



Кафедра ИУ6

Компьютерные системы и сети

Московский государственный технический университет  
им. Н.Э. Баумана

# Конструирование и технология производства вычислительной техники

Весна 2026





Кафедра ИУ6

Компьютерные системы и сети

Московский государственный технический университет  
им. Н.Э. Баумана

# Основы организации производственных процессов изготовления ВТ



## СТРУКТУРА ЛЕКЦИИ

- основные задачи и понятия;
- типы производства;
- основные технологические документы;
- разработка технологических документов;
- алгоритм изготовления электронных модулей;
- основные технологические операции и оборудование при изготовлении электронных модулей и блоков.

## ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ПРОИЗВОДСТВА КОНСТРУКЦИИ

**Конструкция электронной аппаратуры (ЭА)** - это совокупность механически и электрически связанных элементов и деталей.

При производстве ЭА и её конструктивных модулей всех уровней, в том числе и микросхем, необходимо:

- изготовить компоненты (детали);
- выполнить сборку, т. е. их механическое соединение;
- осуществить электрический монтаж;
- произвести наладку.

**Трудоёмкость** видов техпроцесса при производстве ВТ имеет примерно следующее соотношение:

- обработка – 8...15%;
- сборка – 15...20%;
- электрический монтаж – 40...60%;
- наладка – 20...25%.

Это соотношение существенно зависит от степени интеграции элементной базы, уровня КМ и др.

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА

- **Изделие** – любой предмет (деталь, сборочная единица, комплекс и комплект), подлежащий изготовлению на предприятии.
- **Деталь** – изделие, изготовленное из однородного материала без применения сборочных операций, например ось, клемма, рама и т. д.
- **Сборочная единица** – изделие, составные части которого подлежат соединению на предприятии изготовители сборочными операциями, например ТЭЗ, блок и т. д.
- **Комплекс** – два или более изделия, не соединённых на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенное для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций.
- **Комплект** – два или более изделия, не соединённые на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющие набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера, (комплект измерительной аппаратуры).

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

- **Узел** – изделие, имеющее две или более детали, связанные разъёмным или неразъёмным соединением
- **Производственный процесс** – совокупность действий рабочих и орудий производства, в результате которых исходные материалы, полуфабрикаты и исходные компоненты превращаются в готовую продукцию (платы, блоки и т. д.).
- **Технологический процесс (ТП)** – часть производственного процесса, непосредственно связанная с последовательным изменением состояния изделия, превращая его в готовую продукцию. Он делится на операции.
- **Производственная система** – совокупность элементов (оборудование, люди, материалы), направленных на выпуск продукции.
- **Технологическая операция (ТО)** – законченная часть ТП, выполняемая на одном рабочем месте над одной или несколькими обрабатываемыми или собираемыми деталями. ТО – на установки, позиции, технологические переходы, ходы, приёмы.

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

- **Установка** – часть ТО, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемой заготовки или сборочной единицы.
- **Технологический переход** – законченная часть ТО, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой или соединяемых при сборке.
- **Вспомогательный переход** – законченная часть ТО, которая не сопровождается изменением состояния заготовки, но необходима для выполнения технологического перехода. Например, установка заготовки, её закрепление и т. д.
- **Проход** – часть перехода, заключающаяся в снятии или нанесении одного слоя материала обрабатываемой поверхности.
- **Рабочий ход** – законченная часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров или свойств заготовки.

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

- **Вспомогательный ход** – законченная часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки без изменения формы, размеров или свойств заготовки (для станков-автоматов – холостой ход).
- **Позиция** – каждое новое положение заготовки относительно инструментов при неизменном её закреплении в приспособлении. Например, поворотное многопозиционное приспособление.
- **Приём** – совокупность отдельных движений в процессе выполнения работы или подготовки к ней (пуск станка, выключение и т. д.).
- **Рабочее место** – часть производственной площади, оснащённой основным технологическим и вспомогательным оборудованием и средствами, закреплёнными за рабочим для выполнения ТО.
- **Такт выпуска** – интервал времени, через который производится выпуск изделия.
- **Ритм выпуска** (производительность) – обратная величина такта (количество изделий в единицу времени).

## ТИПЫ ПРОИЗВОДСТВА

**Единичное** производство характеризуется единичным или малым объёмом выпускаемых изделий, процесс изготовления которых не повторяется или повторяется через неопределённый промежуток времени.

Для этого производства характерно:

- применение универсального переналаживаемого оборудования;
- высококвалифицированного персонала;
- высокая себестоимость продукции;
- низкая производительность.



## СЕРИЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

**Серийное производство** характеризуется изготовлением изделий периодически повторяющимися партиями.

В зависимости от количества изделий в партии различают:

- мелкосерийное;
- среднесерийное;
- крупносерийное производство.

Выпуск партий еженедельный, ежемесячный или ежеквартальный.

Для этого производства характерно:

- использование специализированного и автоматизированного оборудования и оснастки;
- возможно применение специального и автоматического оборудования;
- рабочие имеют среднюю и высокую квалификацию;
- производительность труда выше, чем при единичном.

## МАССОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО

**Массовое производство** – это производство одинаковых изделий в течение длительного периода времени.

Для данного вида производства характерно:

- закрепление за одним рабочим местом одной операции;
- невысокая квалификация рабочих или их замена роботами и робототехническими комплексами;
- поточный принцип изготовления продукции на автоматических линиях, цехах и даже автоматических заводах.

Оборудование и оснастка, как правило, специальное, дорогое и высокопроизводительное.

Производство микросхем следует отнести к массовому типу.

ТП И ТО

**Технологический процесс** – часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда.

**Технологическая операция** – законченная часть ТП, выполняемая на одном рабочем месте.

**Цель:**

ТП разрабатывается для производства продукта или совершенствования действующего ТП в соответствии с достижениями науки и техники.

## ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ПРОЦЕССУ

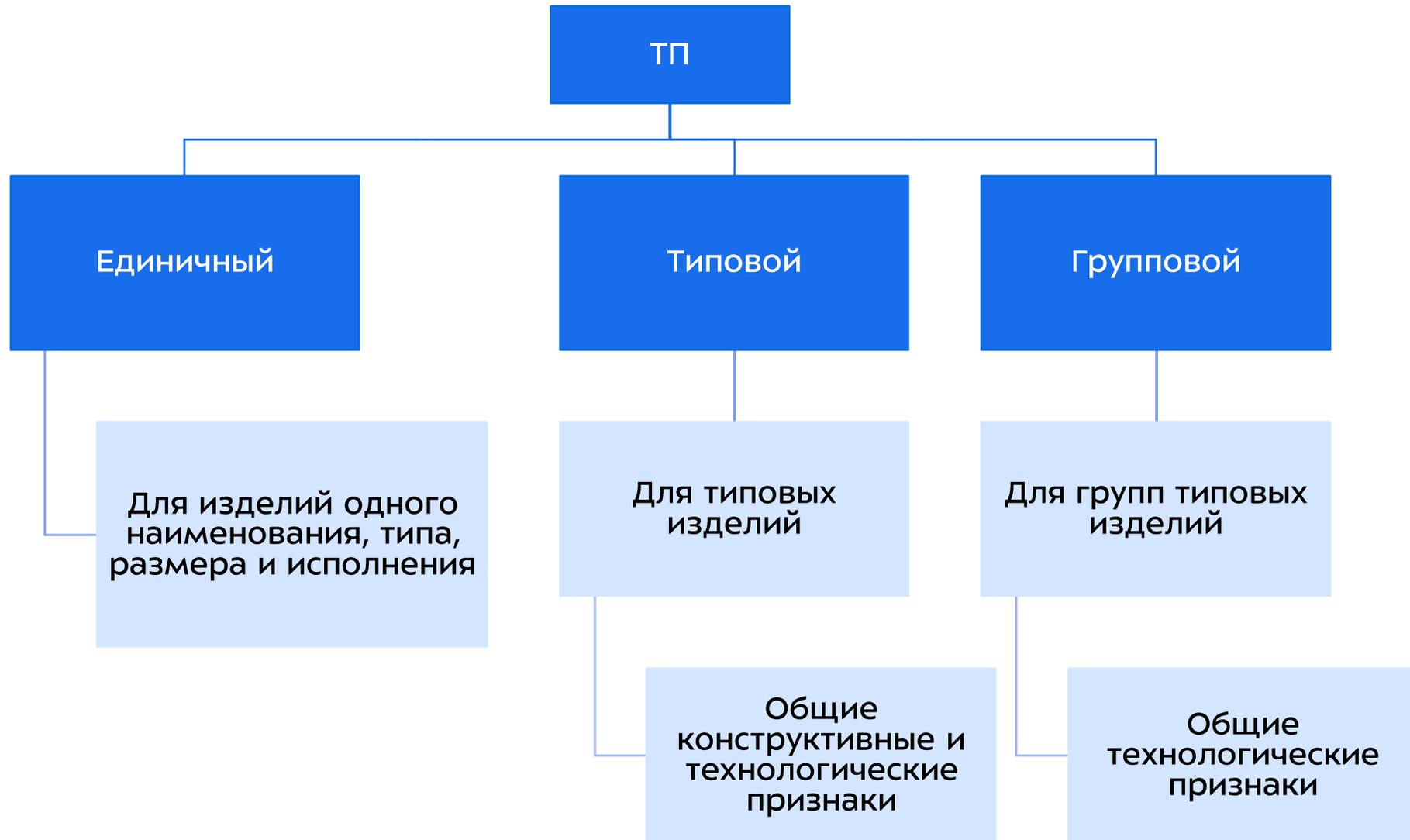
- снижение производственных затрат при повышении производительности, качества и надежности изделий;
- полное соответствие требованиям техники безопасности, промышленной санитарии и охране окружающей среды;
- разработка ТП после отработки конструкции на технологичность;
- разработка ТП на основе имеющихся типовых или групповых технологических процессов.

## КЛЮЧЕВЫЕ МЕТРИКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

- производительность (шт/час);
- себестоимость (руб/шт);
- качество (ppm — дефектов на миллион);
- гибкость (время переналадки).

Как следует из здравого смысла - невозможно улучшить всё сразу без компромиссов.

# ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА



## ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

По степени подробности разработки различают три вида ТП:

- **маршрутный;**
- **операционный;**
- **маршрутно-операционный.**

Маршрутный ТП определяет:

- **порядок следования операций;**
- **их вид и наименование;**
- **оборудование и оснастку;**
- **трудоемкость выполнения операций;**
- **квалификацию работников.**

Для мелкосерийного производства достаточна разработка маршрутной технологии.

Для средне- и крупносерийного, а также массового производства после маршрутной технологии выполняется разработка операционной.

При этом:

- каждая операция разрабатывается подробно;
- выбираются или рассчитываются технологические режимы;
- операция дробится на технологические переходы;
- рассчитывается операционное время и норма штучного времени;
- данные разработки заносятся в операционные карты.

## ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Правила разработки техпроцессов определены в ГОСТ3.xx (ЕСТД), ГОСТ15.xx (СРПП) и Р50-54-93-88.

Типовой состав работ:



## СОСТАВ РАБОТ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТП

Этап	Задачи	Основн. документы
1. Анализ конструкций	<ul style="list-style-type: none"><li>– Ознакомление с назначением и конструкцией, с требованиями к изготовлению и эксплуатации</li><li>– Контроль перспективного развития конструкций объектов производства</li><li>– Уточнение перечня объектов производства, на которые необходимо разработать ТП</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Чертежи и ТУ</li><li>– Карты техн. уровня и качества продукции</li><li>– ТЗ на разработку ТП</li></ul>
2. Анализ плановых заданий по выпуску	<ul style="list-style-type: none"><li>– Уточнение объемов выпуска на перспективу</li><li>– Определение типов (единичный, серийный, массовый) и организационных форм производства</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Плановые задания по выпуску на перспективу</li></ul>
3. Определение вида и степени детализации ТП	<ul style="list-style-type: none"><li>– Классификация объектов производства и определение вида ТП (единичный, типовой)</li><li>– Определение степени детализации содержания технологических процессов</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Классификаторы объектов производства.</li><li>– Методика классификации</li></ul>

Этап	Задачи	Основн. документы
<p>4. Анализ исходной информации для разработки ТП</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ достаточности исходной информации и составление перечня недостающей информации</li> <li>– Подбор недостающей информации</li> <li>– Разработка мероприятий по обеспечению исходной информацией, не содержащейся в ИПС</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Массивы информации, содержащиеся в документации на типовые ТП, и средства технологического оснащения в информационных системах</li> </ul>
<p>5. Разработка ТП</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Задачи, решаемые в зависимости от вида процессов в соответствии с правилами разработки рабочих процессов или типовых технологических процессов с учетом требуемой степени детализации содержания</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Исходная информация</li> </ul>

## ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТП

- производительность труда;
- удельный расход сырья, полуфабрикатов и энергии на единицу продукции;
- количество и качество готовой продукции (изделий);
- затраты на производство;
- себестоимость продукции.

**Производительность труда** – характеристика эффективности производительной деятельности в течение определенного времени.

**Стоимостная/натуральная производительность труда:**

$$P_{Тс/н} = \frac{Q_{с/н}}{Ч},$$

где  $Q_{с/н}$  – объём работы в выражении денежном/натуральном,

Ч – количество работающих за период.

**Трудовая производительность:**

$$P_{Т} = \frac{Q}{Ч}$$

## ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИИ

**Выработка** – фактическая производительность труда:

$$B_{c/n} = \frac{Q_{c/n}}{T},$$

где  $Q_{c/n}$  – объем произведенной продукции (руб./т, м, м<sup>3</sup>, шт. и т.д.),

$T$  – затраты рабочего времени на производство продукции.

**Трудоемкость** – затраты рабочего времени на производство единицы продукции или работы (нормо-часы):

$$T_p = \frac{T}{Q}$$

Показатель удельного расхода сырья и материалов и других ресурсов в натуральном выражении на единицу продукции

$$m = \frac{M}{Q}$$

$m$  – удельный расход материалов;

$M$  – общие расходы материальных ресурсов;

$q$  – объем продукции.

## ФОРМУЛА ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЦИКЛА

$$T_{\text{пц}} = t_{\text{тех}} + t_{\text{ест}} + t_{\text{тр}} + t_{\text{контр}} + t_{\text{мо}} + t_{\text{ск}},$$

где  $T_{\text{пц}}$  – длительность производственного цикла;

$t_{\text{тех}}$  – время технологических операций;

$t_{\text{ест}}$  – время естественных операций;

$t_{\text{тр}}$  – время транспортных операций;

$t_{\text{контр}}$  – время контрольных операций;

$t_{\text{мо}}$  – время межоперационное;

$t_{\text{ск}}$  – время нахождения на складах и т.д.

