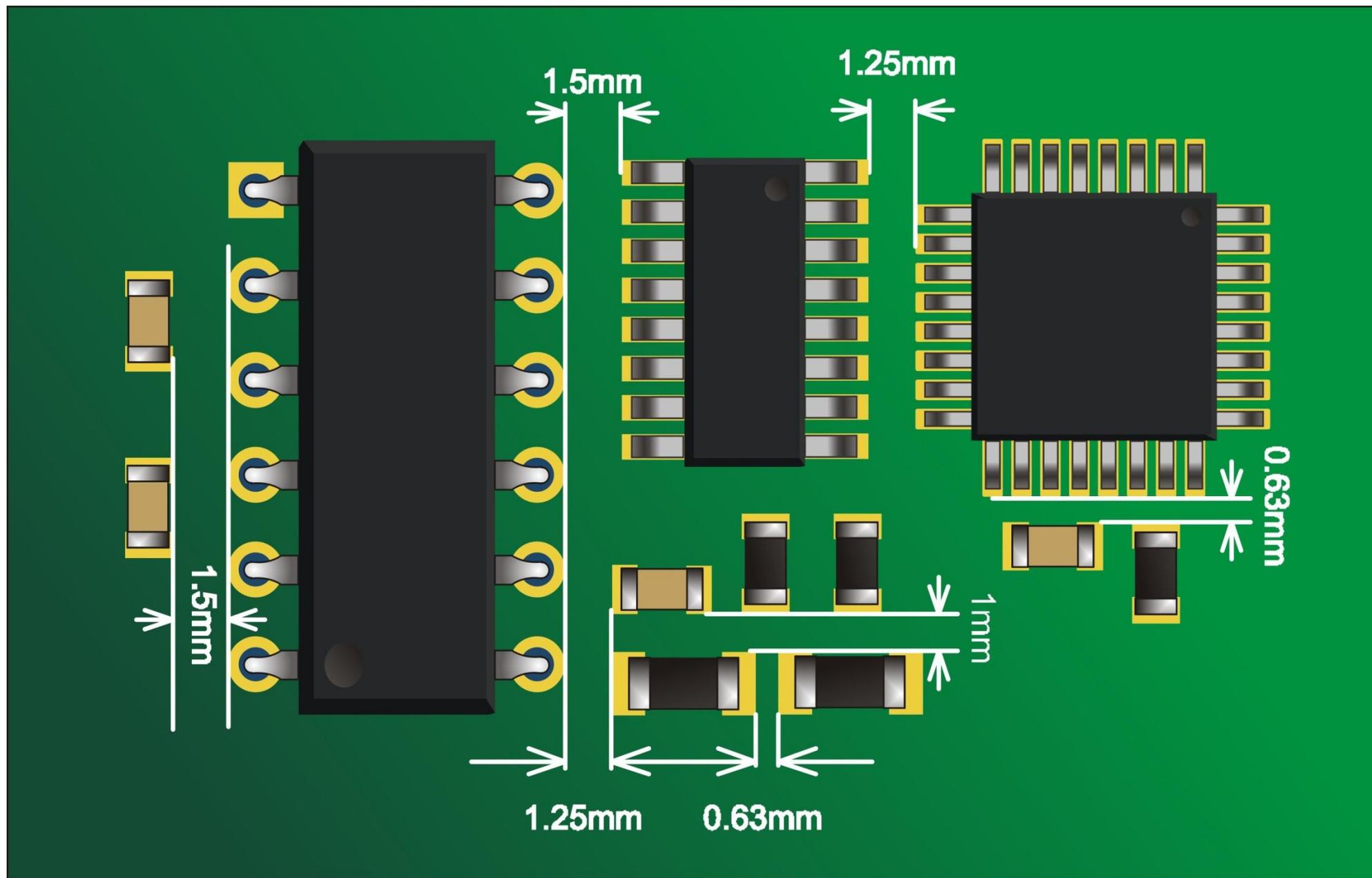
Допустимые расстояния между компонентами



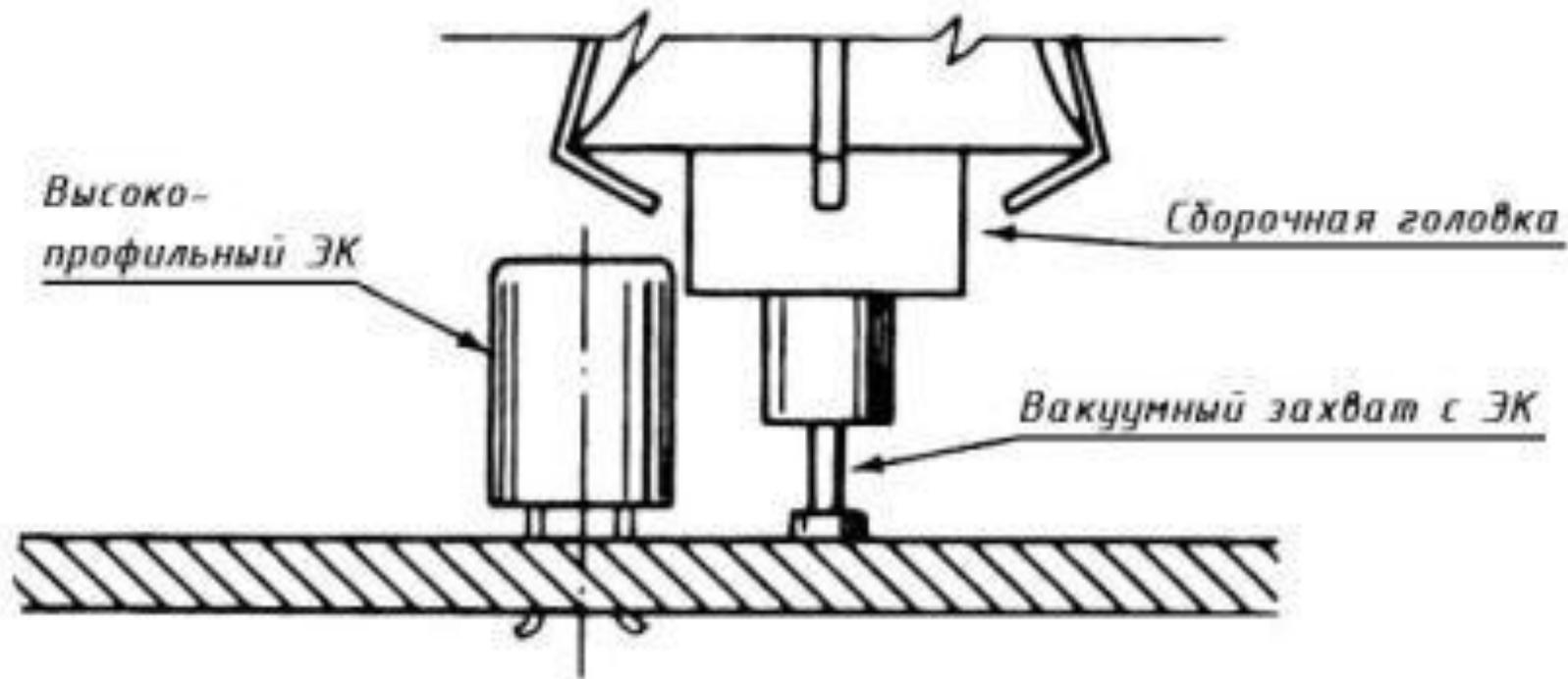
Допустимые расстояния между компонентами



Допустимые расстояния между компонентами



Учет расположения компонентов на ПП при наличии высокопрофильных элементов



В случае расположения рядом с монтируемым ЭК уже установленных высокопрофильных компонентов следует учесть наличие выступающих механизмов сборочной головки (насадки, элементов захватного устройства), которые могут помешать установке и выдержать необходимый зазор между высокопрофильным и низкопрофильным компонентами.

Рекомендации по расположению компонентов на плате

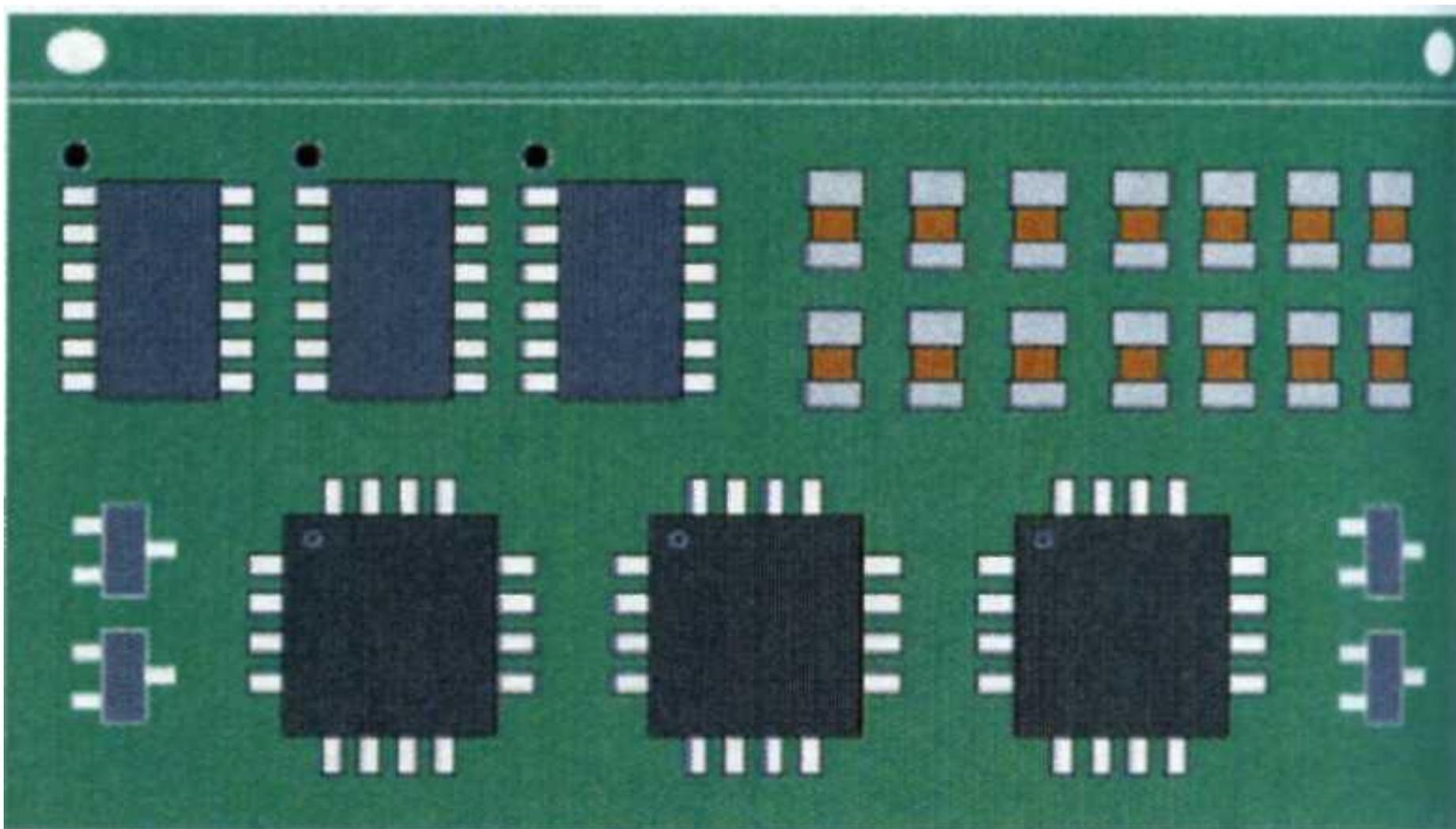
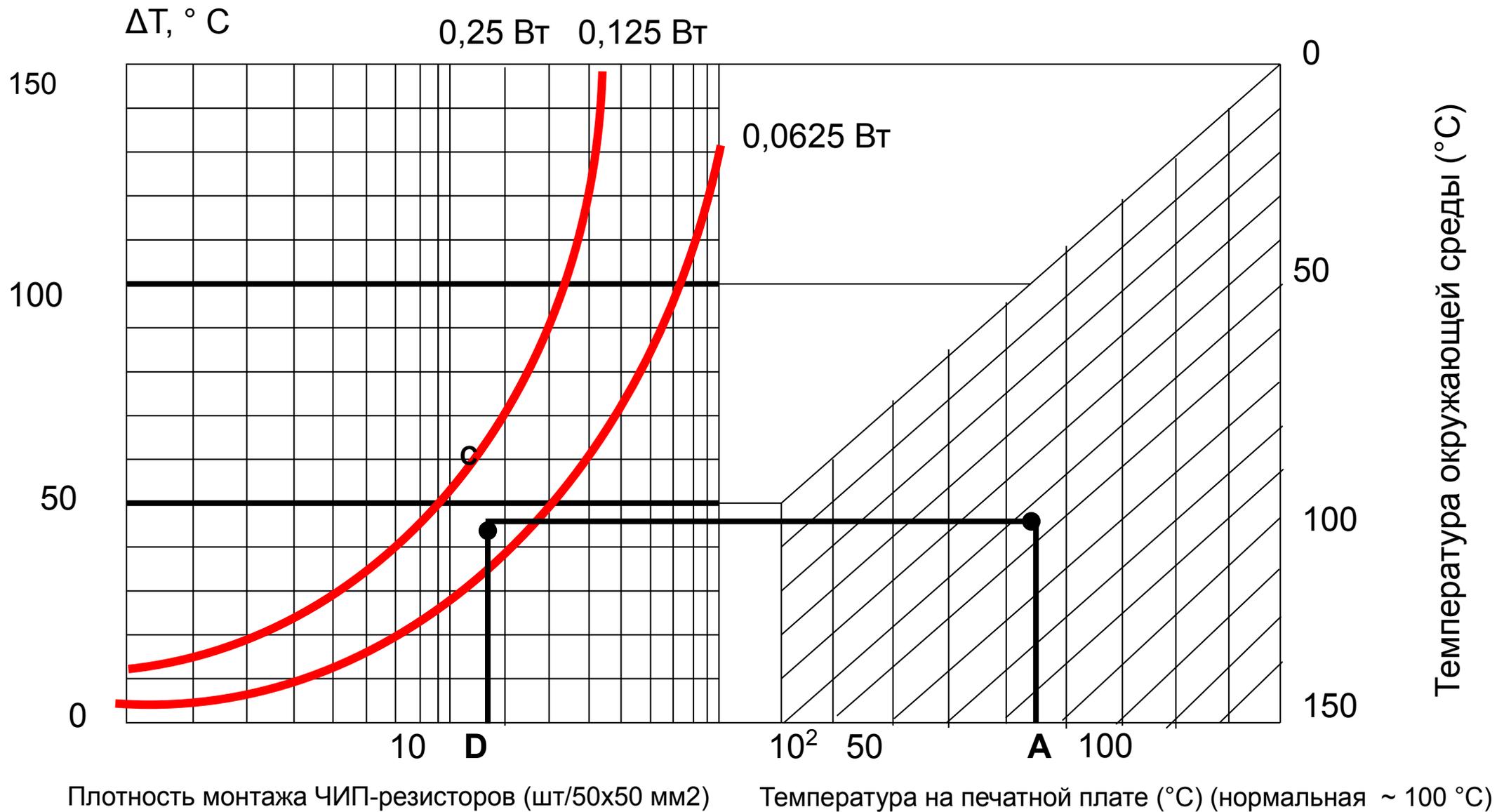
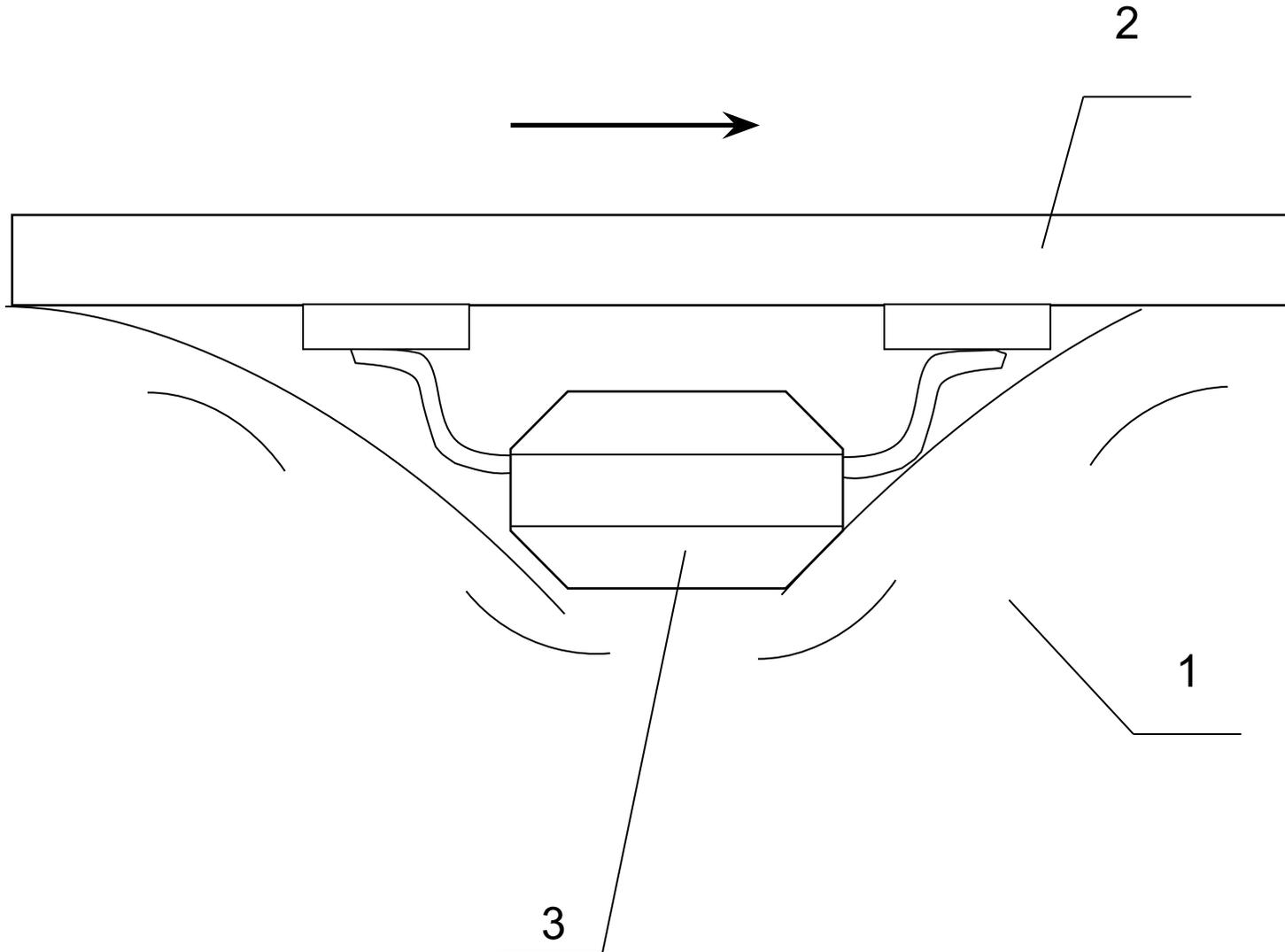