Основная доля времени часто приходится на межоперационное пролеживание ( $t_{\text{мо}}$ ) – до 90-95%

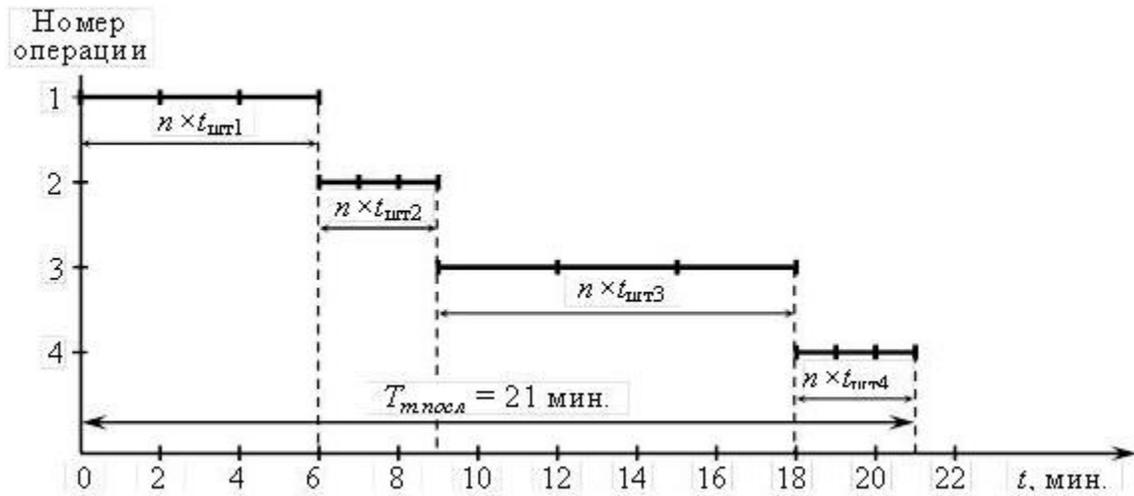


График технологического цикла при последовательном виде движения партии деталей по операциям

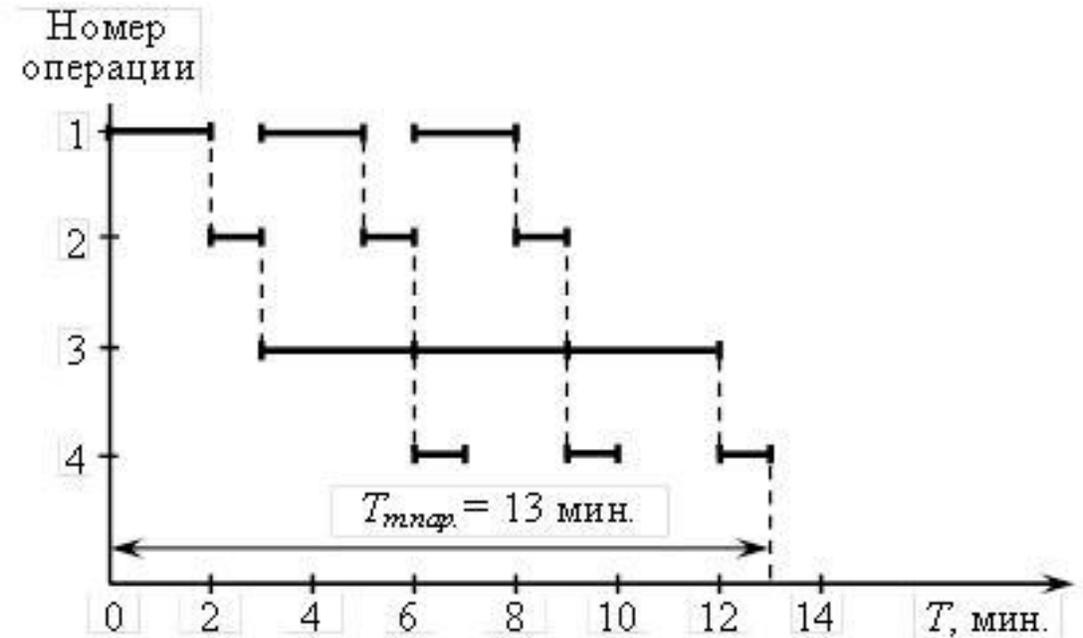


График технологического цикла при параллельном виде движения партии деталей по операциям

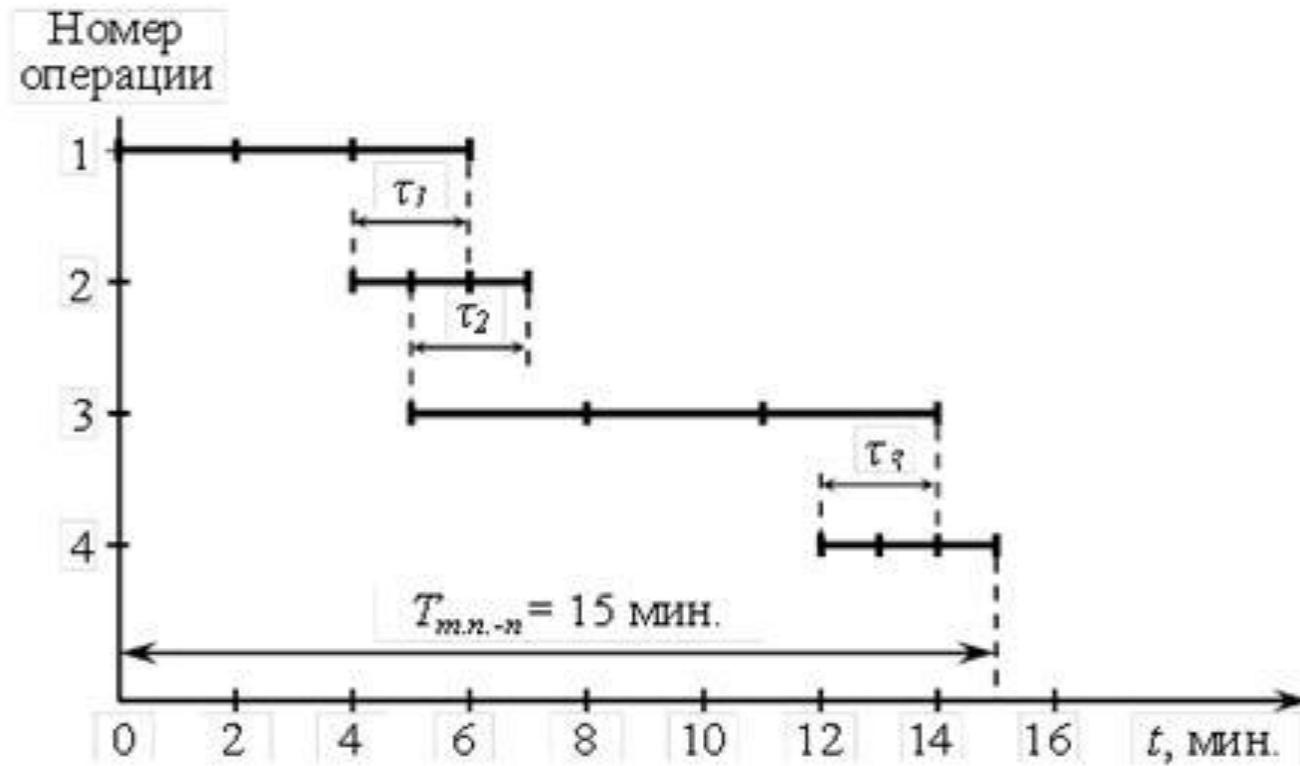


График технологического цикла при параллельно-последовательном виде движения партии деталей по операциям

## МАКСИМАЛЬНО ВОЗМОЖНЫЙ ВЫПУСК ПРОДУКЦИИ В ЕДИНИЦУ ВРЕМЕНИ

$$M = \frac{(F_{\text{эф}} * n)}{t_{\text{шт}}},$$

где  $F_{\text{эф}}$  — эффективный фонд времени работы  
оборудования,

$n$  — количество единиц оборудования,

$t_{\text{шт}}$  — норма времени на операцию.

## АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И РАСЧЁТ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ УЗЛА

Изучение документации позволяет оценить:

- конструктивную компоновку и особенности сборочного узла;
- количественный состав навесных элементов и деталей пространственной компоновки;
- характер размещения и установки ЭРЭ и микросхем на плате;
- виды контактных соединений и способы электрического монтажа;
- технические требования обеспечения надёжности узла и защиты его от внешних воздействий.

**Технологичность конструкции** - сочетание конструктивно-технологических характеристик, которое обеспечивает наиболее простое и экономичное производство изделия при соблюдении всех технических и эксплуатационных требований. Отработку изделия на технологичность производят, начиная с эскизного проектирования и кончая запуском в изготовление.

## АНАЛИЗ И РАСЧЁТ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ УЗЛА

Анализ технологичности позволяет оценить возможность использования для изготовления деталей, сборки и монтажа изделия известных методов выполнения операций и процессов с возможно высокими уровнями механизации и автоматизации.

Количественная оценка технологичности электронных узлов проводится по системе базовых показателей, включающих отработанные и достигнутые при доработке и совершенствовании изделия параметры. По базовым показателям рассчитывается комплексный показатель технологичности по выражению

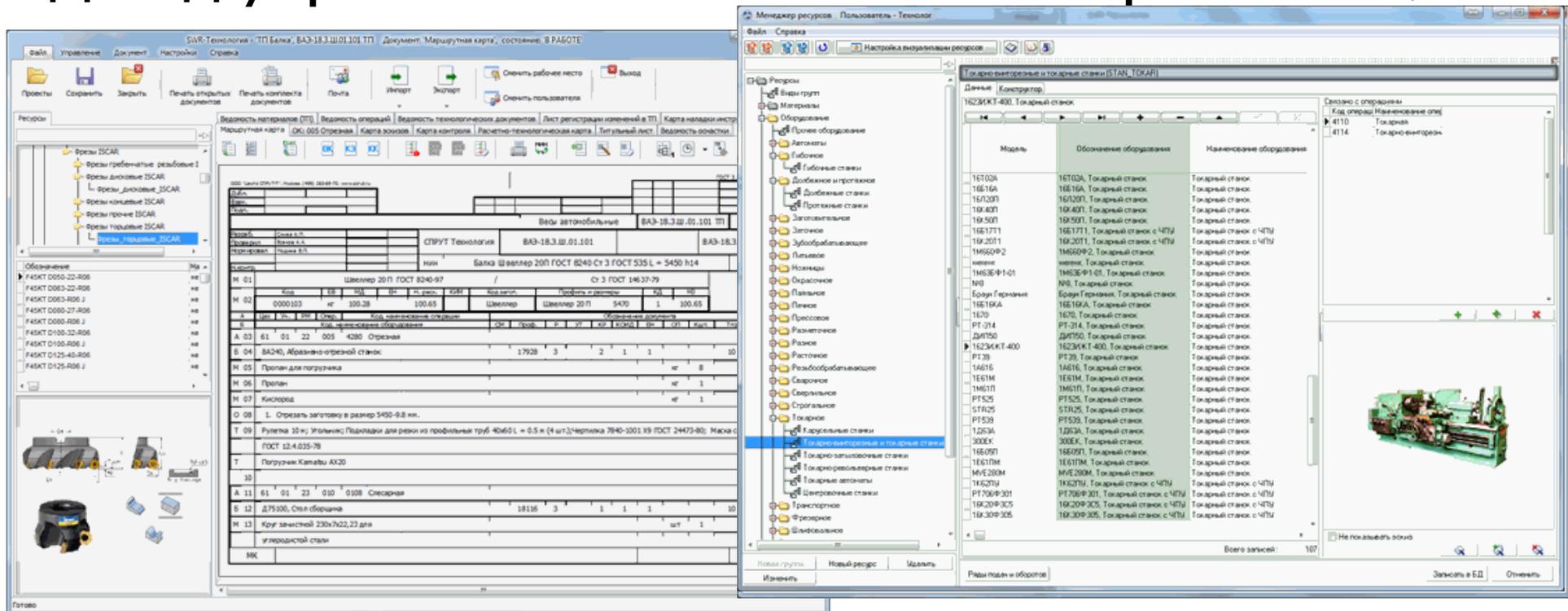
$$K_{\text{тех}} = \frac{\sum_{i=1}^7 k_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^7 \varphi_i},$$

где  $\varphi_i = i / 2^{i-1}$  - коэффициент весовой значимости показателя.

Расчётное значение  $K_{\text{тех}}$  сравнивают с нормативным, значение которого для серийного производства электронных узлов установлено в пределах от 0,5 до 0,8.

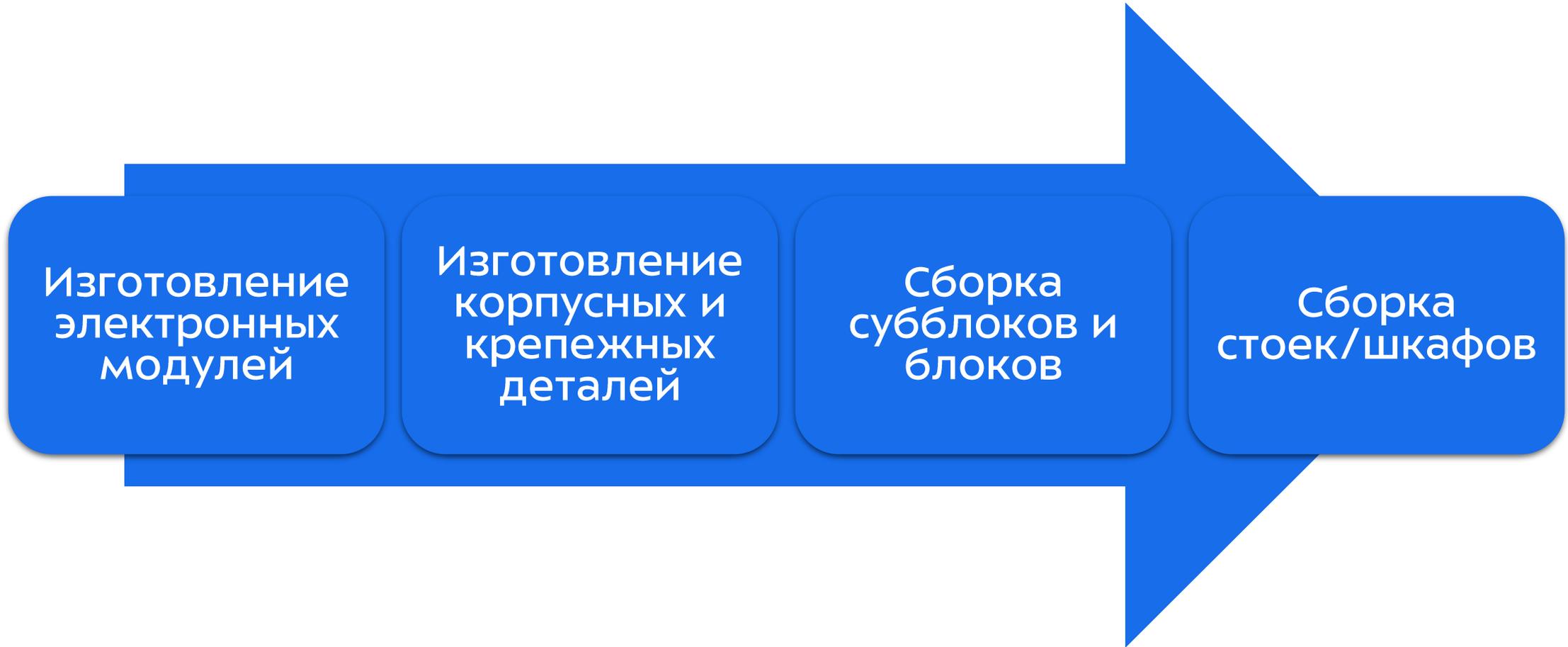
# АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫПУСКА ТД

- Дополнения САД-систем.
- Пример - SWR-Технология (проектирование ТП по ГОСТ ЕСТД под управлением SolidWorks Enterprise PDM)



# АЛГОРИТМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВТ

производственные процессы изготовления ВТ



## АЛГОРИТМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЭА

*SMT монтаж (Surface Mount Technology)*

ТНТ монтаж  
(Through Hole Technology)

Отмывка плат

Влагозащита плат

# АЛГОРИТМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЭА

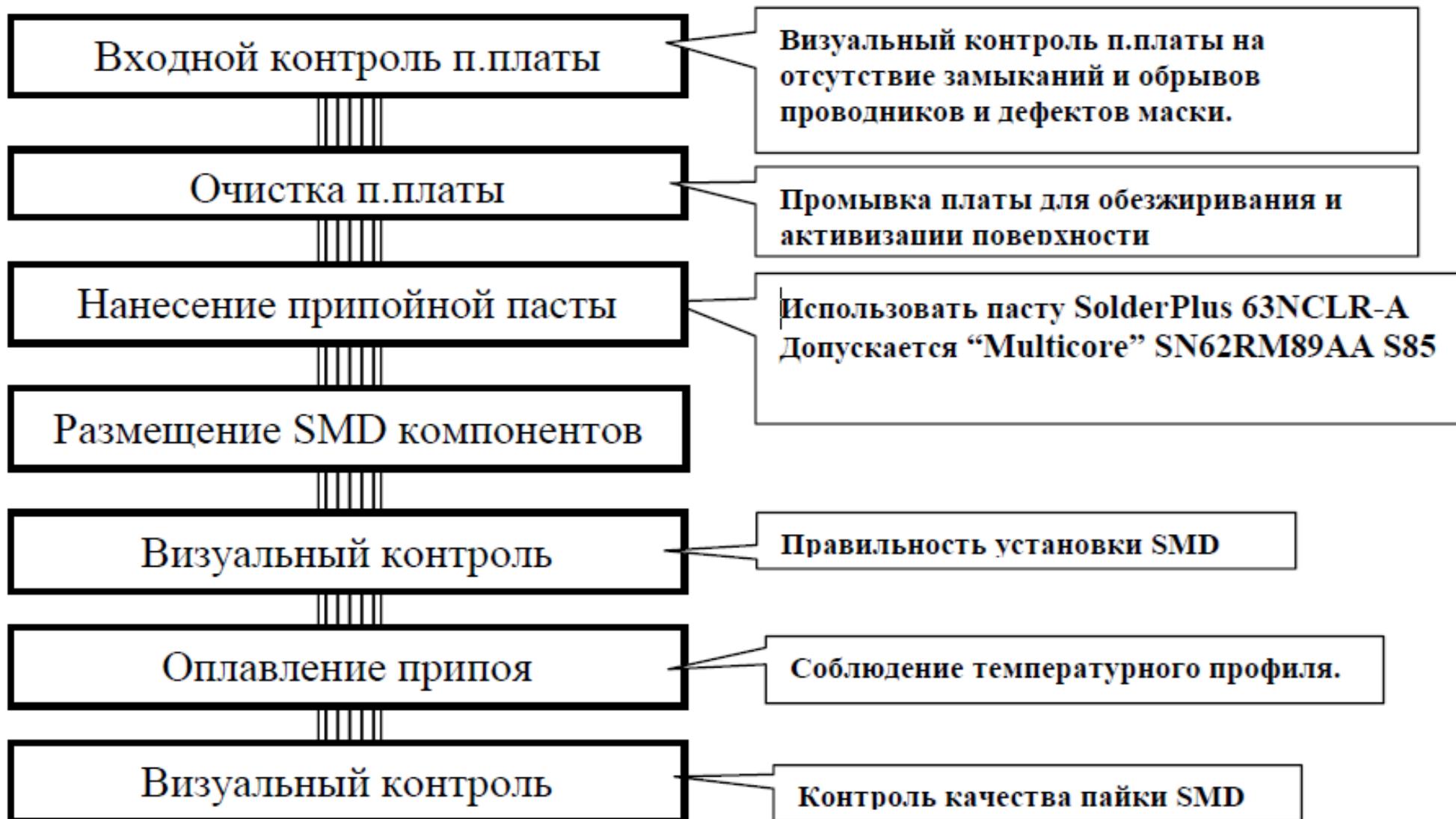
*SMT монтаж (Surface Mount Technology)*

ТНТ монтаж  
(Through Hole Technology)

Отмывка плат

Влагозащита плат

# АЛГОРИТМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЭА



# АЛГОРИТМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЭА

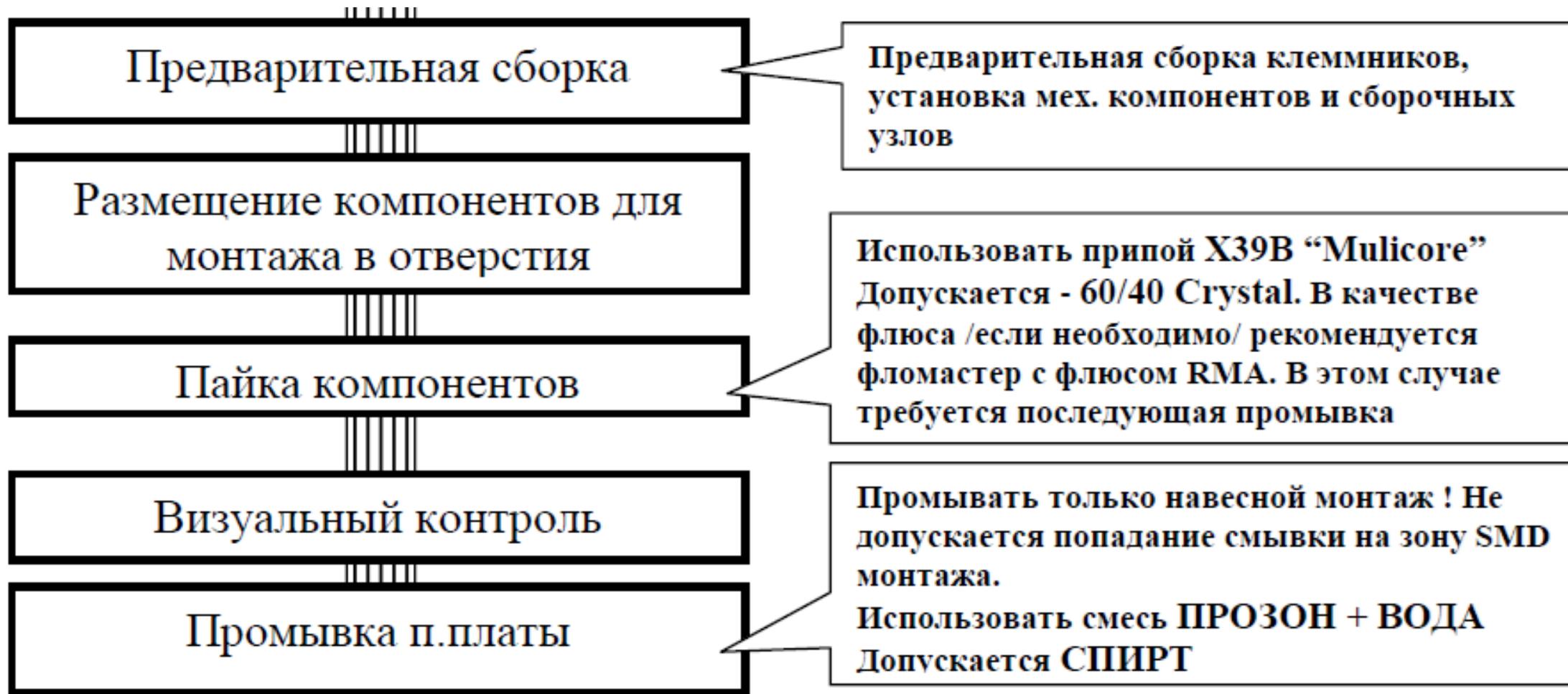
***SMT монтаж (Surface Mount Technology)***

ТНТ монтаж  
(Through Hole Technology)

Отмывка плат

Влагозащита плат

# АЛГОРИТМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЭА



# АЛГОРИТМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЭА

*SMT монтаж (Surface Mount Technology)*

ТНТ монтаж  
(Through Hole Technology)

Отмывка плат

Влагозащита плат

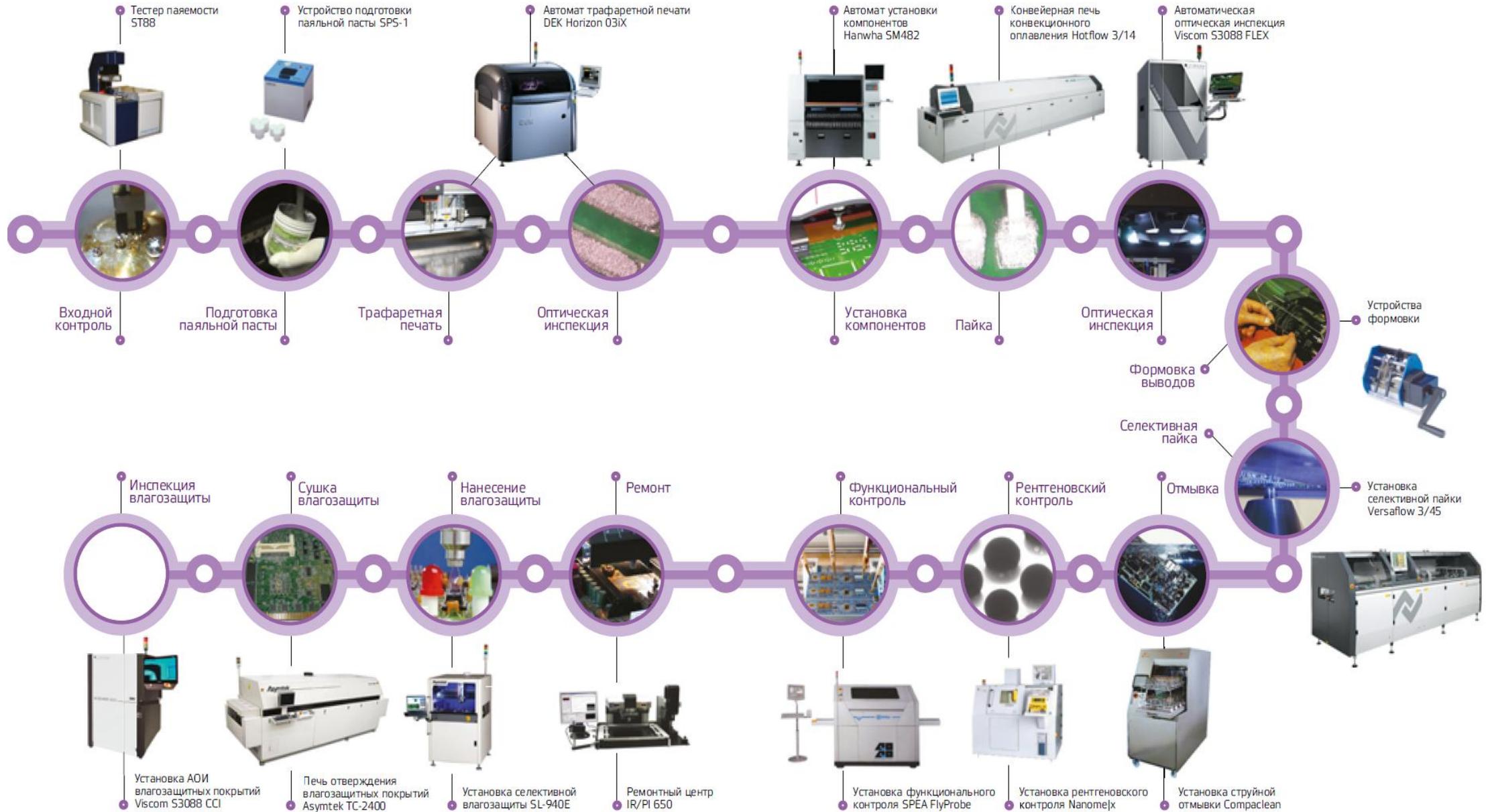
# АЛГОРИТМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЭА



# ЦИКЛ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И КОНТРОЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ



# ПОРЯДОК ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

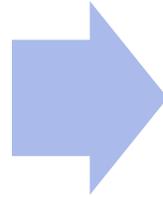


# ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЭА



## SMT монтаж

- трафаретная печать
- автоматическое дозирование
- оборудование для монтажа компонентов
- конвекционная пайка
- пайка в паровой фазе
- транспортные системы
- маркировка печатных плат

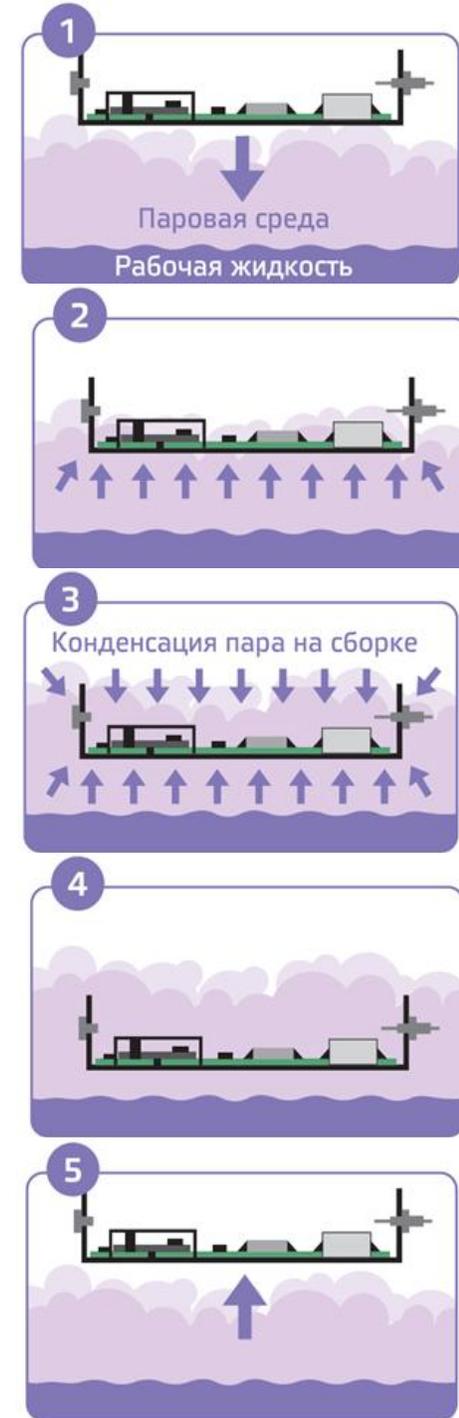


## THT монтаж

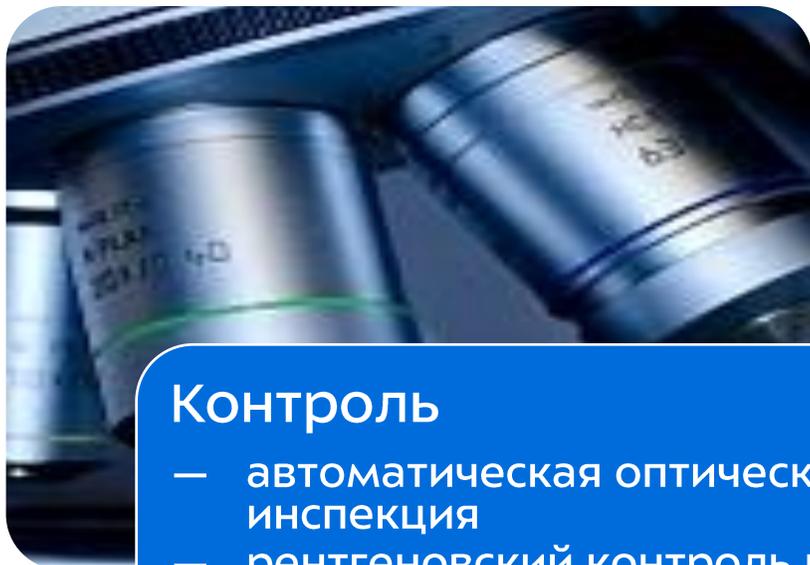
- ручной монтаж
- селективная пайка
- пайка волной припоя

## ПАЙКА В ПАРОВОЙ ФАЗЕ

1. Создаваемый пар примерно в 20 раз тяжелее воздуха, таким образом, он не улетучивается из резервуара, а формирует над поверхностью теплоносителя плотное облако.
2. Сборка погружается в паровое облако и нагревается. Воздух вытесняется инертным фторуглеродным паром, так как вес паров жидкости высок, и дальнейшие процессы происходят в полностью инертной среде.
3. Паровой защитный покров полностью накрывает сборку. Пар конденсируется на поверхности сборки и передает ей свою энергию.
4. Образуется защитная инертная атмосфера. Далее сборка нагревается до температуры насыщенного пара, после чего нагрев прекращается.
5. Время достижения температуры пайки обычно от 5–6 сек. до 50 сек. для большихборок. Происходит непосредственный процесс пайки. После выхода сборки из паровой области на ней остается сконденсировавшаяся жидкость, которая испаряется благодаря внутренней теплоте сборки, и сухая плата покидает рабочую зону. Остатков жидкости на плате не образуется.

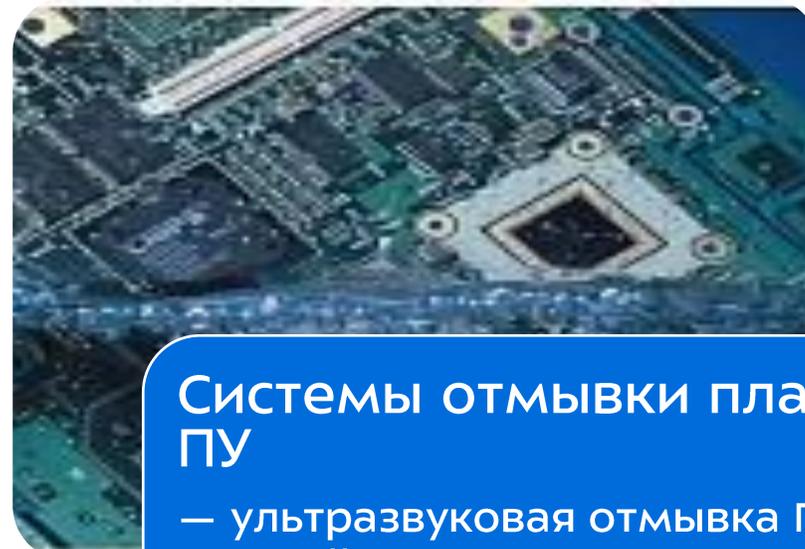
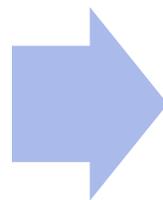


## ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЭА



### Контроль

- автоматическая оптическая инспекция
- рентгеновский контроль и томография
- визуальный контроль
- контроль паяемости
- электрический контроль
- ремонт



### Системы отмывки плат и ПУ

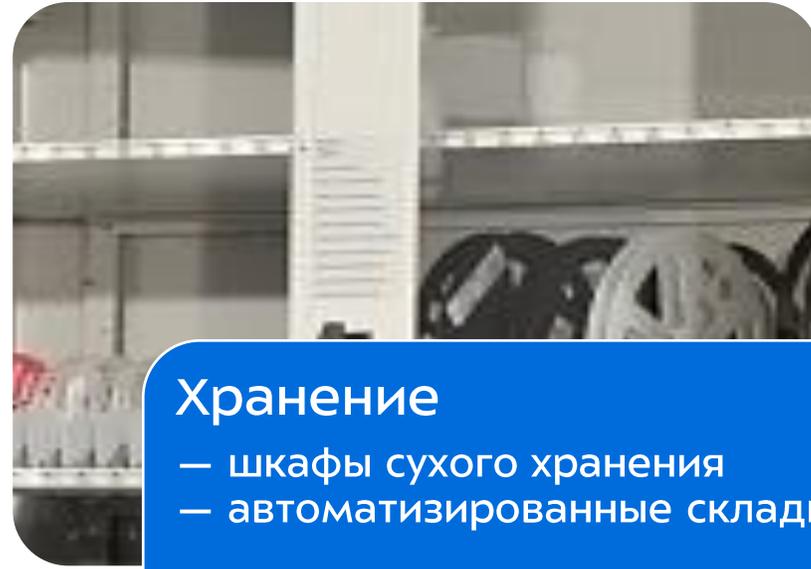
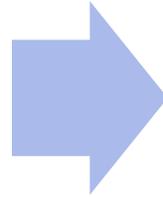
- ультразвуковая отмывка ПУ
- струйная отмывка ПУ
- очистка трафаретов

## ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЭА



### Оборудование для влагозащиты печатных плат

- нанесение распылением
- нанесение погружением
- селективное нанесение
- контроль качества нанесения покрытий
- сушка влагозащитных покрытий