Рис. 3.21 Пример ПУ со сгруппированными по типам компонентам

Номограмма для определения допустимого количества чип-резисторов на плате

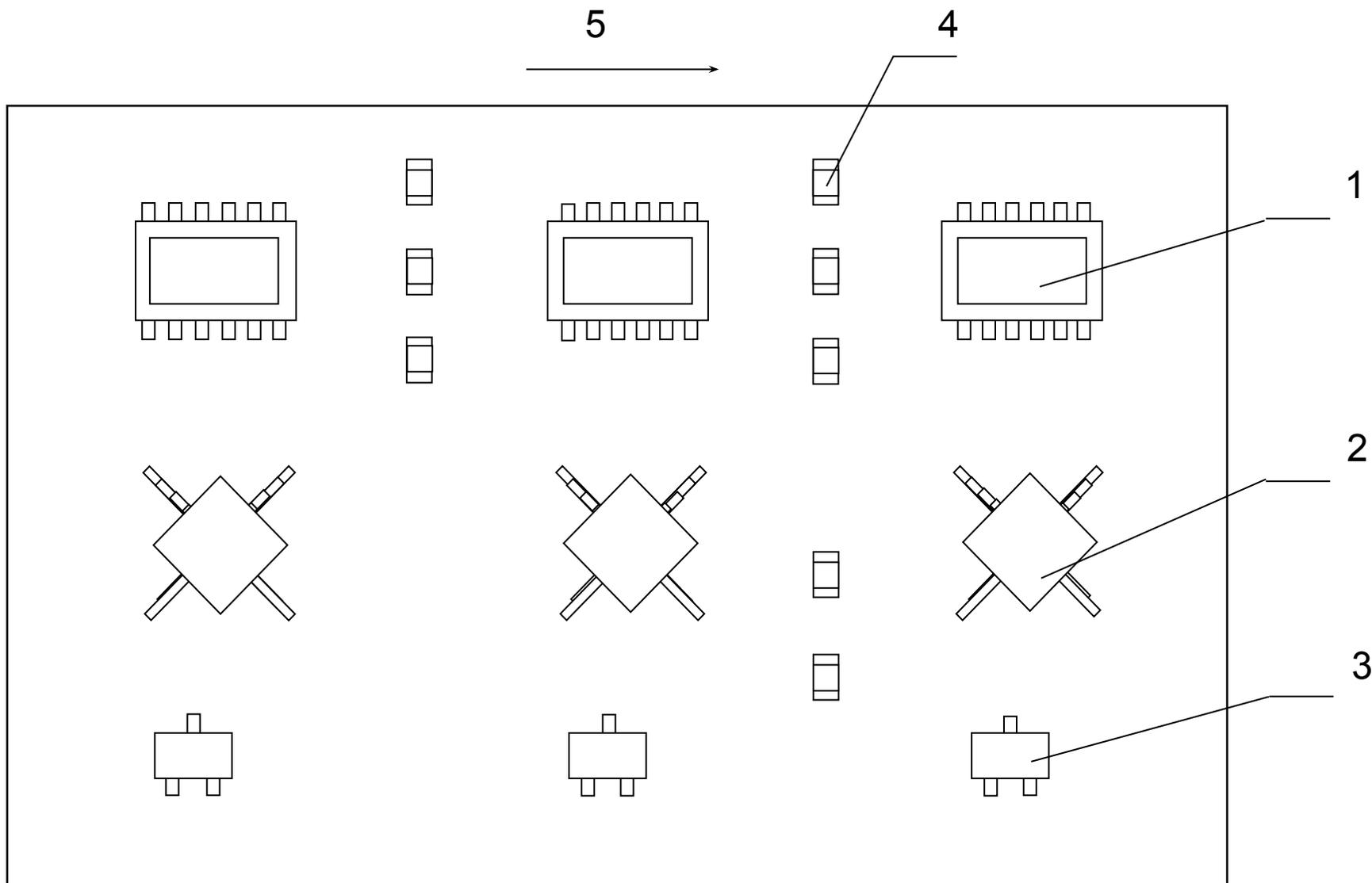


Проявление эффекта тени при пайке волной припоя



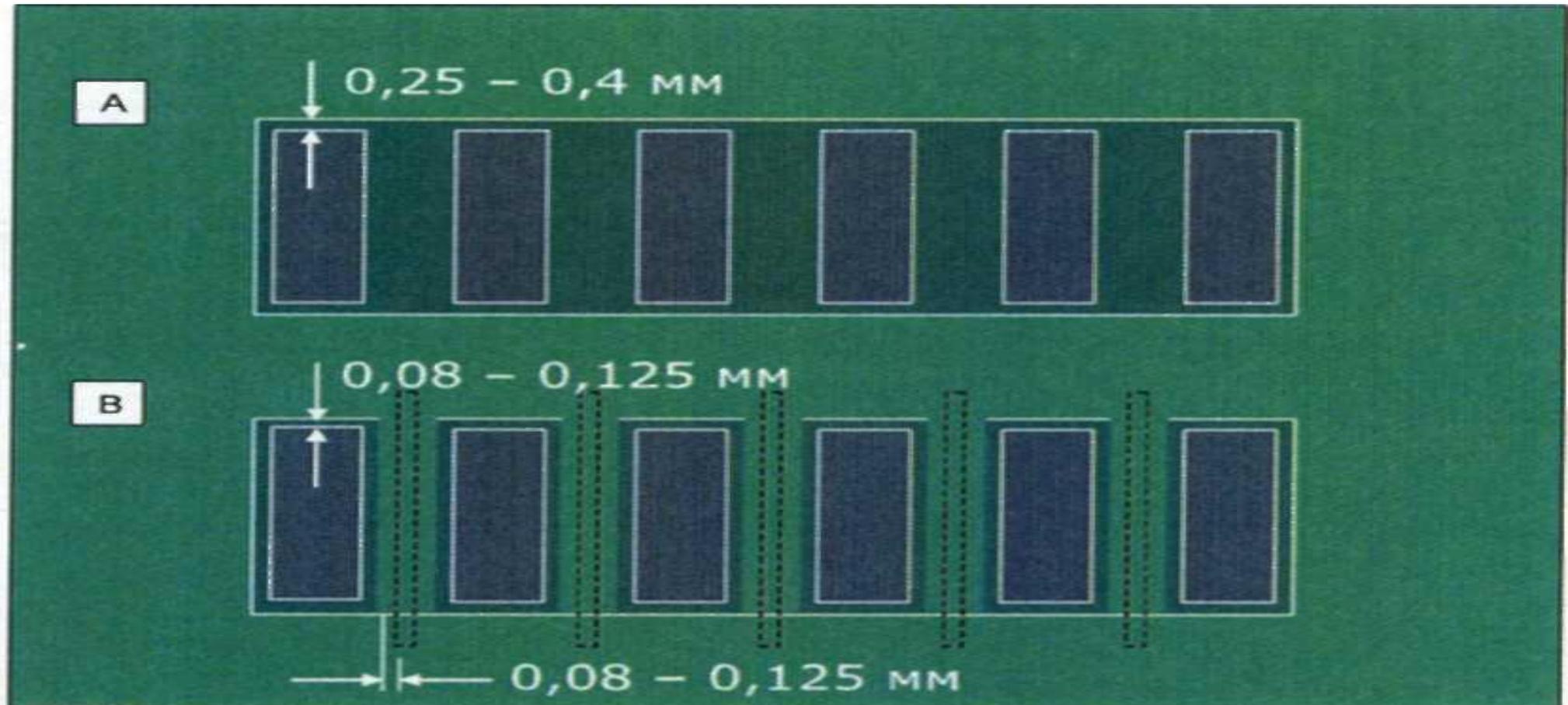
1 – припой; 2 – печатная плата; 3 – корпус микросхемы

Рекомендуемая ориентация КМП на плате при пайке волной припоя



1- корпус типа SOIC; 2 – корпус типа PLCC; 3 – корпус типа SOT;
4 – чип-элементы; 5 – направление движения платы

Зоны перекрытия контактных площадок паяльной маской



-  - Области ПП, покрытые паяльной маской.
-  - Базовый материал ПП без элементов проводящего рисунка, не покрытый паяльной маской.
-  - Контактные площадки для ПМИ.
-  - Элементы проводящего рисунка (проводники) на ПП под паяльной маской.

Маркировка ПП и групповых заготовок

Маркировка ПП и групповых заготовок производится с целью их последующей автоматической идентификации на операциях сборки, автоматической оптической инспекции, электрического контроля и ремонта.

Используются следующие типы маркировки:



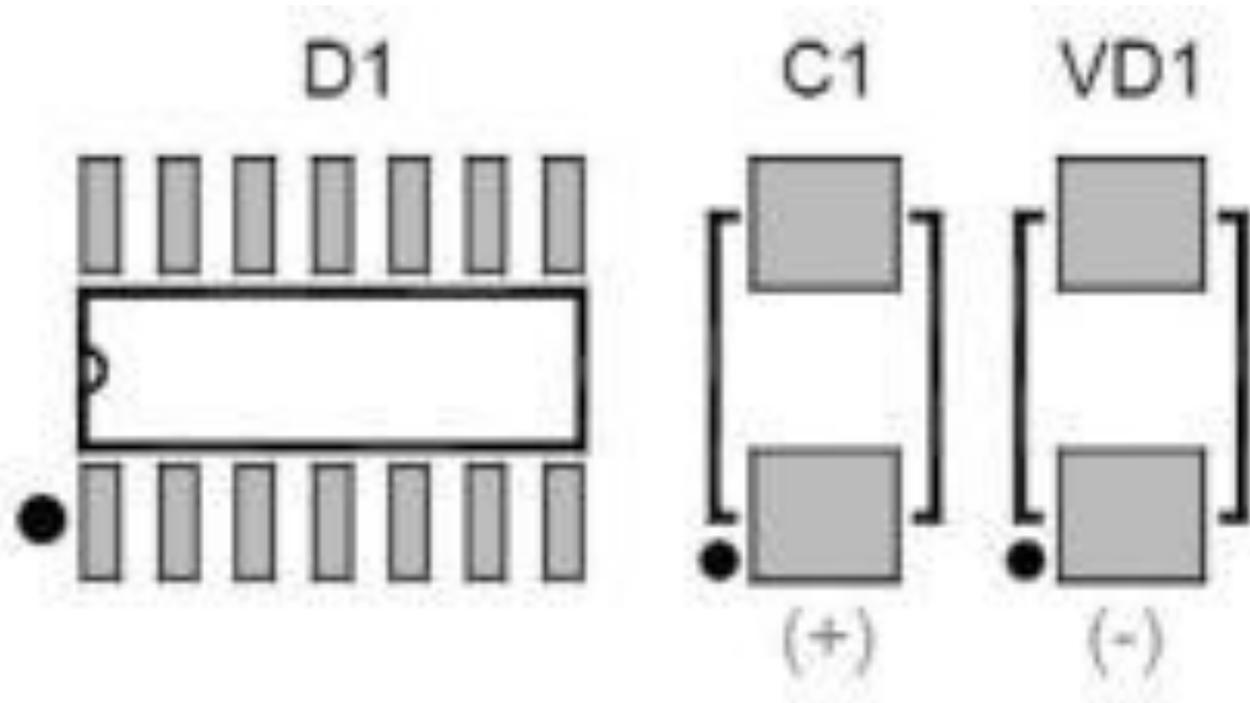
Пример маркировки, выполненной краской



Пример бумажной самоклеющейся ленты

Также отдельные виды маркировки могут быть выполнены в процессе травления фольги или же лазерным методом.

Требования к маркировке



Маркировка первого вывода ИС, обозначение позиции и полярности компонента должны быть видны после монтажа компонента на ПП, что упрощает визуальный контроль. Элементы маркировки компонентов, расположенных рядом друг с другом, не должны пересекаться и взаимно накладываться. Маркировку, наносимую методом шелкографии, желательно выполнять только в областях платы, покрытых защитной маской.

Размер символов должен быть как правило не менее 2 мм.

Элементы тест-контроля

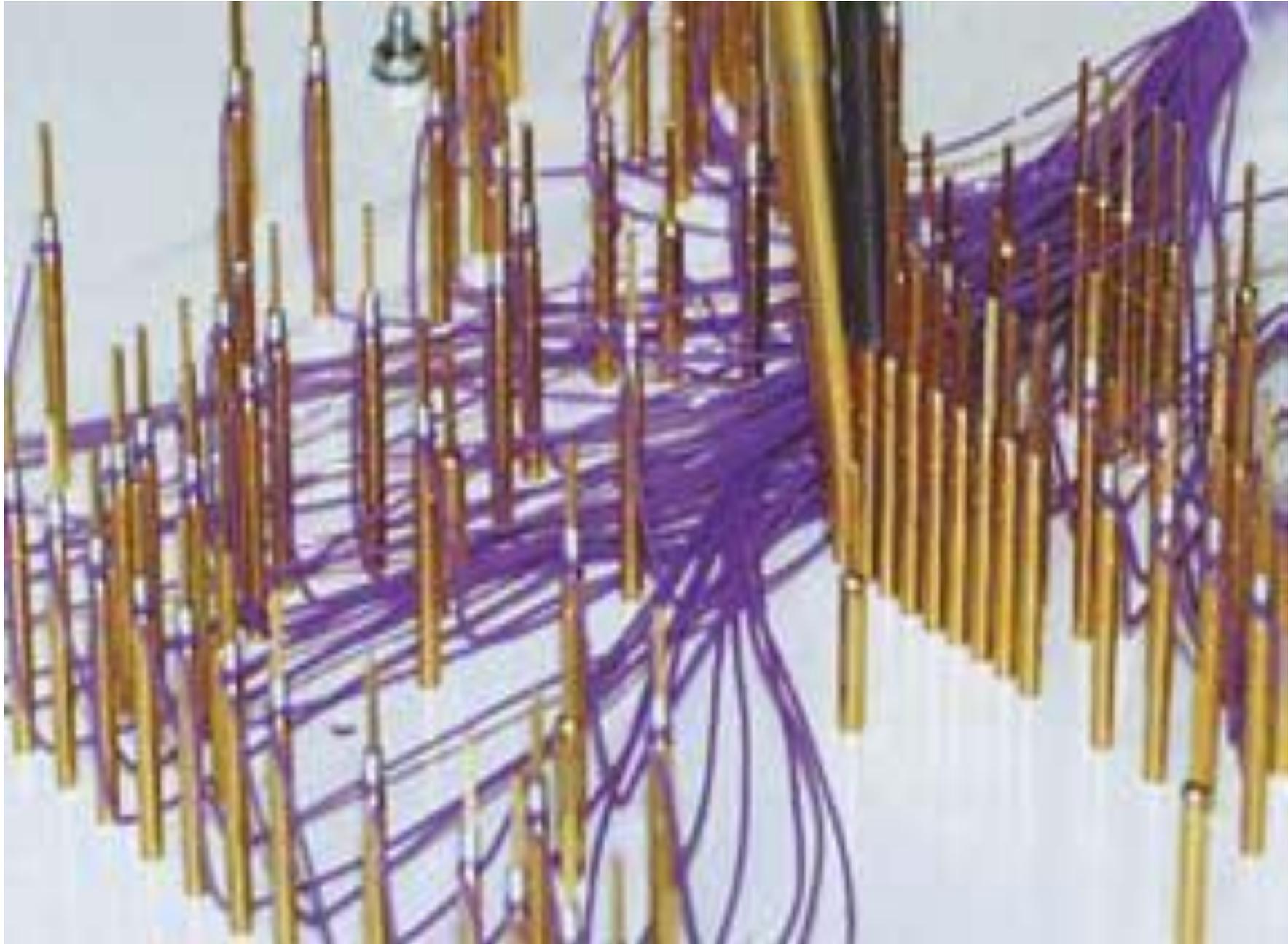
При изготовлении радиоэлектронных узлов проверка их функционирования может производиться путем тестирования в отдельных точках схемы или при подключении к имеющимся в конструкции печатной платы выходным разъемам.