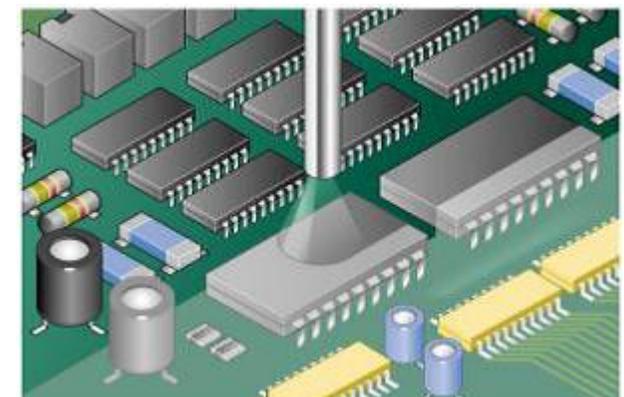
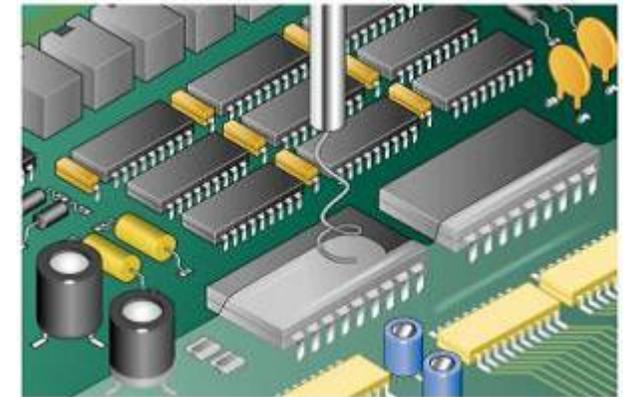
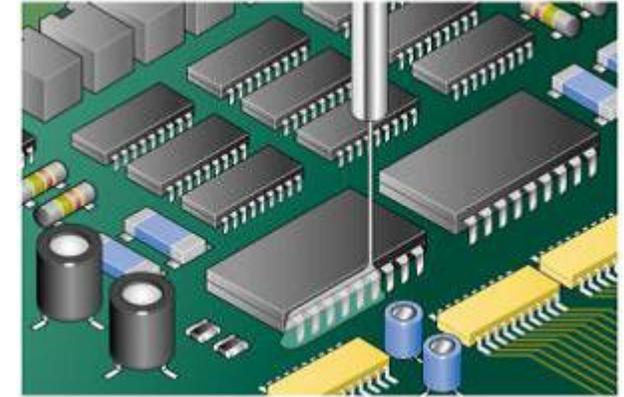


### Хранение

- шкафы сухого хранения
- автоматизированные склады

## РЕЖИМЫ РАБОТЫ УСТАНОВКИ ПОКРЫТИЯ

- **Струйный:** поток материала наносится на печатный узел в места с высокой плотностью монтажа компонентов и теневыми зонами, а также на те участки, где требуется нанести лак дополнительно.
- **По спирали:** материал закручивается вокруг оси головки, образуя коническую форму. Нанесенный материал на плате имеет четкие ровные края. Используется в тех случаях, когда площадь нанесения большая и нужна большая толщина.
- **Распыление:** Поток воздуха разделяет материал на мелкодисперсную фазу. Нанесенное покрытие имеет самый тонкий слой из всех трех режимов. Используется в тех случаях, когда площадь нанесения большая и нужна малая толщина.





Кафедра ИУБ

Компьютерные системы и сети

Московский государственный технический университет  
им. Н.Э. Баумана

# Классификация ПП. Многослойные платы. Процесс изготовления.



## СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИИ

- определения и терминология в области печатных плат;
- типы печатных плат;
- способы получения рисунка ПП;
- процесс проектирования ПП;
- методы изготовления ПП;
- технология изготовления многослойных ПП.

## ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ (ПП)

**Печатная плата** - элемент конструкции, которая состоит из плоских проводников в виде участков металлизированного покрытия, размещенных на диэлектрическом основании и обеспечивающих соединение элементов электрической цепи.

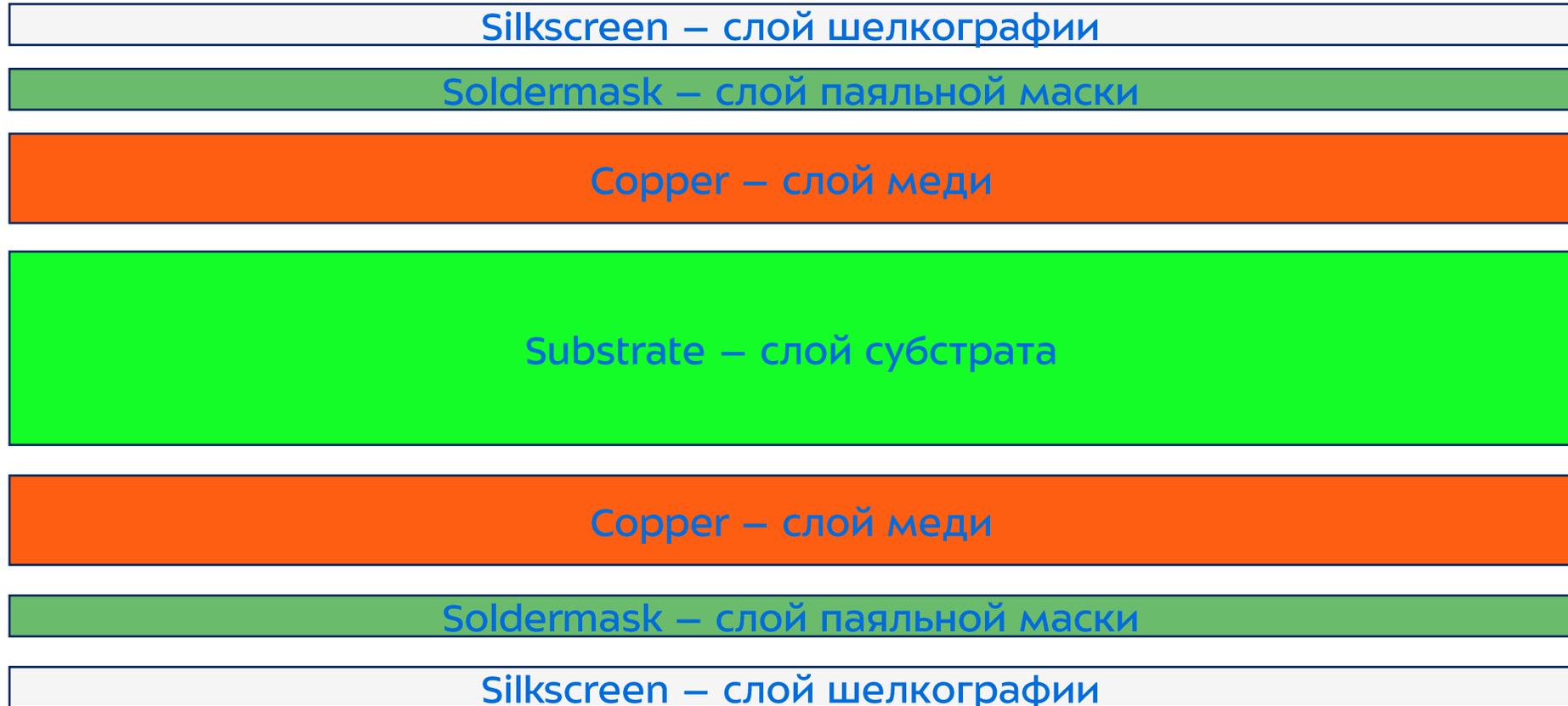
Печатная плата (ПП) предназначена для **электрического соединения элементов схемы**.

ПП - **изоляционное основание**, на котором имеется совокупность печатных проводников, контактных площадок и металлизированных отверстий или переходов.

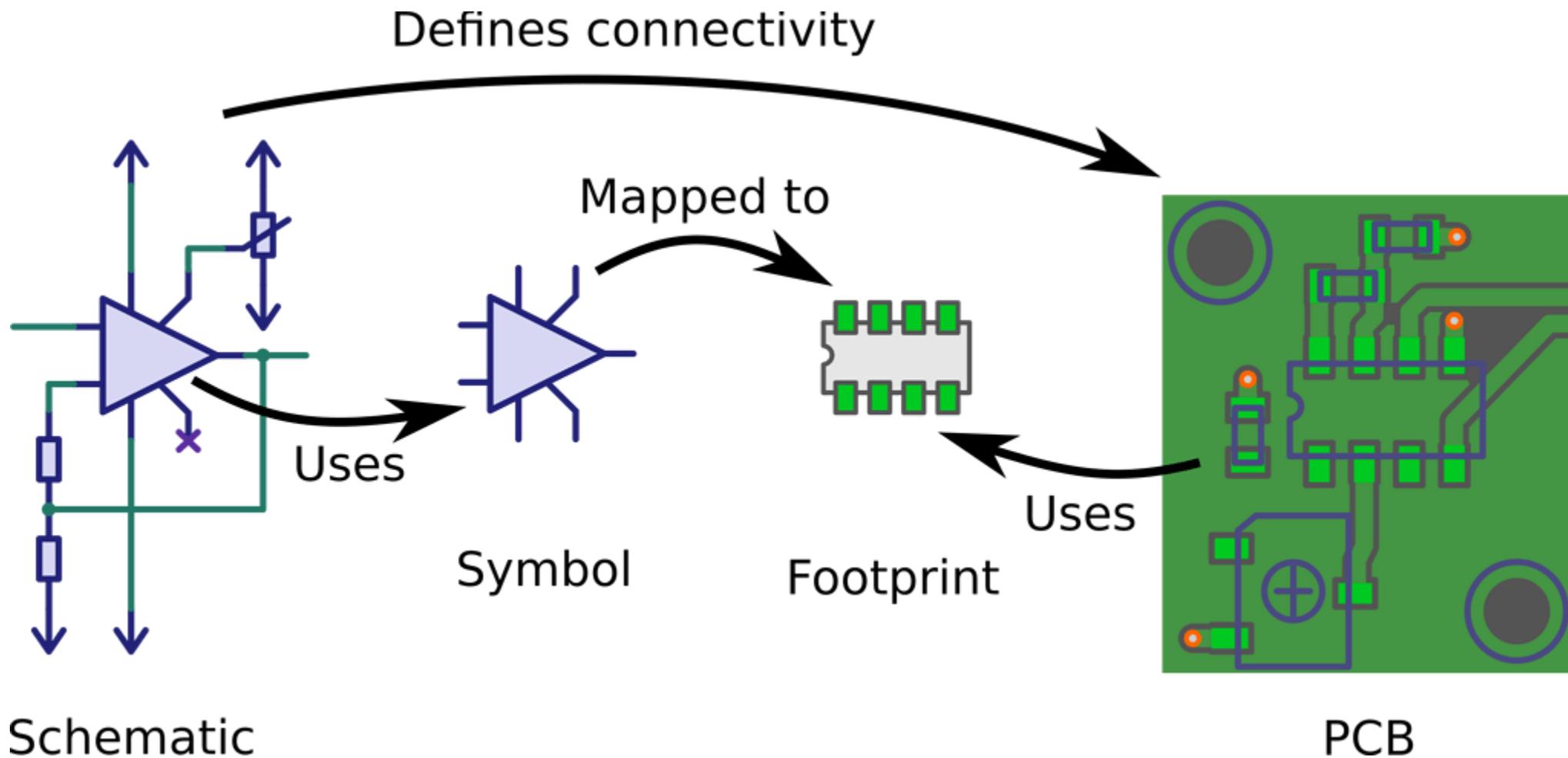
«**Печатная**» - способность для восприятия технологии печати (фотолитография, трафарет, офсет, гравирование).

«**Плата**» - плоское основание (может быть и гибким).

# ЧТО ТАКОЕ ПЕЧАТНАЯ ПЛАТА?

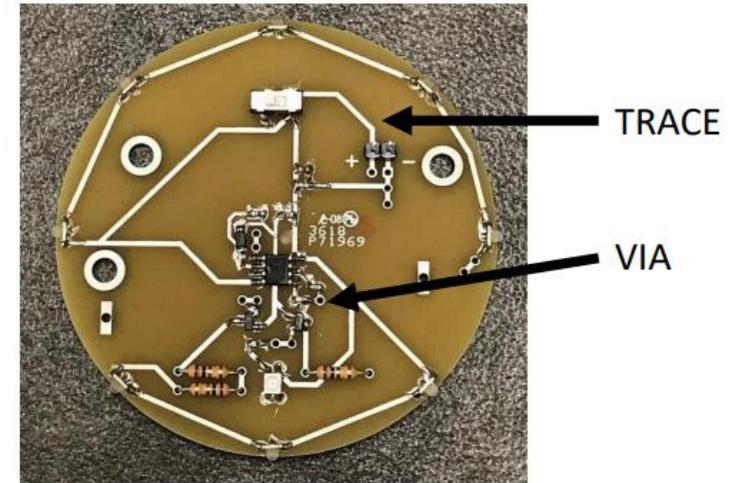


# СВЯЗЬ ПП И СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ

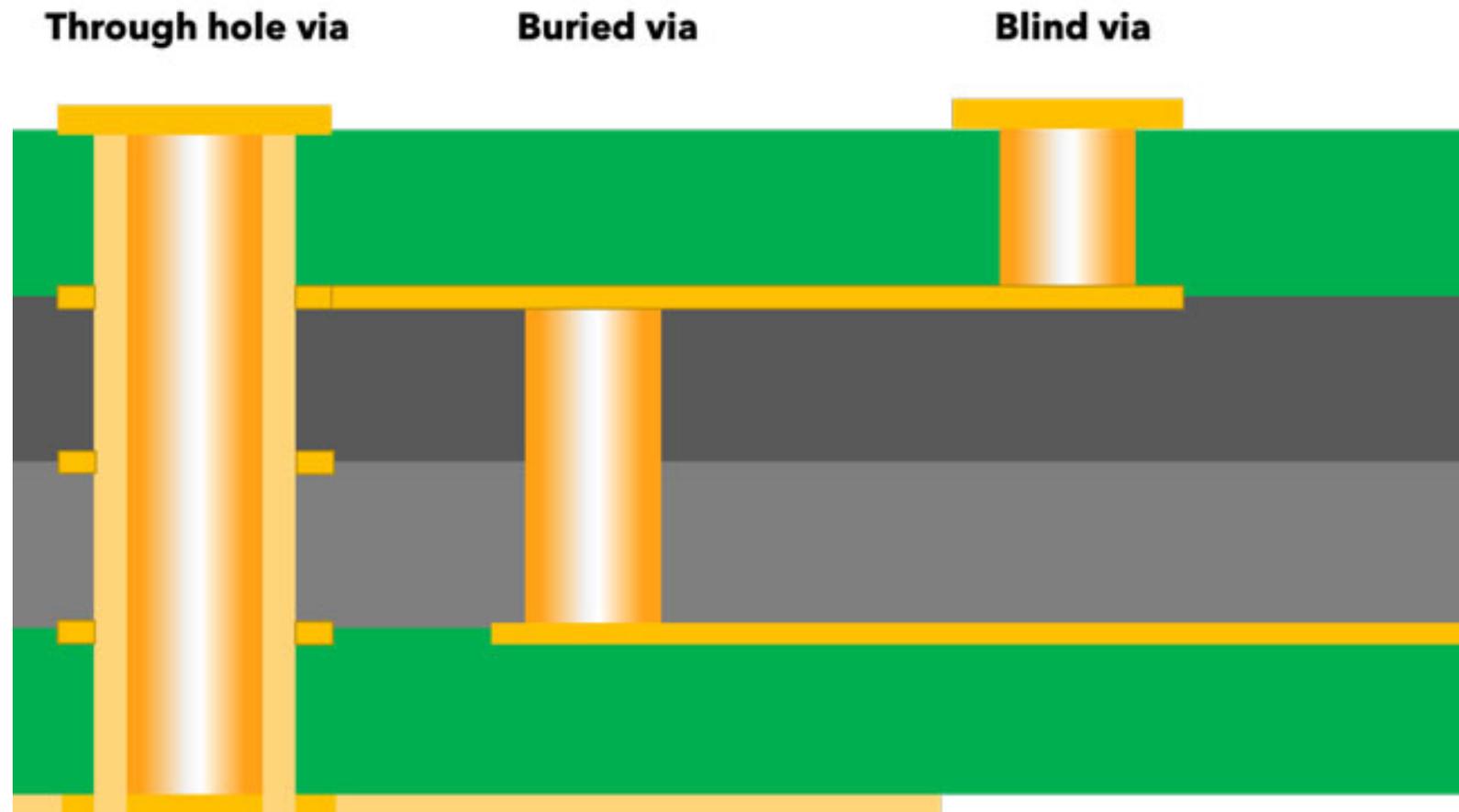


## ПОЛЕЗНЫЕ ТЕРМИНЫ

- **Trace** - дорожка меди, напечатанная на РСВ. Носит функцию электрического соединения между компонентами на плате. Слово «trace» также используется для обозначения сегмента дорожки.
- **Via** - переходное отверстие - металлизированное отверстие, которое соединяет электрические сигналы между разными слоями металлизации РСВ. Стенки такого отверстия покрывает металлизация, создающая токопроводящее соединение между слоями.