В первом случае для этих целей разрабатываются специальные тестовые площадки, на которые устанавливаются зонды (стационарно расположенные или перемещаемые по программе – «летающие зонды»)

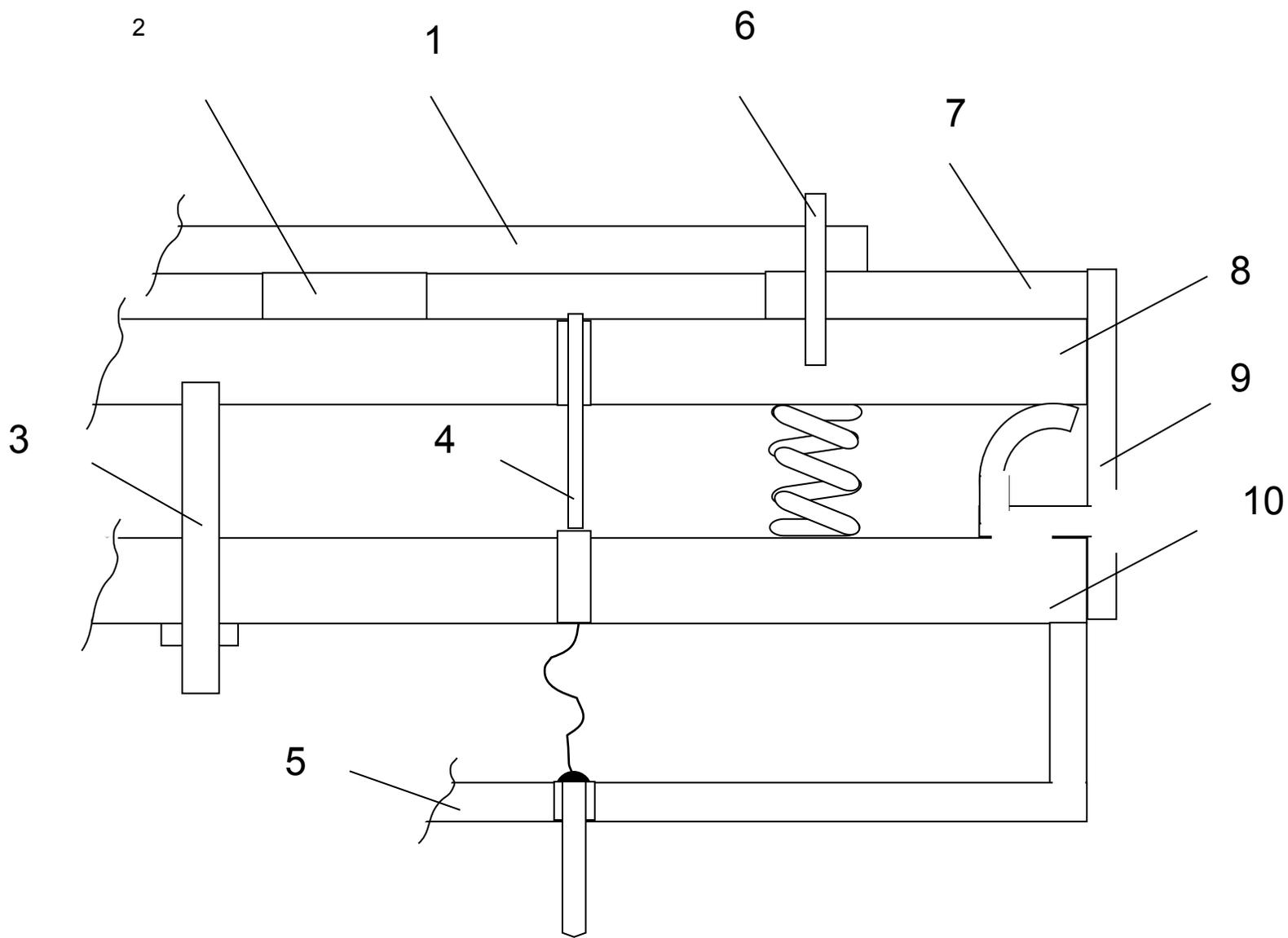
Соотношение различных видов контроля электрических параметров радиоэлектронных узлов



Внешний вид испытательной оснастки под названием «ложе гвоздей» (адаптерный тестер)

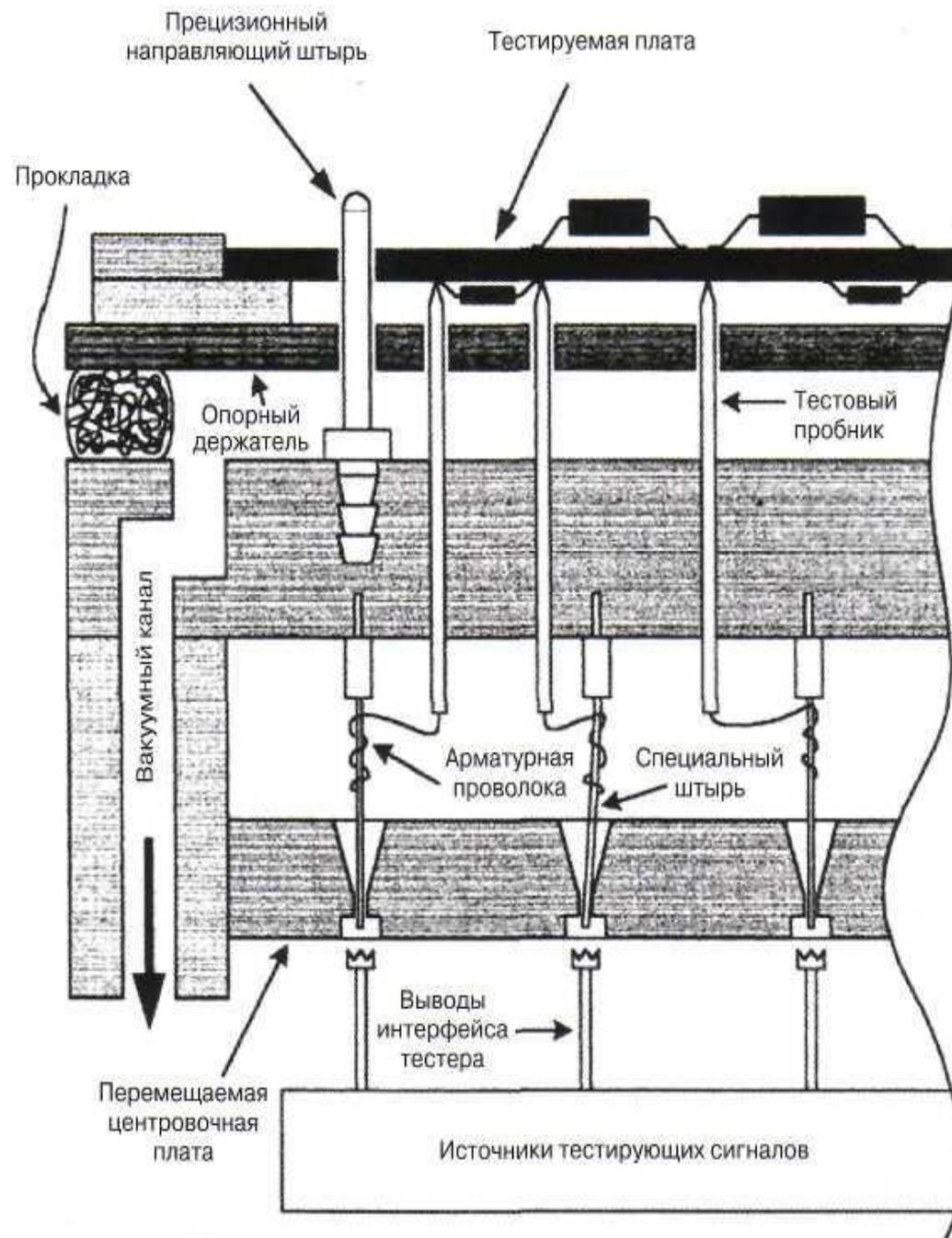


Пример конструкции испытательной оснастки

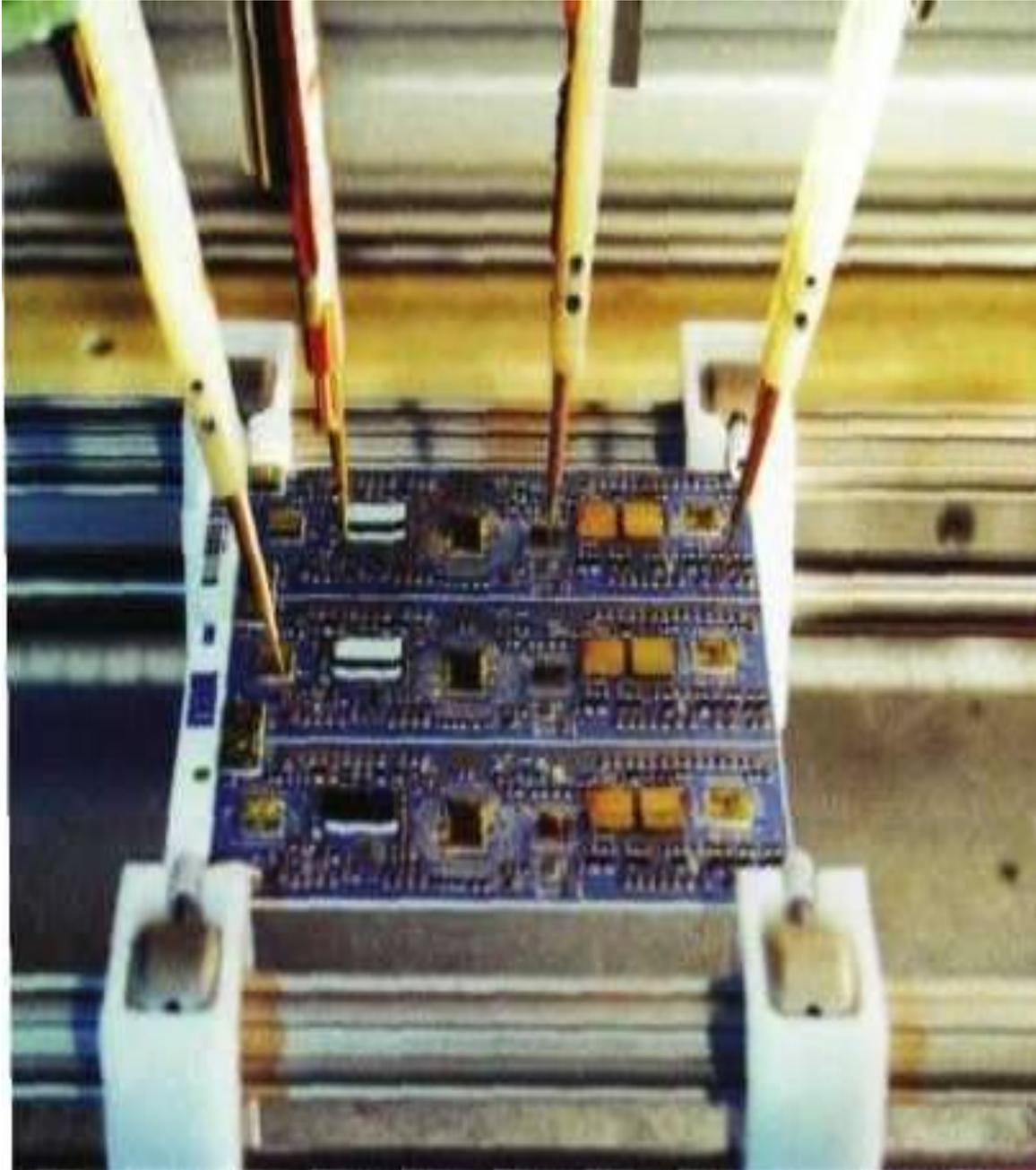


- 1 – печатная плата;
- 2 – упоры для платы;
- 3 – направляющий штифт оснастки;
- 4 – зонд;
- 5 – интерфейс системы;
- 6 - технологический штифт для платы;
- 7 – прокладка;
- 8 – верхняя плита;
- 9 – вакуумная магистраль;
- 10 - нижняя плита

Пример конструкции испытательной оснастки



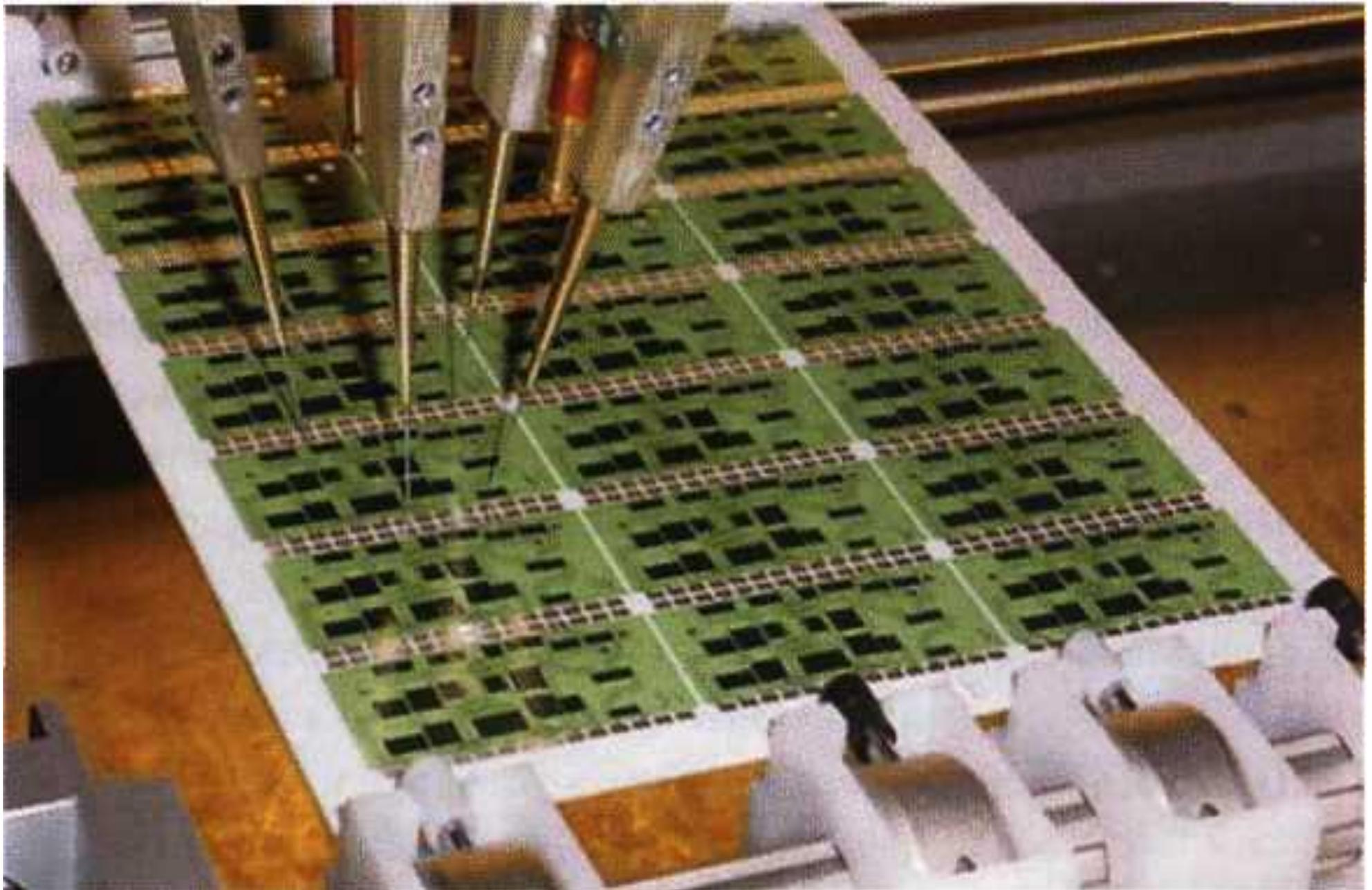
Тестирование с помощью летающих зондов



Технические возможности:

- 248 фиксированных и 4 "летающих" зондов
- размер плат - до 400x500 мм
- скорость тестирования - до 50 тестов в секунду.
- минимальный размер контактной площадки составляет 200 мкм
- измерение параметров резисторов, конденсаторов, индуктивностей, диодов, стабилитронов
- тест устройств при подключении до 15 источников питания
- выполнение автоматической оптической инспекции с распознаванием символов маркировки

Тестирование плат летающими зондами



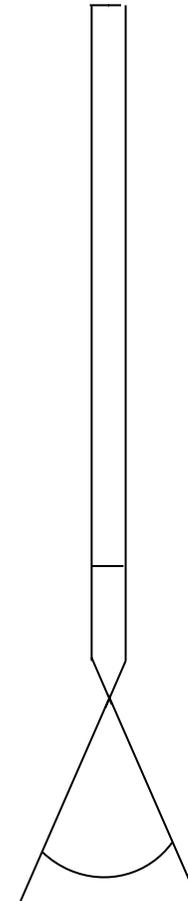
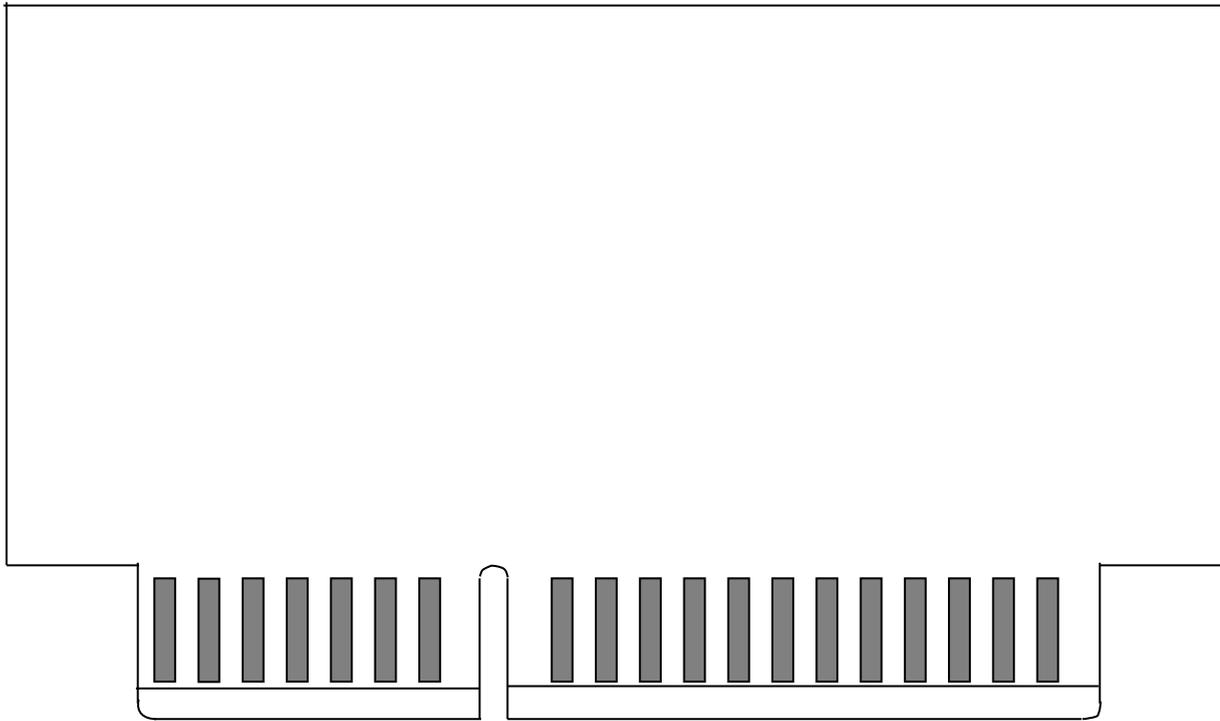
Элементы тест-контроля

При проектировании элементов тест-контроля необходимо учитывать следующее

- зондовый контакт контрольного приспособления должен осуществляться только с тестовыми площадками либо площадками межслойных переходов, а не с выводами компонентов;
- испытательная площадка должна иметь диаметр не менее 1 мм и должна быть покрыта припоем;
- контактные площадки должны проектироваться как правило с шагом 2,5 мм. При большой плотности тестовых площадок шаг их расположения должен быть не менее 1,25 мм;
- тестовые площадки следует размещать на расстоянии не менее 5 мм от высокопрофильных компонентов (высотой более 5 мм). При более низких компонентах это расстояние должно быть не менее 1,5 мм;
- площадь по периферии платы должна быть свободной. Для надежного прижима испытательной оснастки к плате достаточна свободная зона шириной 3,2 мм;
- зондовые измерения не должны сосредотачиваться в одной зоне платы, поскольку плата может деформироваться во время испытаний под действием зондов;
- следует избегать расположения тестовых площадок с двух сторон платы, так как это приводит к существенному усложнению испытательной оснастки.