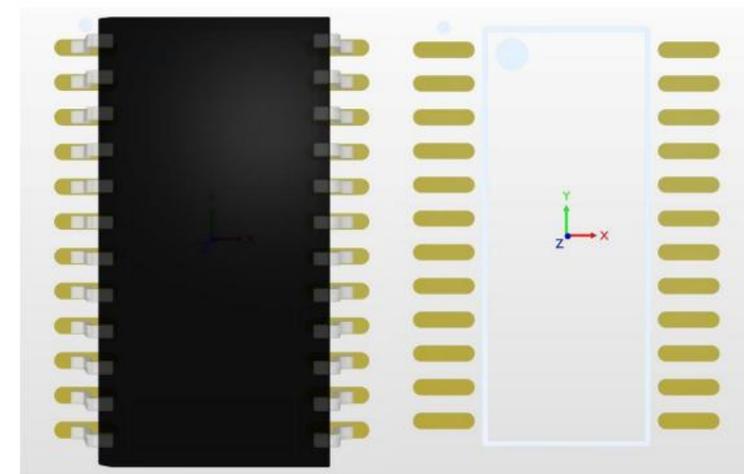


# VIA



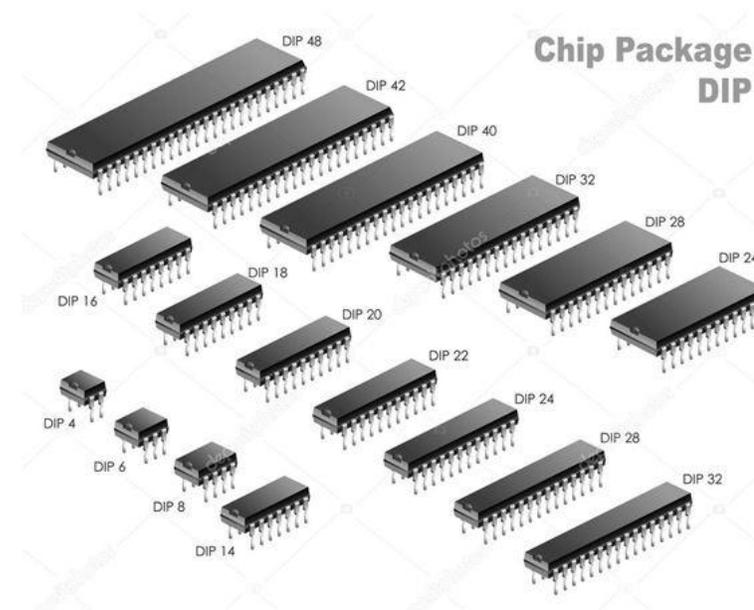
## ПОЛЕЗНЫЕ ТЕРМИНЫ

- **Pad** - контактная площадка - точка электрического соединения с металлизированным отверстием и та точка, в которой осуществляется пайка вывода компонента.
- **Package** - Корпус для компонента с металлическими выводами. Обычно из черного пластика.
- **Surface Mount Device** - компонент, разработанный для пайки на поверхность печатной платы вместо пайки выводов через сквозные отверстия (thru-hole).



SMD Package

Pads



## ПОЛЕЗНЫЕ ТЕРМИНЫ

— **Prepreg** – препрег - изоляционная прокладка, например, из стеклоткани, пропитанная недополимеризованной терморезактивной смолой, используемая для прессования слоев многослойной печатной платы.

— **mil** - мил (thousandth of an inch) — это единица измерения длины, равная одной тысячной части дюйма (1/1000 in).

В международной метрической системе один мил приблизительно равен 25,4 микрометра (мкм) или 0,0254 миллиметра (мм).

Точное соотношение:  $1 \text{ mil} = 0.001 \text{ in} = 25,4 \times 10^{-6} \text{ m}$ .

## КОМПРОМИССЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

### Преимущества:

- долговечность/надёжность;
- экономия места;
- простота изготовления;
- устойчивость к перемещениям;
- лучшее заземление.

### Недостатки:

- долговечность;
- сроки поставки;
- изоляция;
- высокочастотные эффекты;
- тестируемость;
- теплоотвод.

## Преимущества печатной платы (PCB):

- стабильность и надежность;
- экономия места;
- лучшее заземление;
- более надёжное механическое крепление.

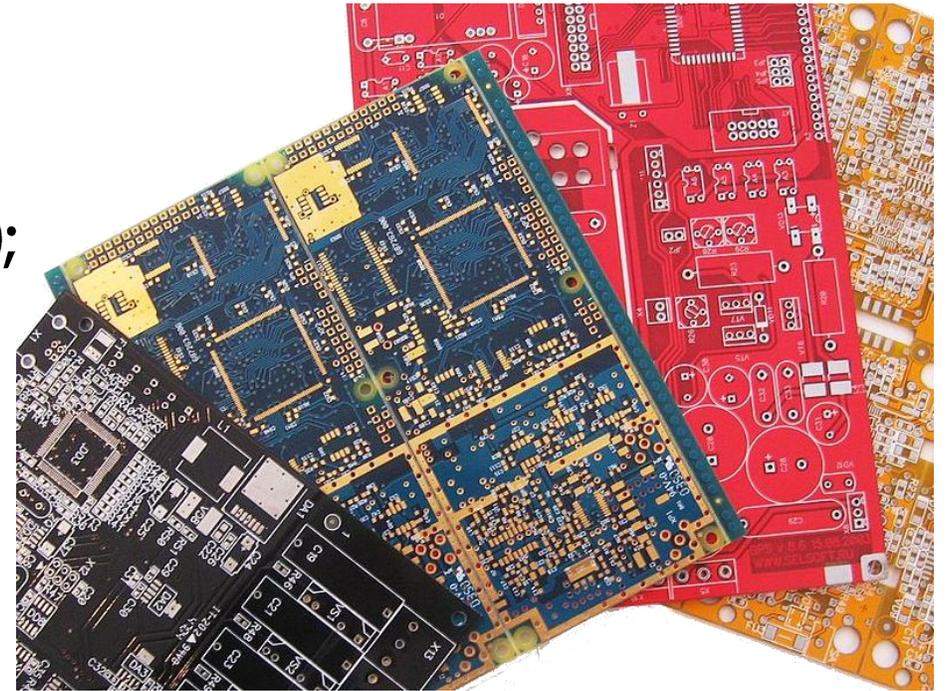
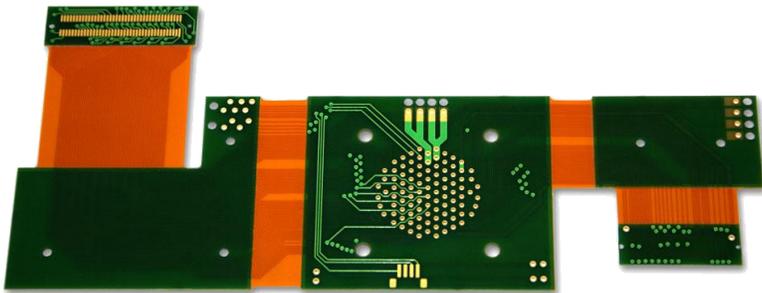
## Преимущества макетной платы (Breadboard):

- гибкость;
- удобство отладки и локализации проблем;
- быстрота (сборки/изменений).

## ТИПЫ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

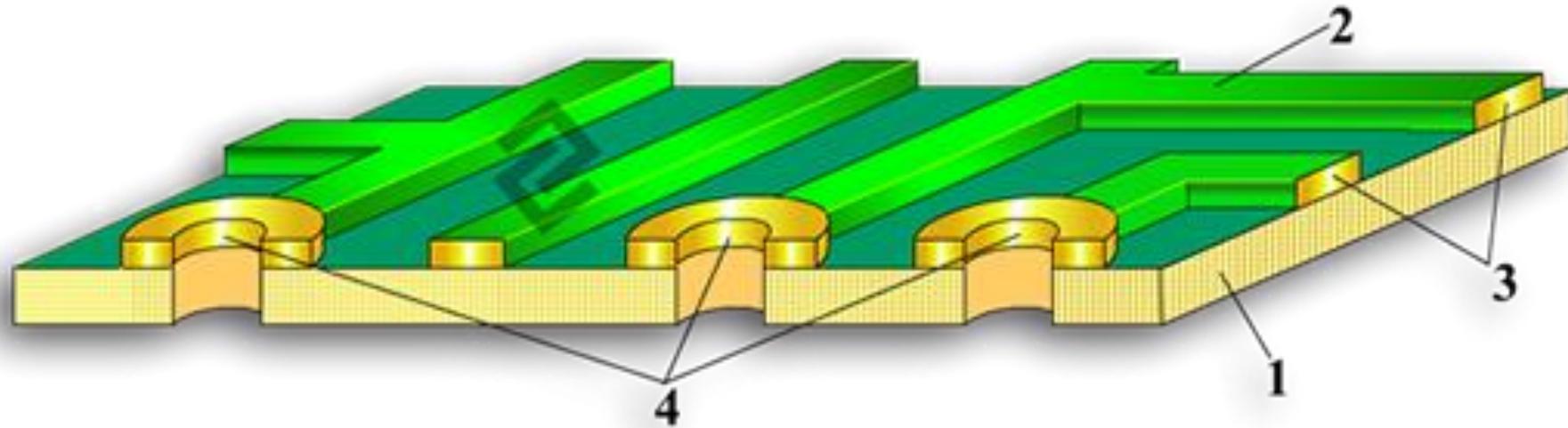
— По конструктивному исполнению различают:

- Односторонние печатные платы (ОПП);
- Двусторонние печатные платы (ДПП);
- Многослойные печатные платы (МПП);
- Гибко-жесткие печатные платы (ЖГПП);
- Гибкие печатные платы (ГПП);
- ВЧ и СВЧ платы.



Источник неизвестен, приводится в образовательных целях

# Однослойная ПП



1. Диэлектрик (substrate);
2. Защитный слой (маска, soldermask);
3. Токопроводящая дорожка (trace);
4. Контактное отверстие (via).

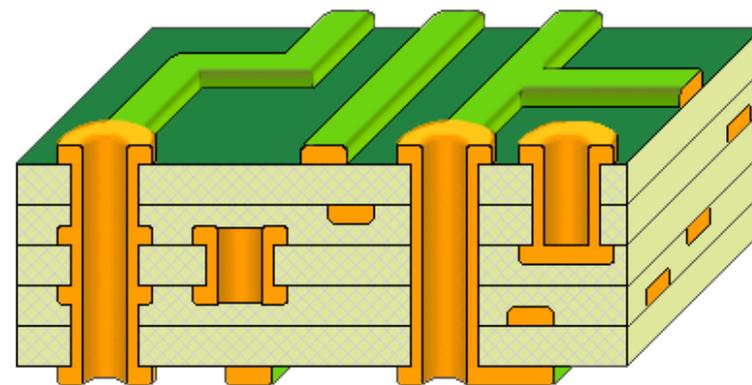
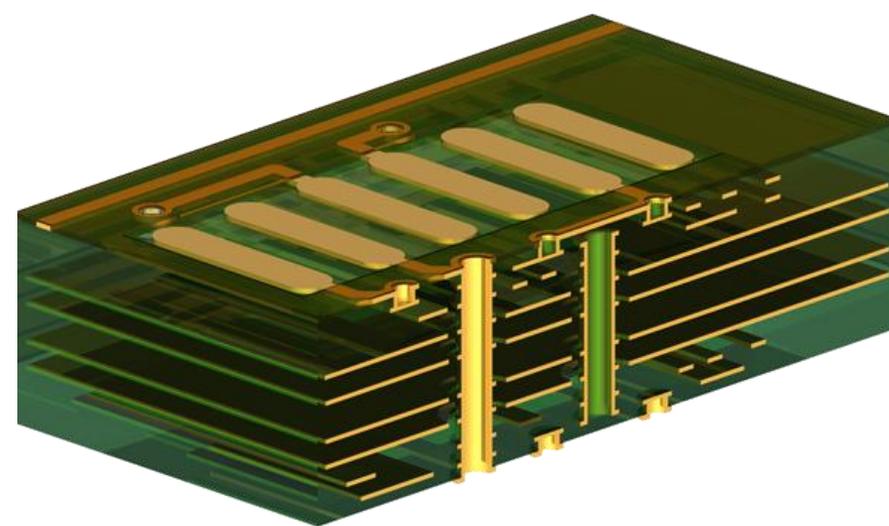
# МНОГОСЛОЙНЫЕ ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

ГОСТ рекомендует использовать ПП:

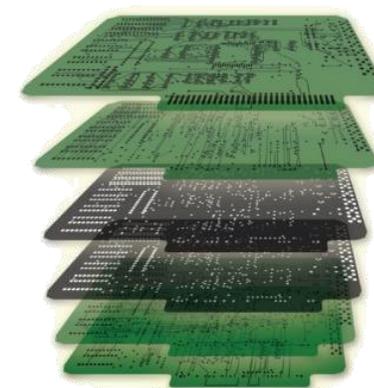
- прямоугольной формы;
- размеры каждой стороны ПП кратны: 2,5; 5 и 10 мм;
- при длине соответственно до 100; до 350 и свыше 350 мм.

На свободном месте ПП наносится условный шифр или обозначение платы.

МПП целесообразно применять при высоких требованиях к плотности электрического монтажа, а также при необходимости улучшения электрических параметров.



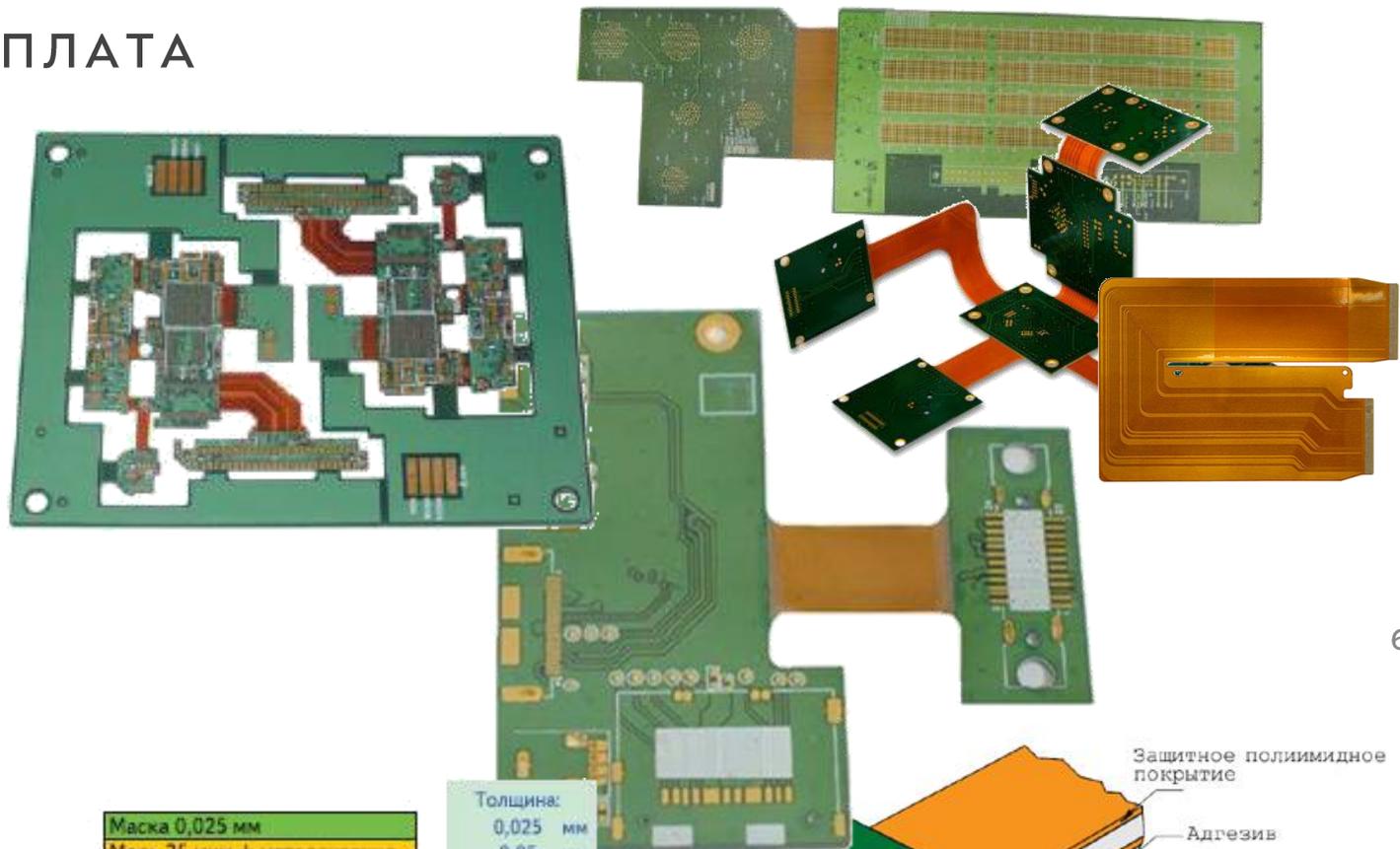
60



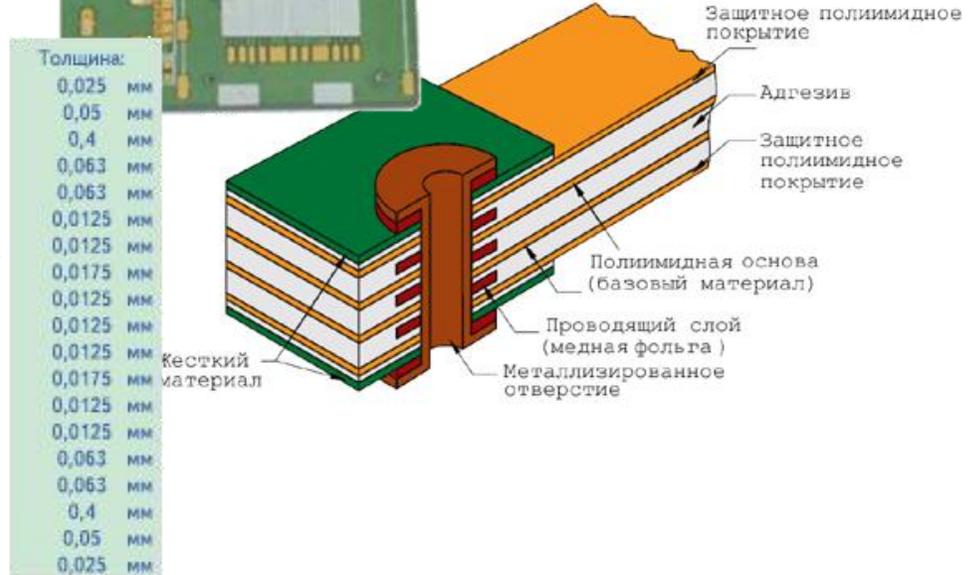
# ГИБКО-ЖЕСТКАЯ ПЕЧАТНАЯ ПЛАТА

Гибкие и гибко-жесткие печатные платы (ГЖП), изготавливаемые на основе тонкого фольгированного диэлектрика, могут оканчиваться металлизированными контактными площадками с отверстиями и без них, или контактными лепестками.