Особенности конструкции печатной вставки

(для разъемов типа SL-36, SL-62, SL-98, SL-120, СНП 15-96)



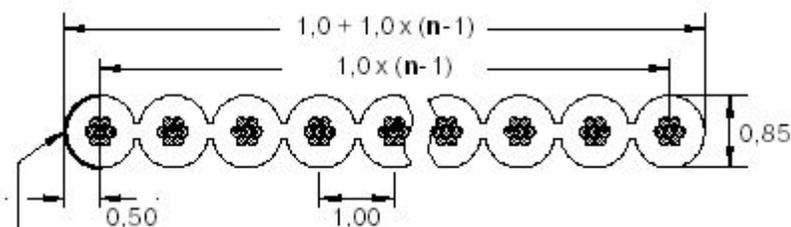
ПЛОСКИЙ ЛЕНТОЧНЫЙ КАБЕЛЬ FRC



СИСТЕМА ОБОЗНАЧЕНИЙ: **FRC 1 - 09 - 31**
1 2 3 4

- 1. FRC** - плоский ленточный кабель
(от англ. Flat Ribbon Cable)
- 1** - шаг 1,00 мм
не обозначается - шаг 1,27 мм
- 3**. Количество проводников
- 4**. Количество метров в бухте (76 м или 31 м)

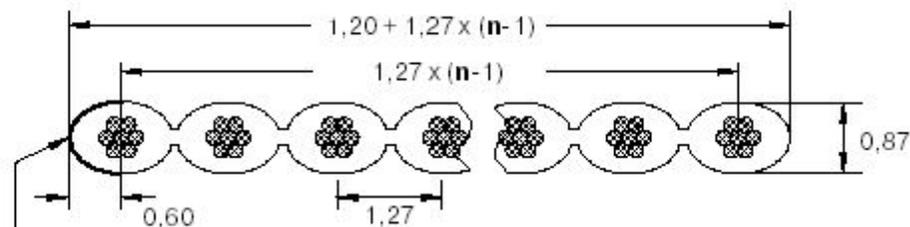
Шаг проводников: **1,00 мм**
Материал проводника: **луженая медь**
Сечение: **28 AWG (7 x 0,127 мм)**
Материал изоляции: **поливинилхлорид**
Рабочее напряжение: **300 В**
Диапазон рабочих температур: **-20°C...+105°C**
Импеданс: **100 Ом**
Задержка сигнала: **4,7 нс/м**
Емкость: **46 пФ/м**
Индуктивность: **0,46 мкГн/м**
Сопротивление изоляции: **не менее 1 ГОм/м**



красная маркировочная полоса
n - количество проводников

Кабель 1,00 мм поставляется
с количеством проводников (**n**):
20, 26, 34, 44, 50,
в стандартных бухтах по 76м и 31м

Шаг проводников: **1,27 мм**
Материал проводника: **луженая медь**
Сечение: **28 AWG (7 x 0,127 мм)**
Материал изоляции: **поливинилхлорид**
Рабочее напряжение: **300 В**
Диапазон рабочих температур: **-20°C...+105°C**
Импеданс: **115 Ом**
Задержка сигнала: **4,6 нс/м**
Емкость: **40 пФ/м**
Индуктивность: **0,46 мкГн/м**
Сопротивление изоляции: **не менее 1 ГОм/м**

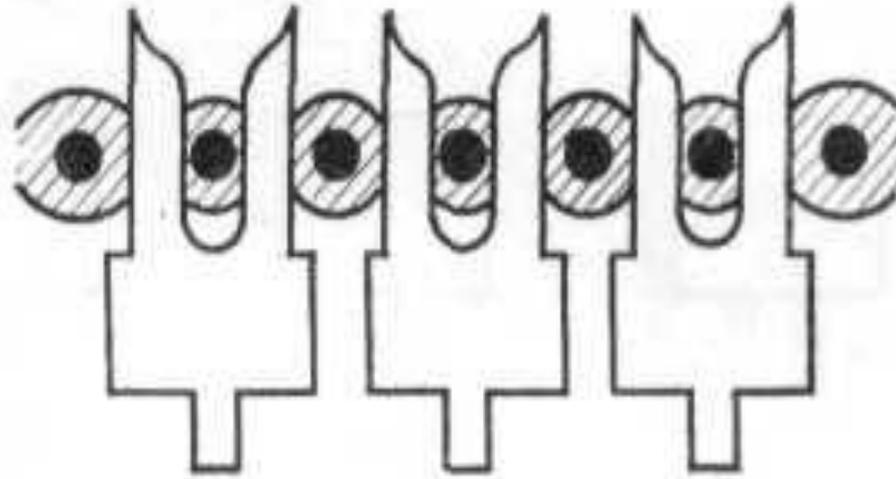


красная маркировочная полоса
n - количество проводников

Кабель 1,27 мм поставляется
с количеством проводников (**n**):
9, 10, 14, 15, 16, 20, 24, 25, 26, 34, 40, 50, 60, 64,
в стандартных бухтах по 76м и 31м

Кабель поставляется серого цвета с красной маркировочной полосой крайнего проводника с одной стороны шлейфа.

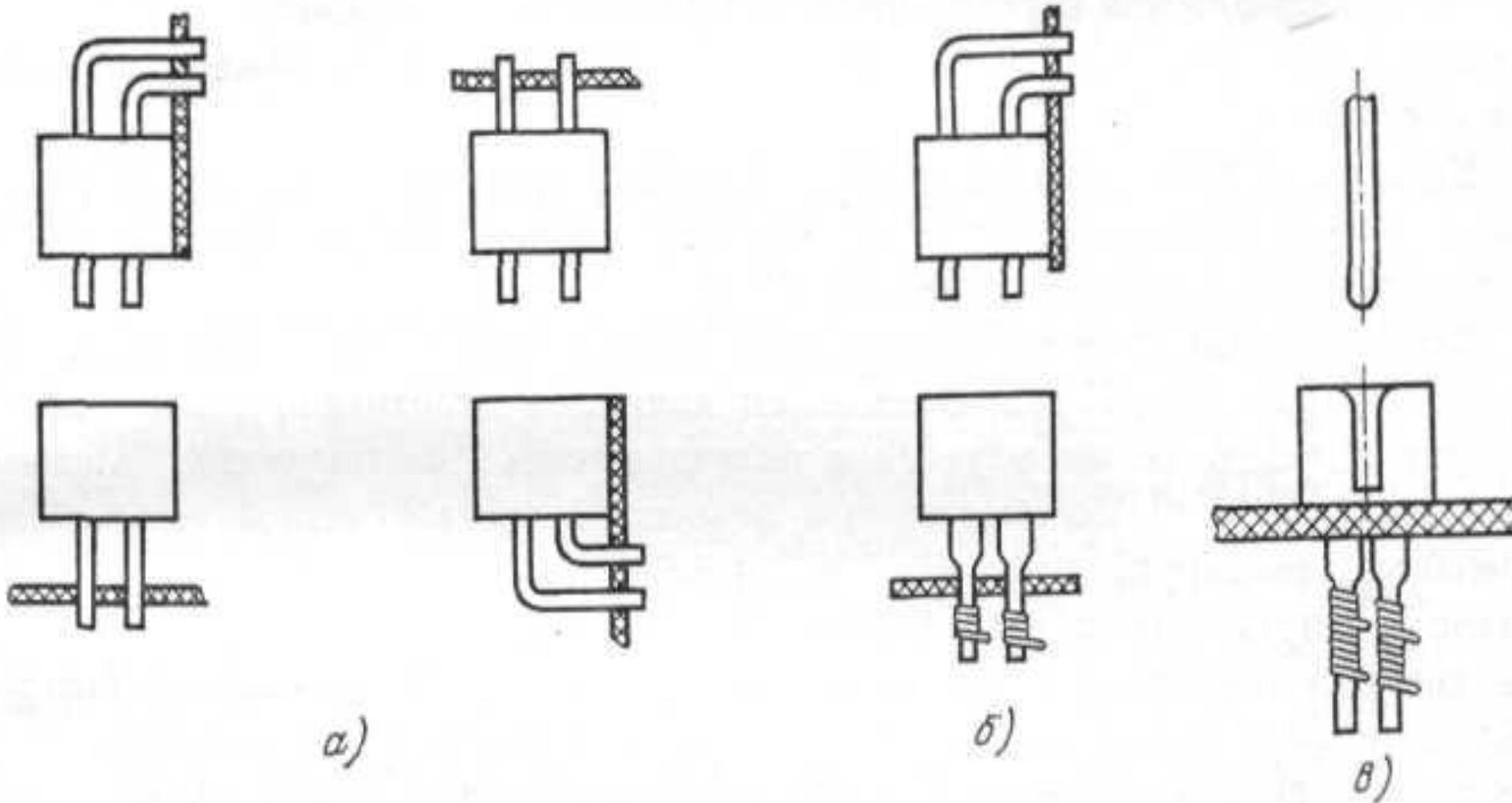
Присоединение кабеля к контактам способом прокалывания



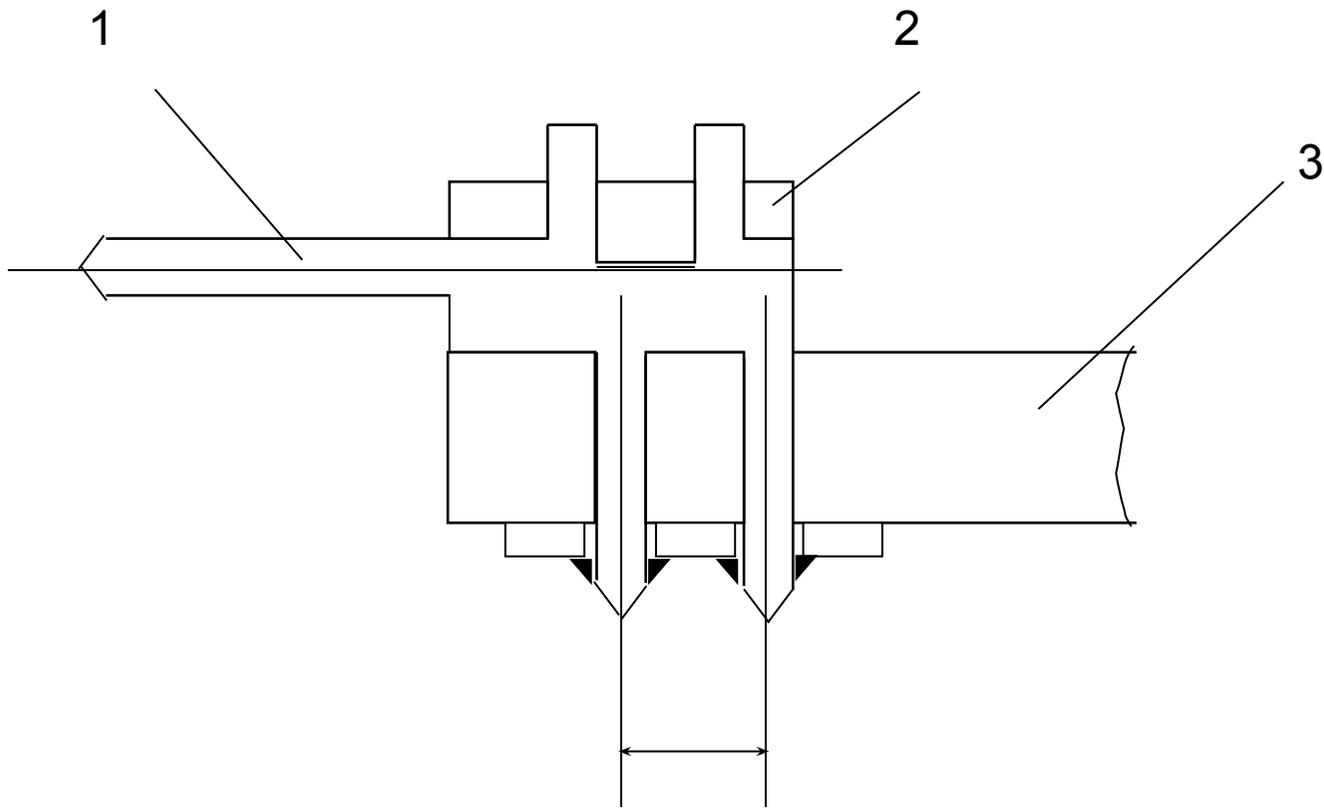
При соединении способом прокалывания провод с изоляцией с усилием вводится между зубьями вывода разъема. Зубья, прокалывая электроизоляционный материал, обеспечивают контактирование с проводом, деформируя его. При этом распайка проводников не требуется. Такой метод успешно применяется при монтаже ленточных кабелей.