Гибкие печатные платы могут свободно изгибаться, что позволяет осуществлять монтаж в труднодоступных местах, а также использовать их в качестве гибких соединителей.



1. TOP	Маска 0,025 мм	Маска 0,025 мм
	Медь 35 мкм + металлизация	Медь 35 мкм + металлизация
	Ядро FR4 0,4 мм	Ядро FR4 0,4 мм
	Препрег 1080 0,063 мм	Препрег 1080 0,063 мм
	Препрег 1080 0,063 мм	Препрег 1080 0,063 мм
	Полиимидное покрытие 12,5 мкм	
2. INT1	Адгезив 12,5 мкм	
	Медь 17,5 мкм	Медь 17,5 мкм
	Адгезив 12,5 мкм	Адгезив 12,5 мкм
	Полиимид 12,5 мкм	Полиимид 12,5 мкм
3. INT2	Адгезив 12,5 мкм	Адгезив 12,5 мкм
	Медь 17,5 мкм	Медь 17,5 мкм
	Адгезив 12,5 мкм	
	Полиимидное покрытие 12,5 мкм	
	Препрег 1080 0,063 мм	Препрег 1080 0,063 мм
	Препрег 1080 0,063 мм	Препрег 1080 0,063 мм
	Ядро FR4 0,4 мм	Ядро FR4 0,4 мм
	Медь 35 мкм + металлизация	Медь 35 мкм + металлизация
4. BOT	Маска 0,025 мм	Маска 0,025 мм



**Ширину печатных проводников** выбирают в зависимости:

- от допустимой токовой нагрузки;
- свойств токопроводящего материала;
- температуры окружающей среды при эксплуатации.

**Расстояние между элементами** проводящего рисунка зависит:

- от допустимого рабочего напряжения.
- свойств диэлектрика;
- условий эксплуатации.

и связано с помехоустойчивостью, искажением сигналов и короткими замыканиями.

В качестве **основы ПП** используют:

- диэлектрики (стеклотекстолит, гетинакс, текстолит, стеклоткань, лавсан, полиимид, фторопласт и др.);
- фольгированные;
- нефольгированные.
- керамические материалы;
- металлические пластины.

При **выборе материала** необходимо учитывать:

- класс точности и требуемые электрические параметры, определяемые главным образом скоростью переключения элементов (рабочие частоты);
- предполагаемые механические воздействия;
- предполагаемые тепловые воздействия;
- условия эксплуатации;
- **СТОИМОСТЬ.**

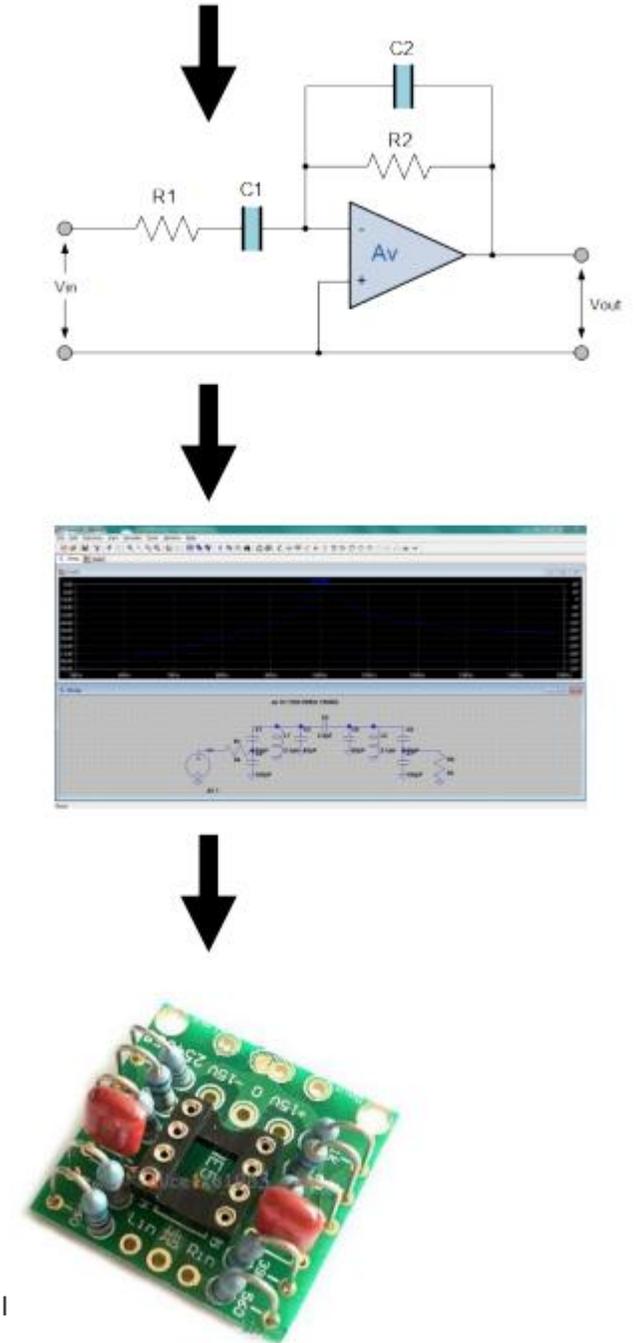
## МАТЕРИАЛЫ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Для изготовления ПП, обеспечивающих надёжную передачу наносекундных импульсов, необходимо применять материалы с улучшенными диэлектрическими свойствами (меньшими значениями диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь).

Вид	Состав	Диэлектрическая проницаемость	Стоимость
FR4	Слоистый эпоксидный материал из стекловолокна	4,7	1 (базовая)
FR4 High Tg, FR5	Материал со сшитой сеткой, повышенная термостойкость	4,6	1,2...1,4
RCC	Эпоксидный материал без стеклянной тканой основы	4,0	1,3...1,5
PD	Полиимидная смола с арамидной основой	3,5–4,6	5...6,5
PTFE	Политетрафлуор-этилен со стеклом или керамикой (СВЧ)	2,2–10,2	32...70

## ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПП

- 1) определение технических характеристик (спецификаций);
- 2) выбор топологии и компонентов;
- 3) составление схемы;
- 4) моделирование (симуляция);
- 5) макетирование и трассировка;
- 6) печать в масштабе 1:1 на бумаге и проверка;
- 7) экспорт файлов Gerber и печать;
- 8) пайка;
- 9) тестирование/проверка;
- 10) эксплуатация.



## 01 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК (СПЕЦИФИКАЦИЙ)

Что устройство должно делать? Как хорошо? При каких условиях?

**Дано:** Разработать печатную плату, которая излучает ИК-сигнал частотой ~10 кГц.

- питание от 9 В.
- крепление к шасси робота;
- должен обнаруживаться с расстояния 60 см без усиления;
- низкая стоимость.

**Открытые вопросы (не определено):**

- габариты платы;
- точность частоты;
- воспроизводимость (стабильность параметров) от платы к плате;
- гармонические искажения (спектральная чистота);
- схемы защиты;
- всё остальное...

## 02 ВЫБОР ТОПОЛОГИИ

На концептуальном уровне: что я буду использовать для выполнения технических требований (ТЗ)?

- На базе микроконтроллера? На базе ПЛИС (FPGA)? На базе таймера? На базе генератора?
- Фильтрация формы сигнала? Сквозность (коэффициент заполнения)?
- Защита?
- Предохранители
- Защитные диоды (обычные диоды или схема «идеального диода»?)

## 02 ВЫБОР КОМПОНЕНТОВ

chipdip, AliExpress, Ozon...

**chipdip.** Москва Магазины и оптовые отделы +7 495 544-00-08  
+7 495 990-30-30 CHIPDIP организациям Дс

**Каталог** Поиск среди 12 085 310 товаров Вх



Главная > Каталог > Электронные компоненты > Диоды

### Диоды 166606

	Стабилитроны <small>38965</small>		Диоды Шоттки <small>23507</small>
	Диоды СВЧ, туннельные <small>1761</small>		Диоды силовые <small>2225</small>
	Диоды лавинные <small>177</small>		Диоды прочие <small>7920</small>

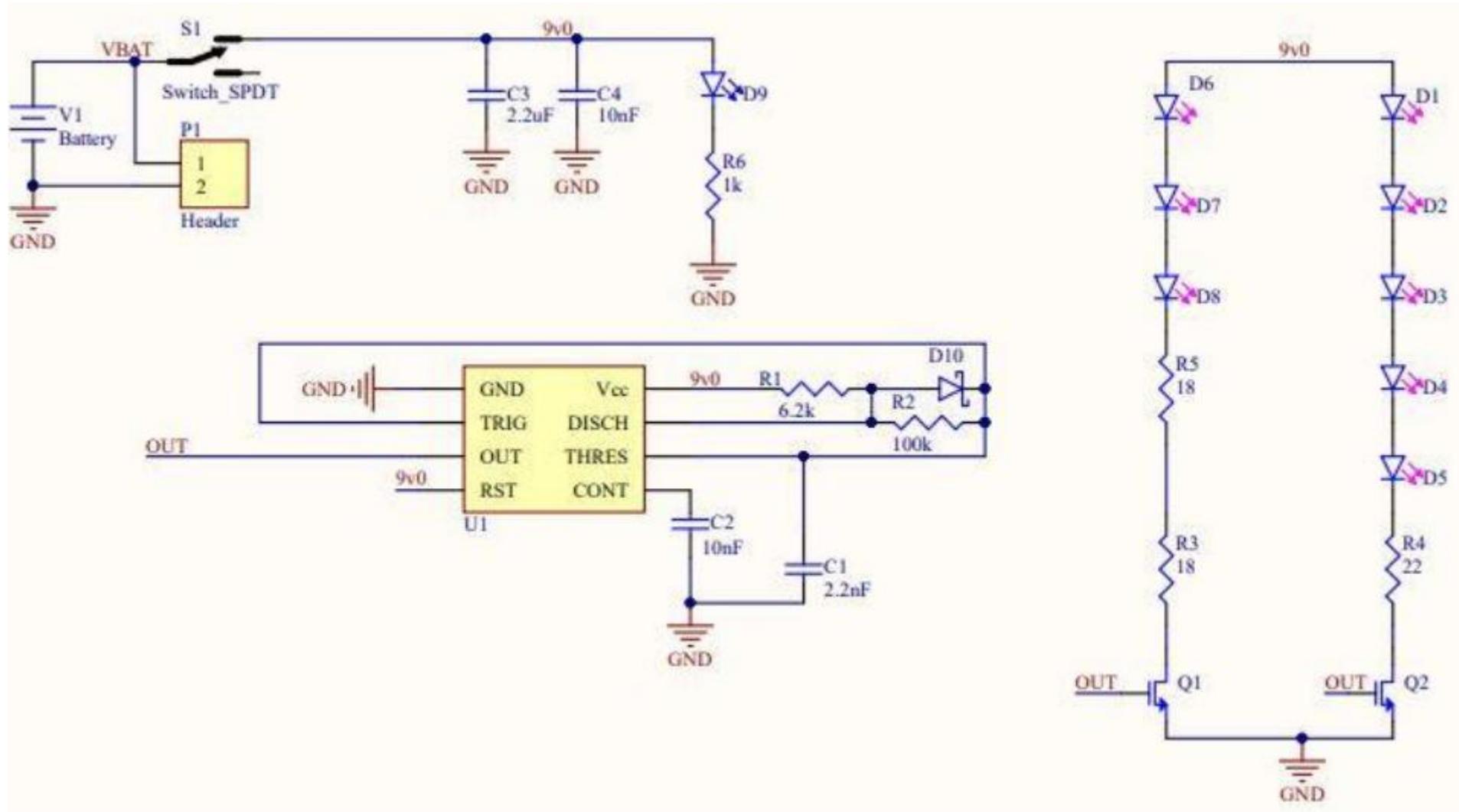
Не является рекламой, приводится в образовательных целях

## 02 ВЫБОР КОМПОНЕНТОВ

### Всегда делайте ведомость материалов

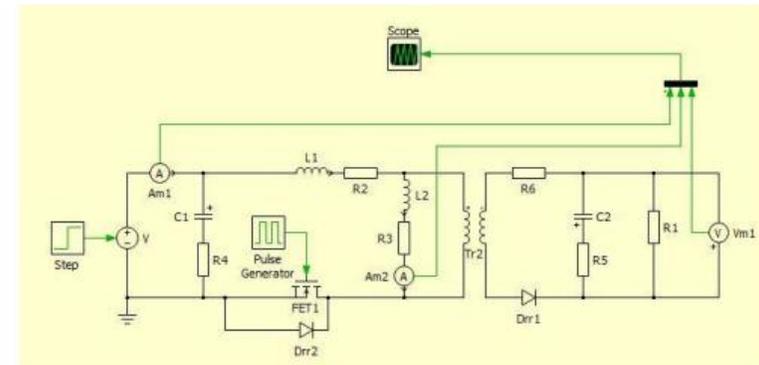
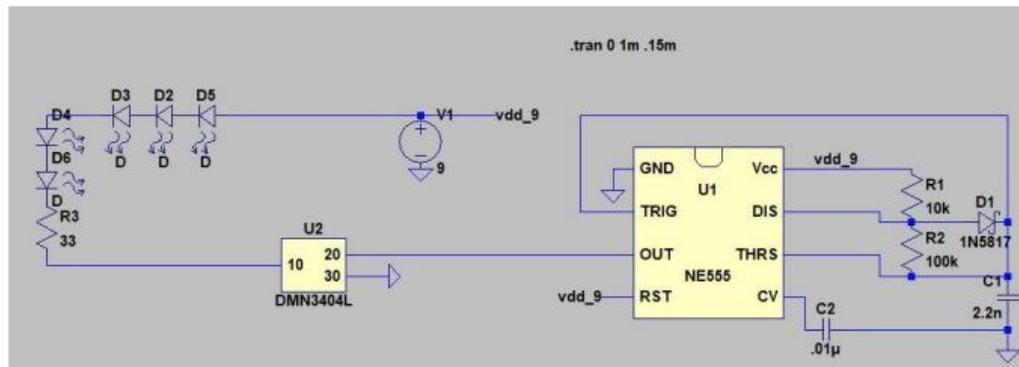
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Item #	Ref Des	Qty	Qty Owned	Qty to Order	Manufacturer	Part #	Distributor	Description	Package/Type	Unit Cost	Notes	Ordered	Placed	Website	
2	1	U1	1	0	15	TI	296-21752-1-ND	Digikey	555 Timer	SOIC-8	0.364		NO	NO	<a href="https://www.digikey.com">https://www.digikey.com</a>	
3	2	D1-D8	8	0	25	SunLED	1497-1205-1-ND	Digikey	IR LED 880nm	SMD	0.319	Side View, 880nm	NO	NO	<a href="https://www.digikey.com">https://www.digikey.com</a>	
4	3	D9	1	0	0	LED	CLM4B-RKW-CWBXBAA3CT-ND	Digikey	Red LED	4-PLCC	0.205	70mA I <sub>max</sub>	NO	NO	<a href="https://www.digikey.com">https://www.digikey.com</a>	
5	4	S1	1	0	0	Nidec-Copal	563-1318-1-ND	Digikey	Slide Switch	SMT	1.0152	200mA,12V	NO	NO	<a href="https://www.digikey.com">https://www.digikey.com</a>	
6	5	D10	1	0	10	ON Semi	NRVTS260ESFT1	Digikey	Schottky	SMD	0.273		NO	NO	<a href="https://www.digikey.com">https://www.digikey.com</a>	
7	6	R1	1	0	0	Panasonic	P6.2KDBCT-ND	Digikey	Res	_0603	0.3	6.2k	NO	NO	<a href="https://www.digikey.com">https://www.digikey.com</a>	
8	7		1	0	10	Vishay	MCT0603-5.60K	Digikey	Res	_0603	0.152	5.6k	NO	NO	<a href="https://www.digikey.com">https://www.digikey.com</a>	
9	8	R2	1	0	0	Panasonic	P100KDBCT-ND	Digikey	Res	_0603	0.3	100k	NO	NO	<a href="https://www.digikey.com">https://www.digikey.com</a>	
10	9	R3	1	0	0			Digikey	Res	_0603			NO	NO		
11	10	R4	1	0	0			Digikey	Res	_0603			NO	NO		
12	11	R5	1	0	0			Digikey	Res	_0603			NO	NO		
13	12	R6	1	0	0	Rohm	RHM1.0KDCT-ND	Digikey	Res	_0603	0.087	1k	NO	NO	<a href="https://www.digikey.com">https://www.digikey.com</a>	
14	13	C1	1	0	10	Murata	490-4931-1-ND	Digikey	Cap	_0603	0.057	2.2nF	NO	NO	<a href="https://www.digikey.com">https://www.digikey.com</a>	
15	14		1	0	0	Samsung	490-4777-1-ND	Digikey	Cap	_0603	0.0254	1nF	NO	NO	<a href="https://www.digikey.com">https://www.digikey.com</a>	
16	15	C2,C4	2	0	0	AVX	478-1227-1-ND	Digikey	Cap	_0603	0.0334	10nF	NO	NO	<a href="https://www.digikey.com">https://www.digikey.com</a>	
17	16	C3	1	0	0	Samsung	1276-1045-1-ND	Digikey	Cap	_0603	0.0306	2.2uF	NO	NO	<a href="https://www.digikey.com">https://www.digikey.com</a>	
18																
19									<b>Total Cost</b>		<b>~ \$20</b>					
20																
21									<b>For Ordering</b>							
22									Digikey Part Number		Quantity					
23									296-21752-1-ND		15					
24									1497-1205-1-ND		25					
25									NRVTS260ESFT1GOSCT-ND		10					
26									MCT0603-5.60K-CFCT-ND		10					
27									490-4931-1-ND		10					

### 03 СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМЫ

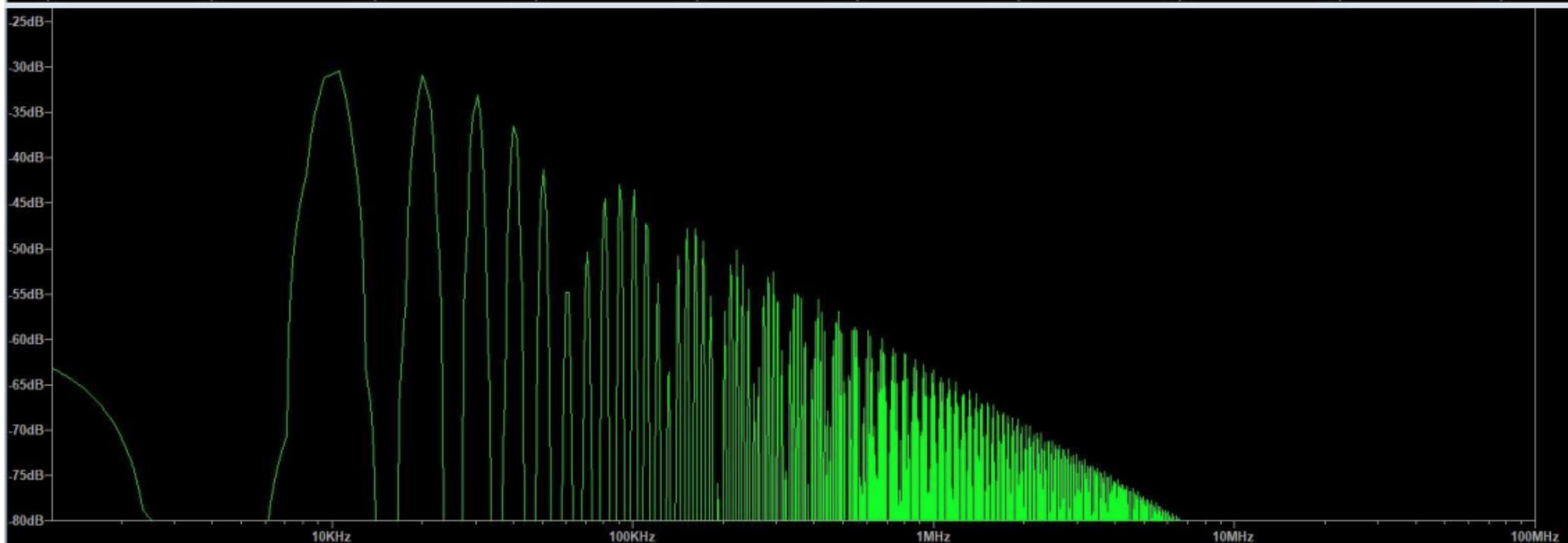
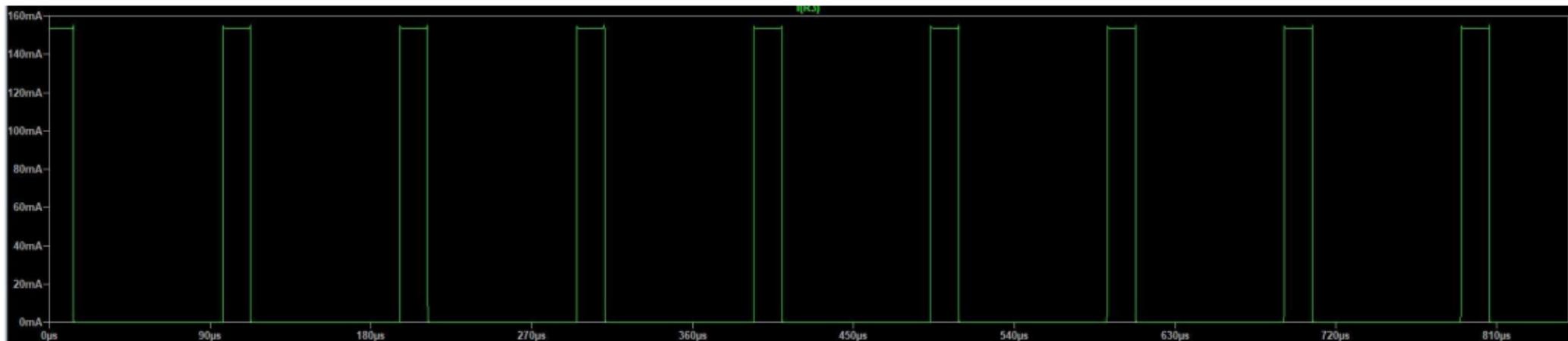


## 04 МОДЕЛИРОВАНИЕ (СИМУЛЯЦИЯ)

- позволяет проверить работоспособность аналоговых и простых цифровых устройств;
- Multisim, LTSpice, Pspice, PartSim, PLECCS, EasyEDA, Autodesk Circuits, и т.д.

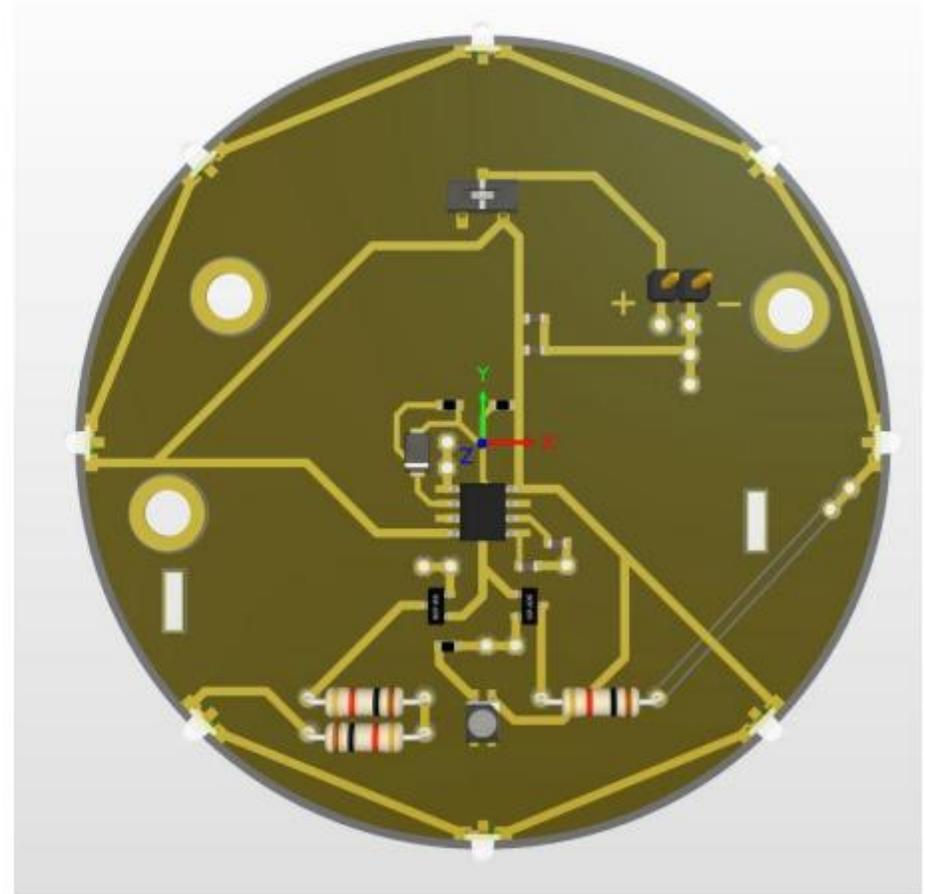
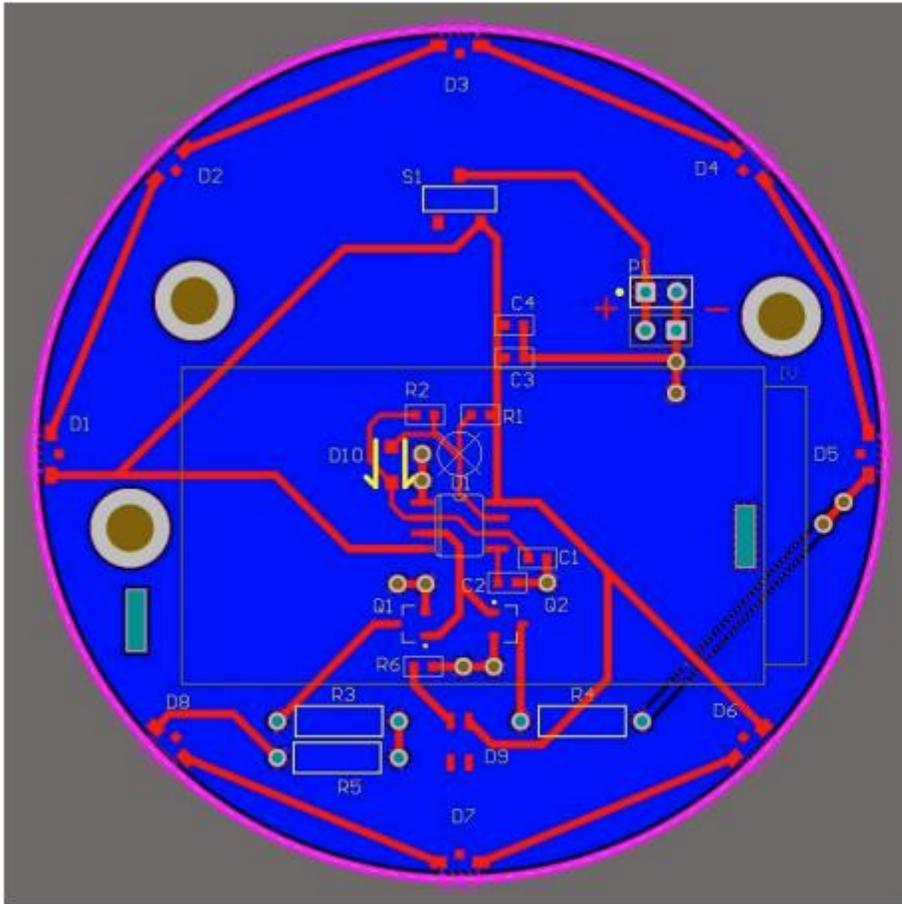


## 04 МОДЕЛИРОВАНИЕ (СИМУЛЯЦИЯ)

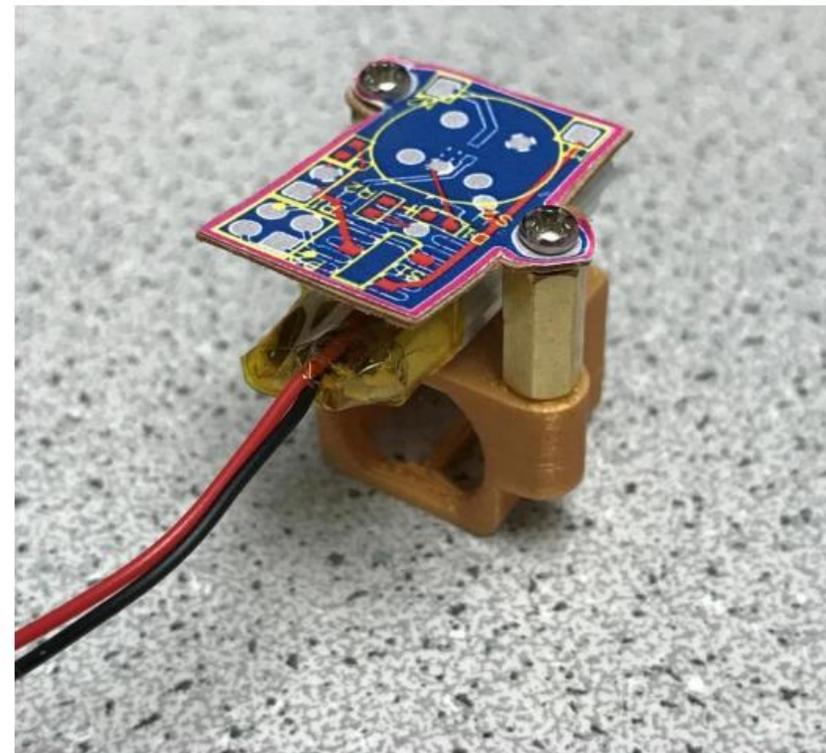
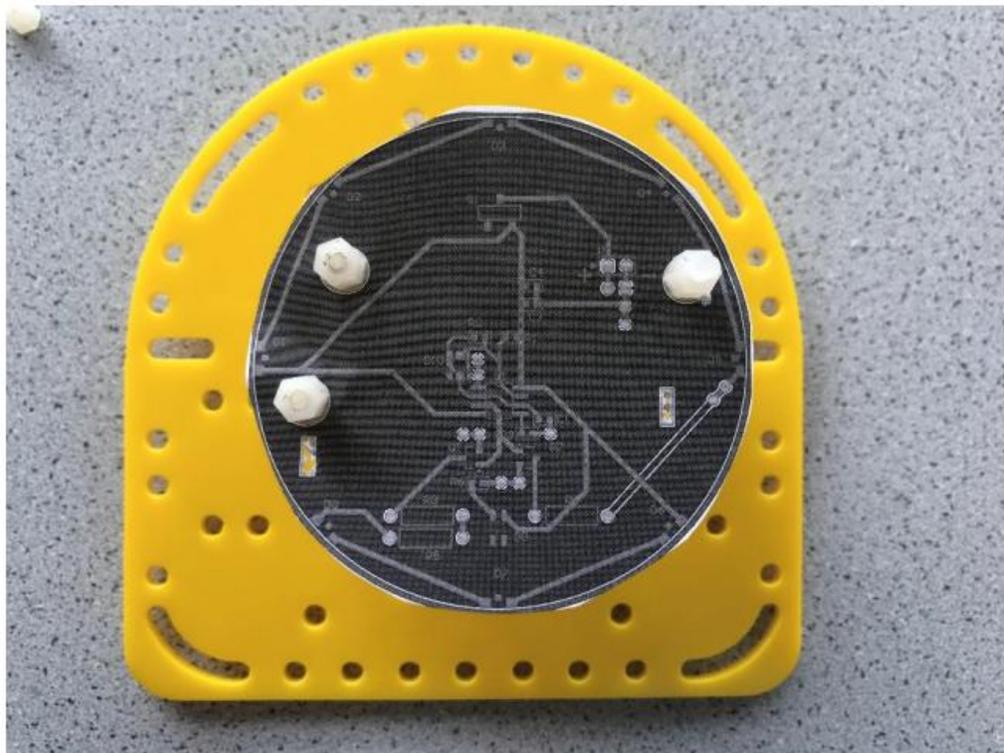


## 05 МАКЕТИРОВАНИЕ И ТРАССИРОВКА

Как физически расположить компоненты на плате?