Методы установки и присоединений соединителей к печатным платам, расположенным во взаимно перпендикулярных плоскостях:

а — пайка под углом и впрямую; б — пайка и накрутка; в — пайка и накрутка при непосредственном сочпенении печатных плат

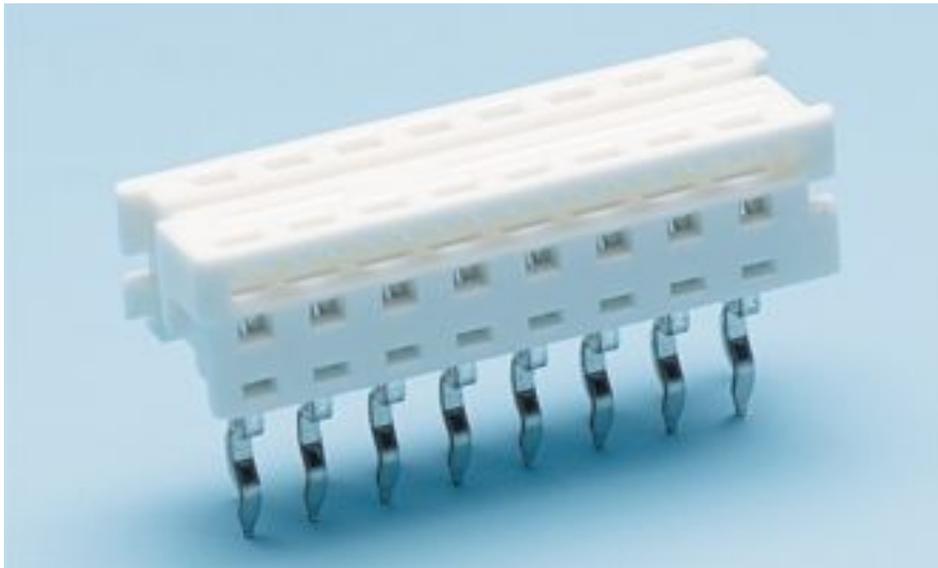


Конструкция ви́лки Онп-КГ-26



- 1 – штырь разъема;
- 2- планка разъема;
- 3 – печатная плата

Разновидности разъемов, устанавливаемых на печатные платы

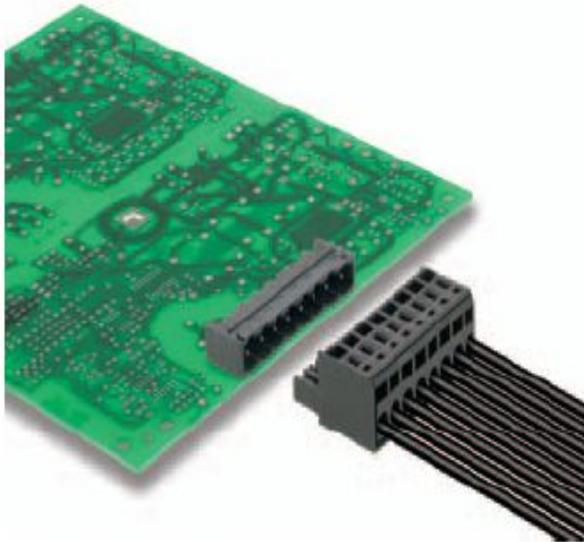


Разъемы для монтажа на поверхность

Omnimate Range
Pitch 5.00 / 5.08

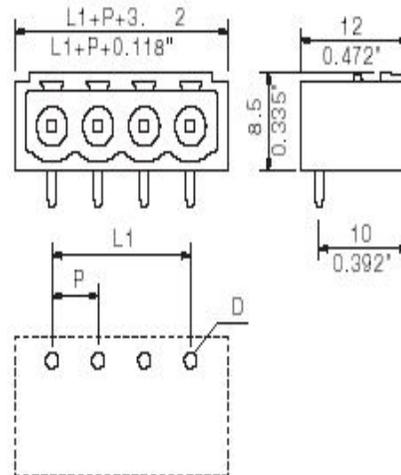
THR solder connection pin headers

SL-SMT 5.00/90G
SL-SMT 5.08/90G

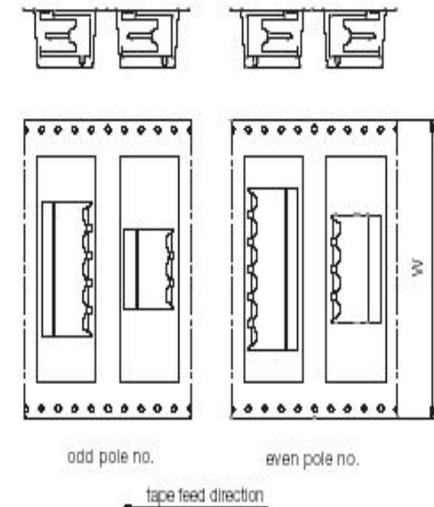


- 250 V (IEC) / 300 V (UL)
- 19 A (IEC) / 15 A (UL)

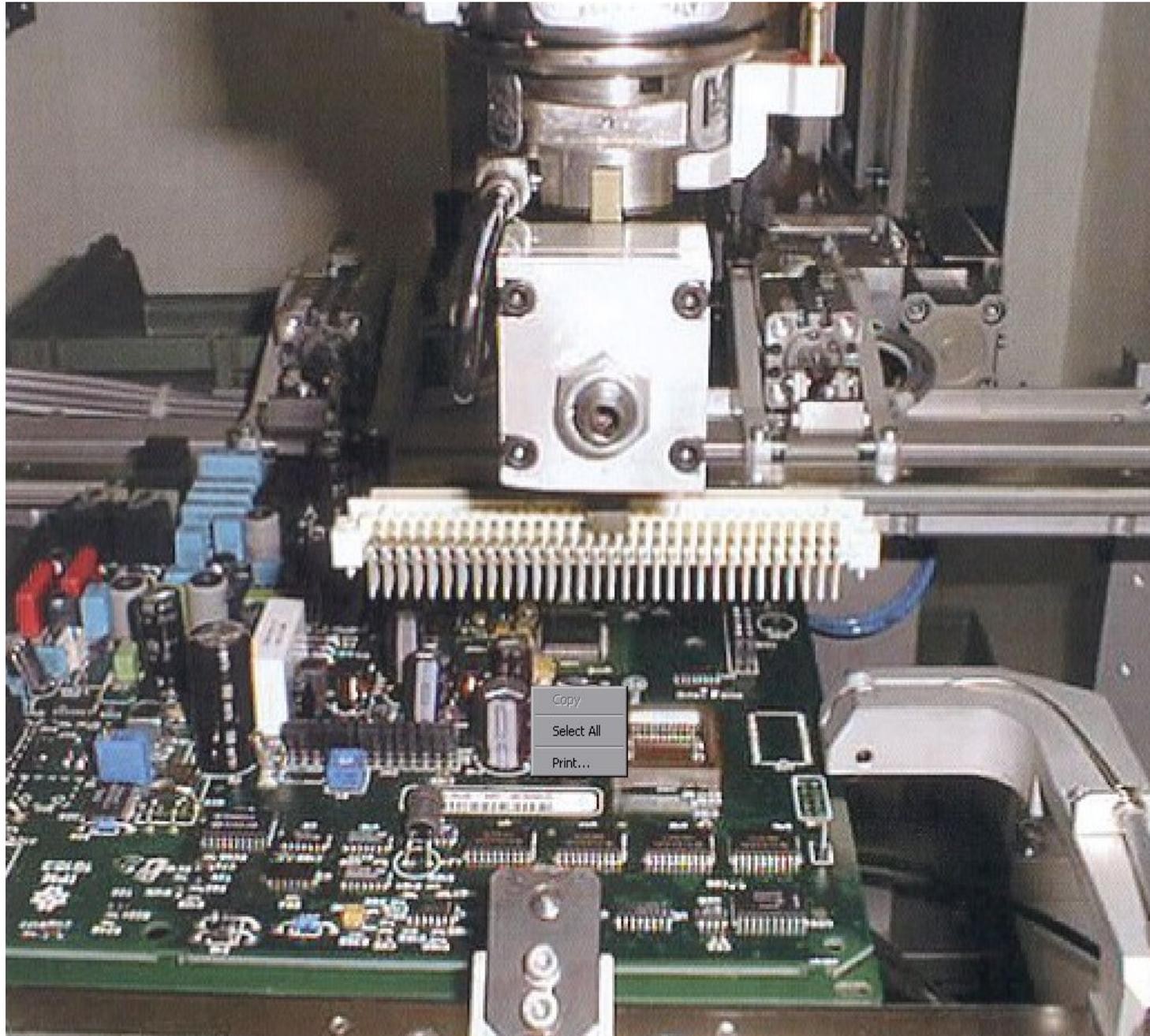
SL-SMT 5.00/90G Box
SL-SMT 5.08/90G Box



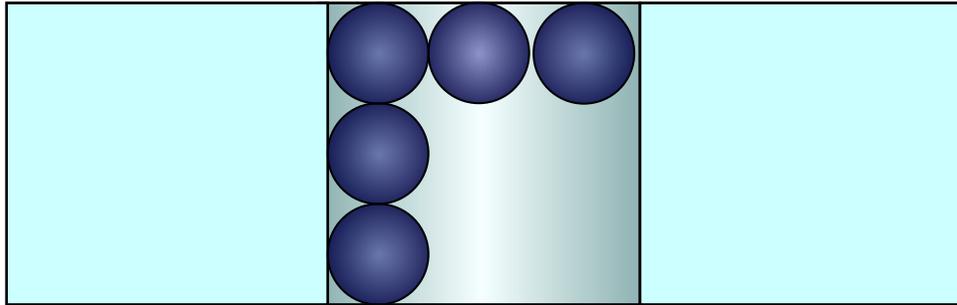
SL-SMT 5.00/90G Tape
SL-SMT 5.08/90G Tape



Автоматическая установка разъема с использованием механического захвата

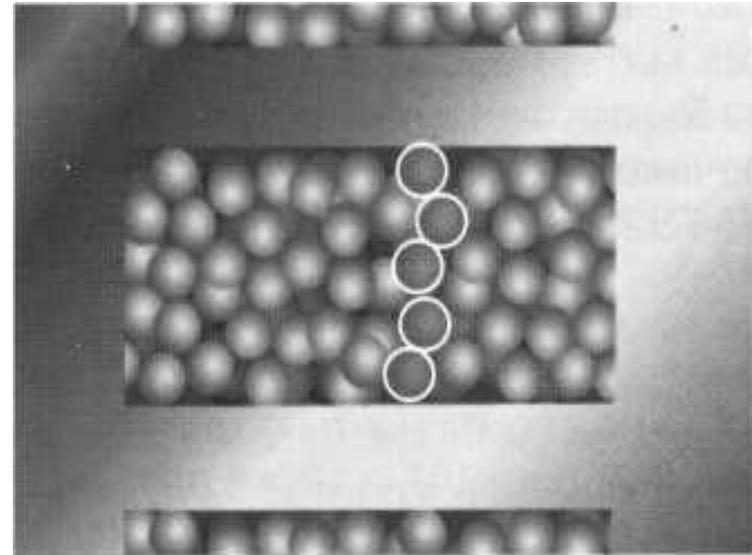


Рекомендации по проектированию трафаретов



Правило трех шариков

Для большинства случаев рекомендуется применять трафареты толщиной 125 - 200 мкм. Трафареты толщиной меньше 100 мкм использовать не рекомендуется, так как они легко деформируются при многократном проходе ракеля

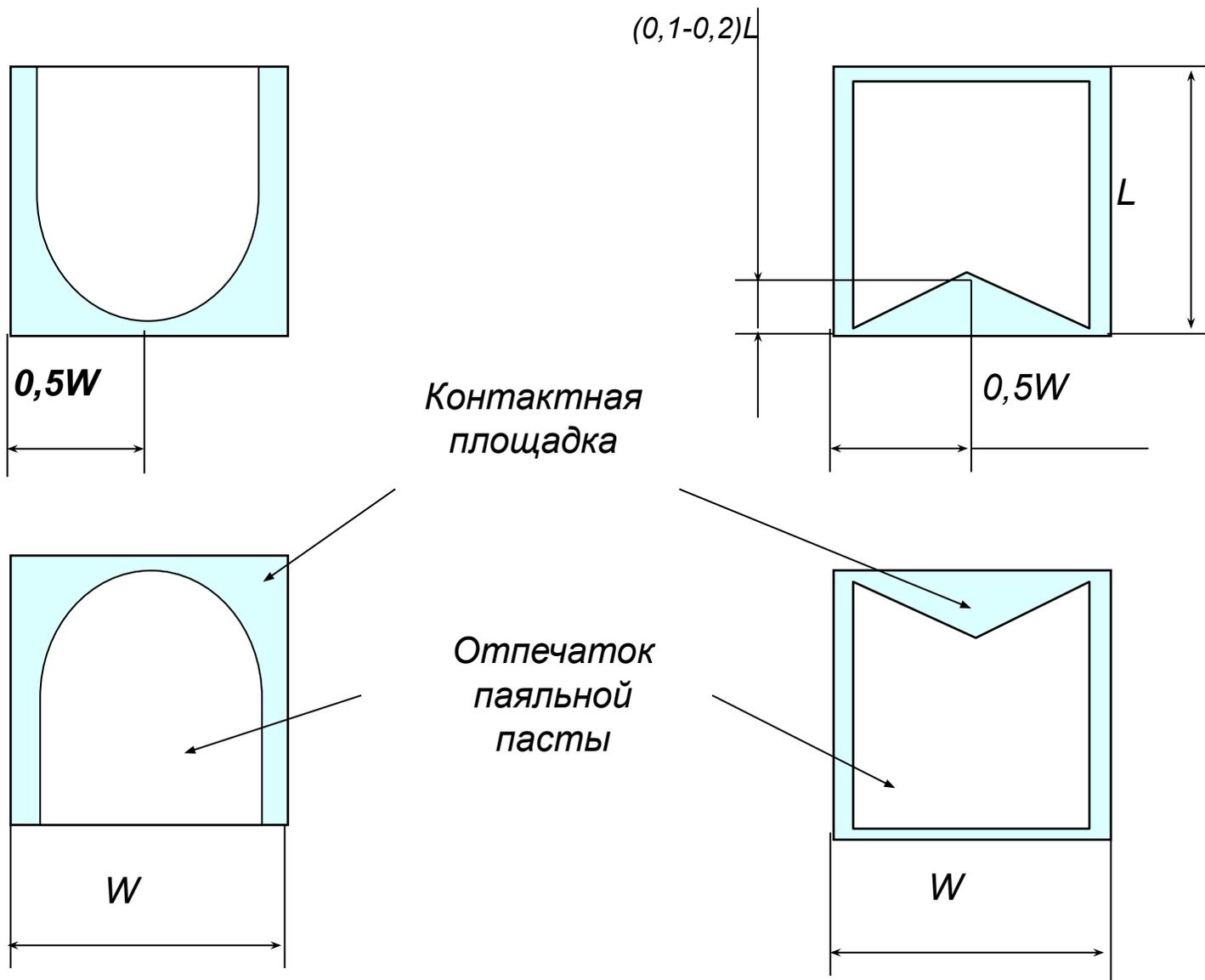


Предпочтительная ширина окна в трафарете, равная 5 шарикам припоя

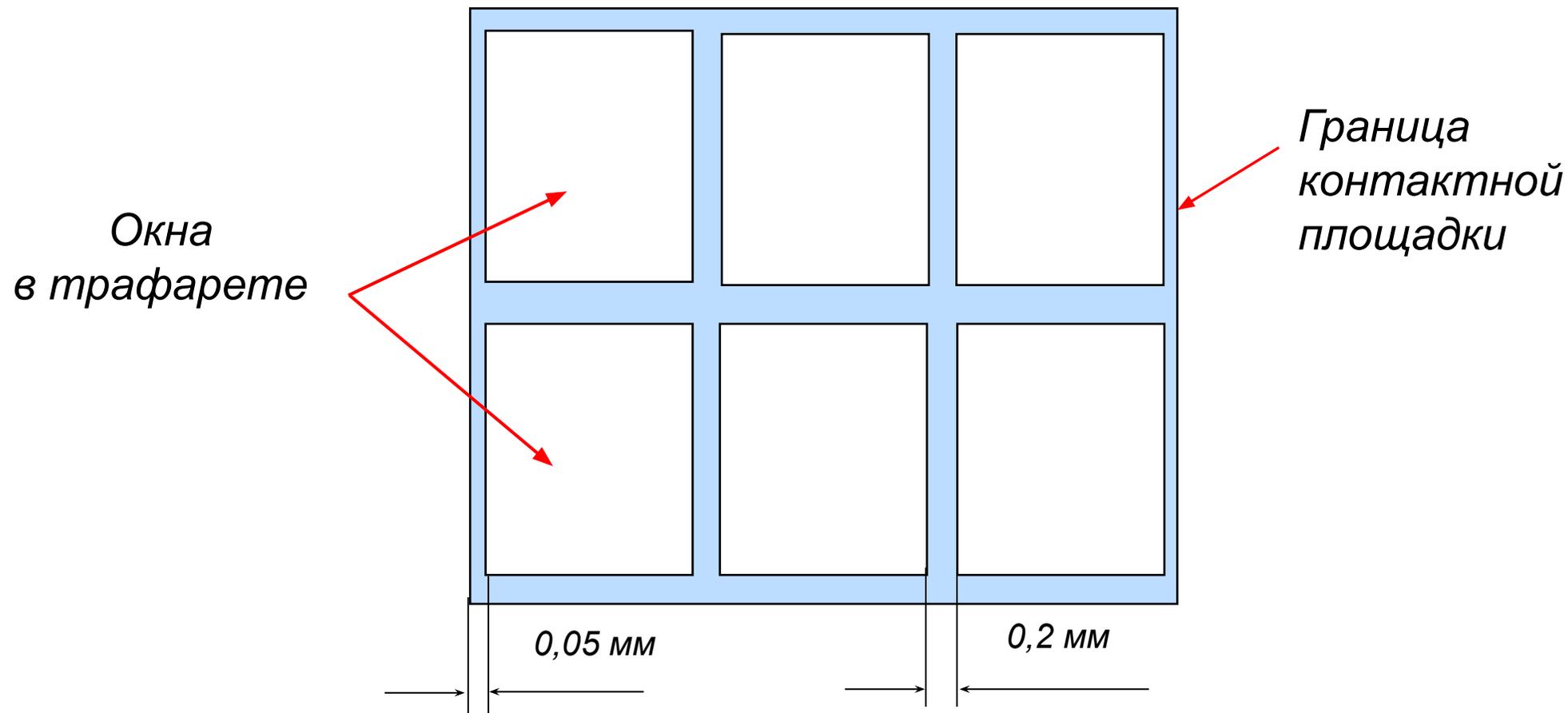
Рекомендуемая толщина трафарета

Минимальный шаг выводов компонентов	Рекомендуемая толщина трафарета	Рекомендуемый размер частиц припоя
0,65 мм	200 мкм	45 - 75 мкм
0,50 мм	125-150 мкм	25 - 45 мкм
0,40 мм	75-100 мкм	20 - 38 мкм

Конструкция окон в трафарете для предотвращения образования шариков припоя



Уменьшенные окна для крупных контактных площадок во избежание вычерпывания припоя



Использование программ **Sprint Lay Out** и **Dip Trace**

для ручной трассировки печатных плат



Программное обеспечение для разработки печатных плат

- Полный перечень программ см.: <http://www.rcmgroup.ru/Программное-обеспечение-dlja-proektirovanija-pech.345.0.html>, а также на диске N
- SPRINT
Программный пакет CAD/CAM для создания схем и трассировки печатных плат.
Доступна облегчённая бесплатная версия.
- DipTrace

Особенности разработки печатной платы с использованием программы Sprint-Layout

1. Общие сведения о программе
2. Интерфейс программы
3. Процесс создания печатной платы
4. Разводка печатных проводников
5. Печать чертежей
6. Экспорт файлов и фоновый рисунок
7. Вставка разводки печатной платы и компоновки в Компас

Работа со Sprint-Layout

Содержание

Предисловие

1. Введение

2. Создание печатной платы

2.1. Размеры платы

2.2. Размер сетки

2.3. Слой проводников и слой маркировки

2.4. Линейки и панель навигации

3. Функции формирования топологии

3.1. Основные функции формирования топологии

3.2. Проводники

3.3. Контактные площадки для выводного монтажа, переходные отверстия

3.4. Контактные площадки для поверхностного монтажа

3.5. Проводники в форме окружности/сегмента

3.6. Заливка

3.7. Многоугольники

3.8. Текст

4. Функции редактирования

4.1. Использование буфера обмена

4.2. Лупа

4.3. Поворот, отражение и выравнивание

4.4. Работа с группами объектов

4.5. Перемычки

4.6. Автотрассировка

4.7. Тестирование сетей

4.8. Измерение расстояний

4.9. Общая шина

4.10. Фотовид

4.11. Управление с клавиатуры

4.12. Редактирование нескольких плат

4.13. Автосохранение

4.14. Фоновое изображение