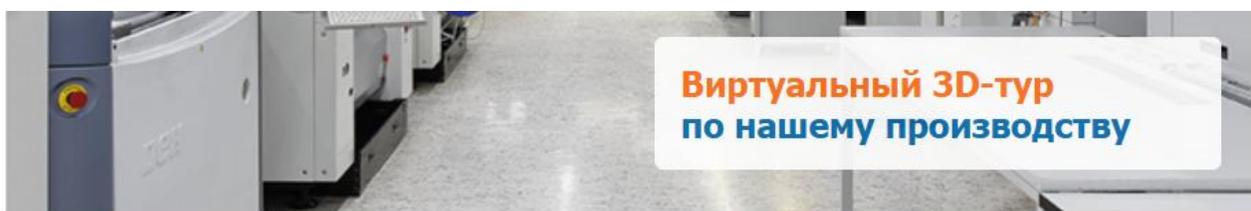


## 06 ПЕЧАТЬ В МАСШТАБЕ 1:1 НА БУМАГЕ И ПРОВЕРКА

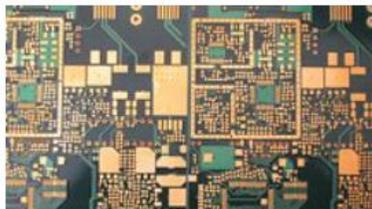


Gerber-файлы – инструкции по производству печатной платы для производителя.

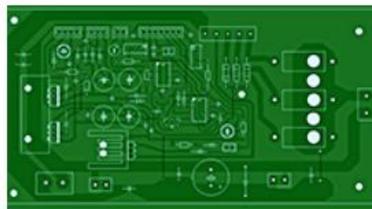
- создать Gerber-файлы;
- проверить корректность (<http://www.gerber-viewer.com/>);
- передать производителю.



Виртуальный 3D-тур по нашему производству



Разработка печатных плат



Трассировка печатных плат



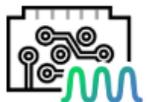
Изготовление печатных плат



## Технологические возможности производства печатных плат



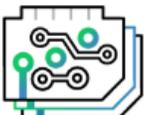
**Односторонние и двусторонние**  
от 1 рабочего дня



**СВЧ односторонние и двусторонние**  
от 5 рабочих дней



**Гибкие**  
от 5 рабочих дней



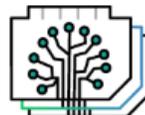
**Многослойные типовые сборки**  
от 4 рабочих дней



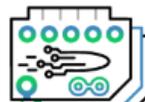
**СВЧ многослойные/гибридные**  
от 7 рабочих дней



**Гибко-жесткие**  
от 7 рабочих дней



**Многослойные нетиповые сборки**  
сроки временно по запросу



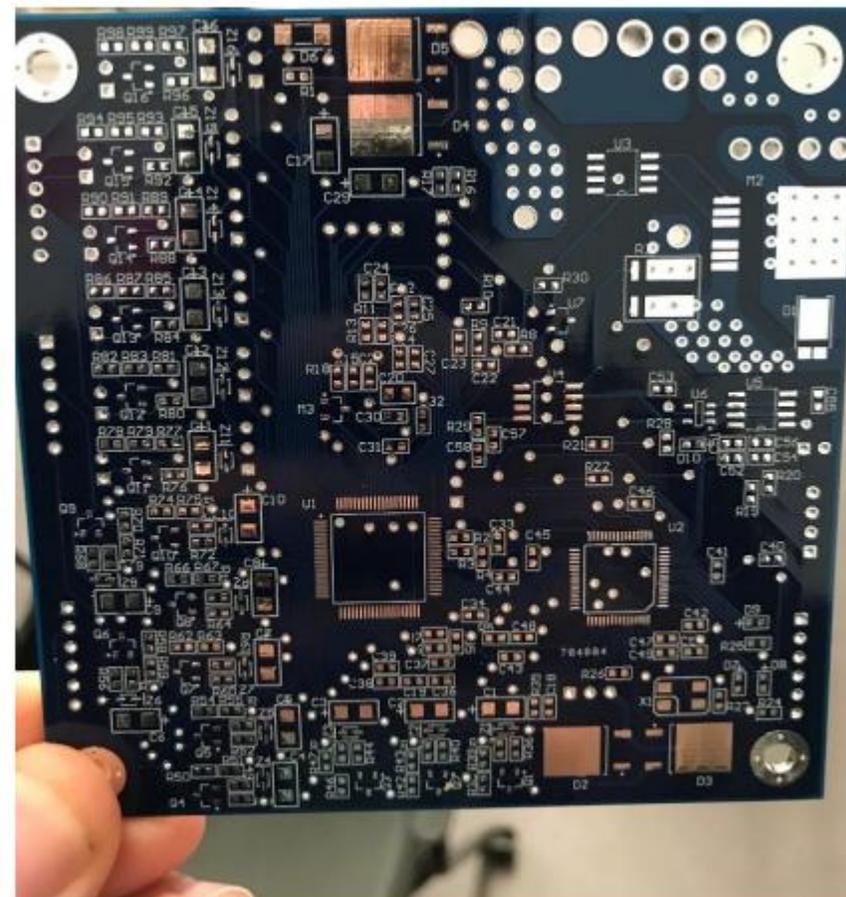
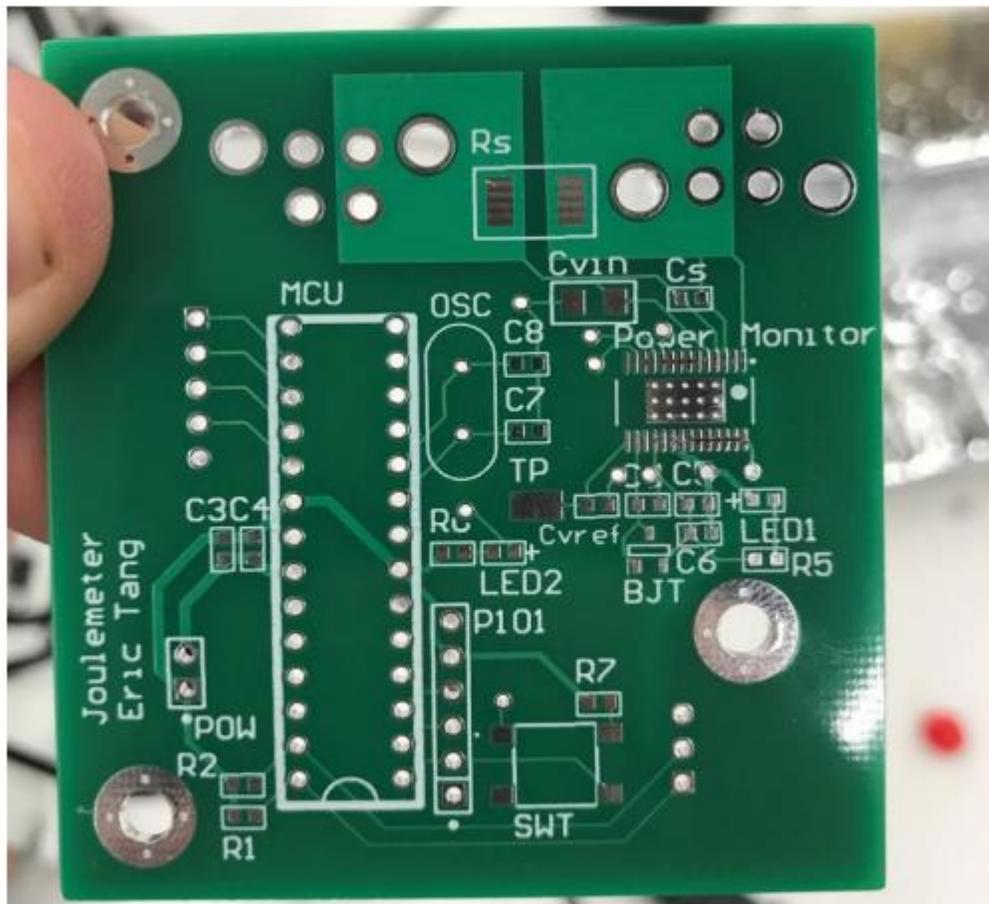
**Высокоскоростные High speed**  
от 6 рабочих дней



**На металлическом основании**  
от 4 рабочих дней

## 08 ПАЙКА

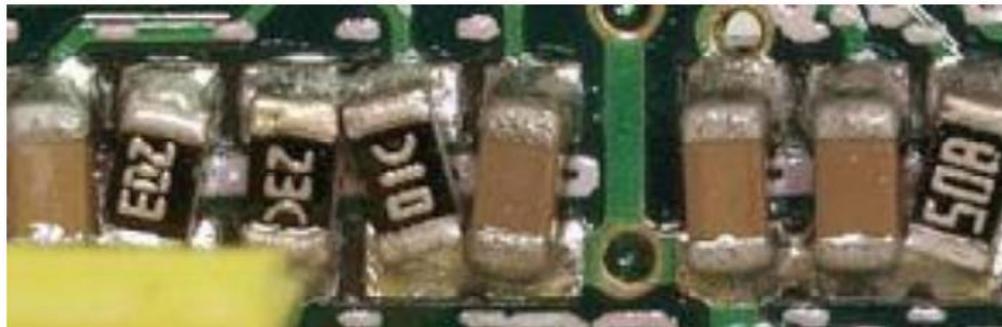
Напечатанная плата выглядит примерно так



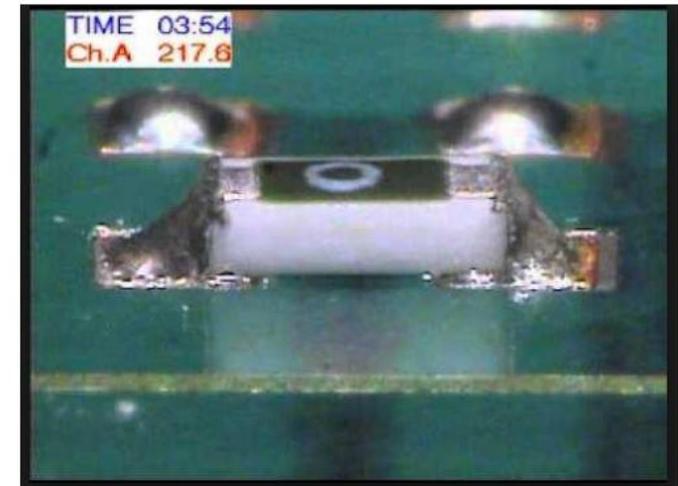
## 08 ПАЙКА

- всегда начинайте с SMD-компонентов!
- обычно порядок такой: от меньшего к большему, сначала микросхемы, затем резисторы и конденсаторы;
- когда закончите с SMD, переходите к выводам: сначала самые низкие, затем самые высокие;
- можно паять и тестировать поэтапно;
- следите за правильным формированием галтели (фаски) припоя!

плохо



хорошо



## 08 МЕТОДЫ ПАЙКИ

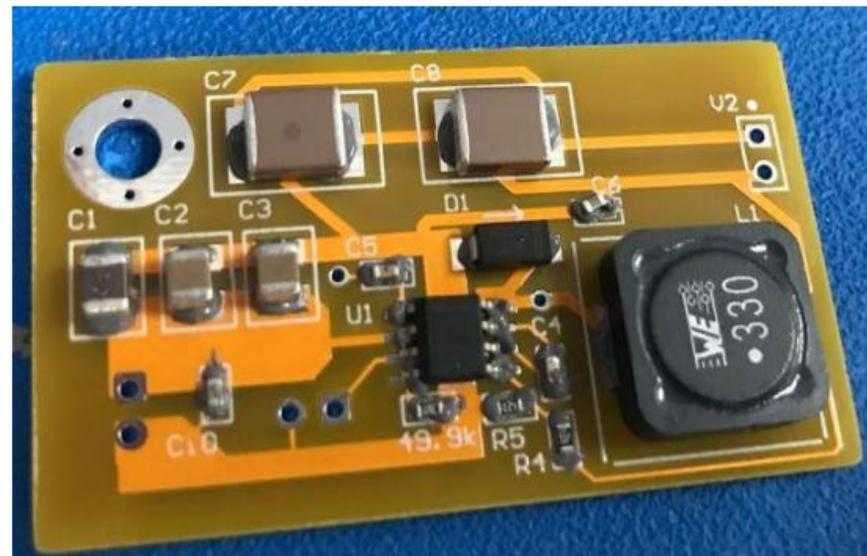
### Паяльник

- нанесите припой на контактную площадку;
- добавьте флюс (при необходимости);
- захватите компонент пинцетом и прижмите вывод к площадке;
- снова расплавьте припой, чтобы он соединил вывод и площадку.

(существуют и другие методы)

### Паяльная паста

- нанесите пасту на все контактные площадки (можно использовать трафарет);
- установите компоненты на пасту;
- запеките (нагрев в печи).



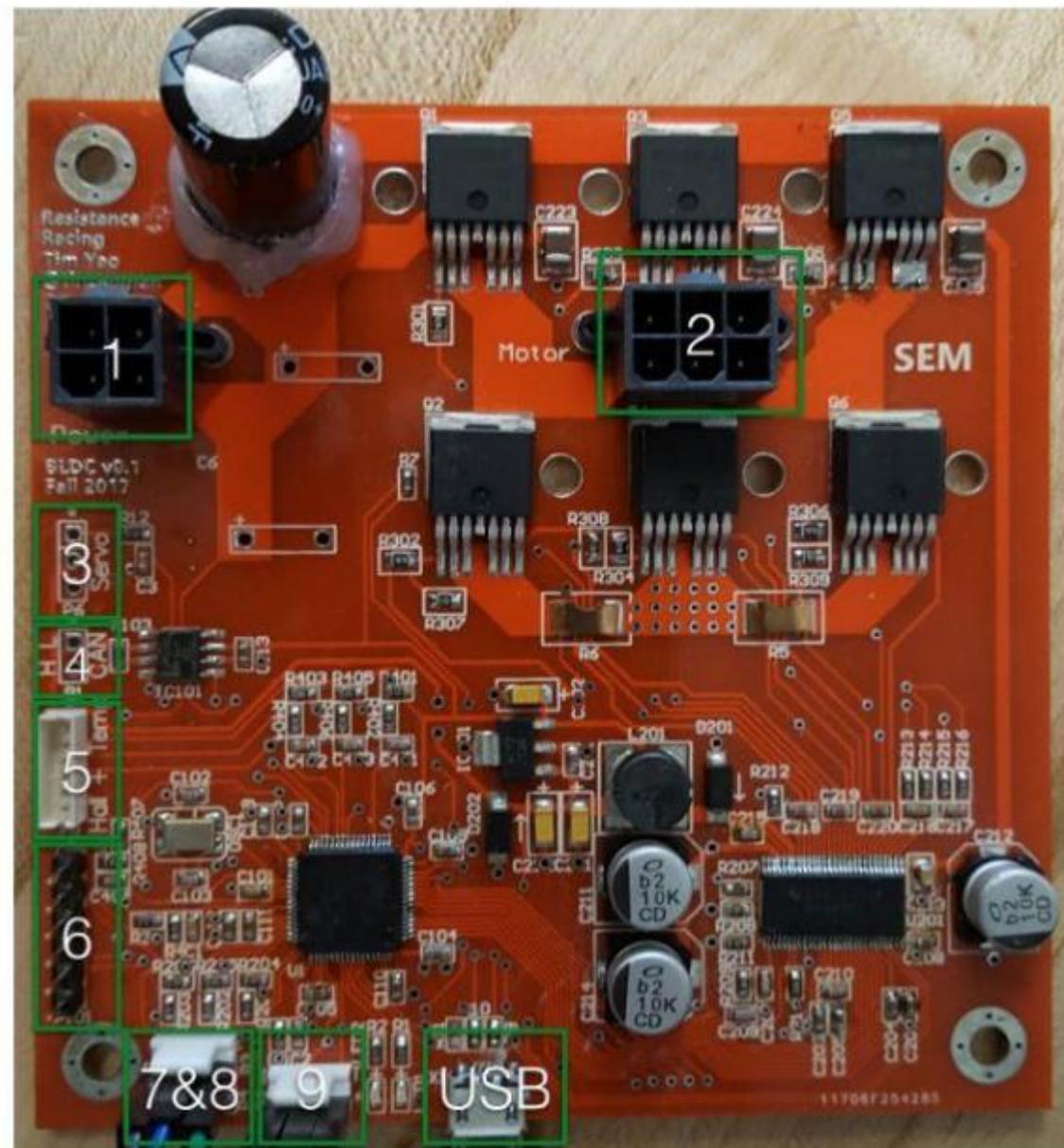
## 09 ТЕСТИРОВАНИЕ / ПРОВЕРКА

- с помощью визуального осмотра и мультиметра необходимо:
  - визуально проверить все паяные соединения;
  - прозвонить цепь между каждым выводом и контактной площадкой (сопротивление должно быть менее 1 Ом);
  - проверить отсутствие замыкания между соседними выводами (сопротивление должно быть бесконечно большим).
- выполнить первоначальное включение и тестирование:
  - используйте источник стабилизированного напряжения!
  - если напряжение плавает или ток велик — **немедленно выключите питание!**
  - проверьте напряжение в контрольных точках и на шинах питания.
- проверяйте работоспособность поэтапно.



## 10 ЭКСПЛУАТАЦИЯ

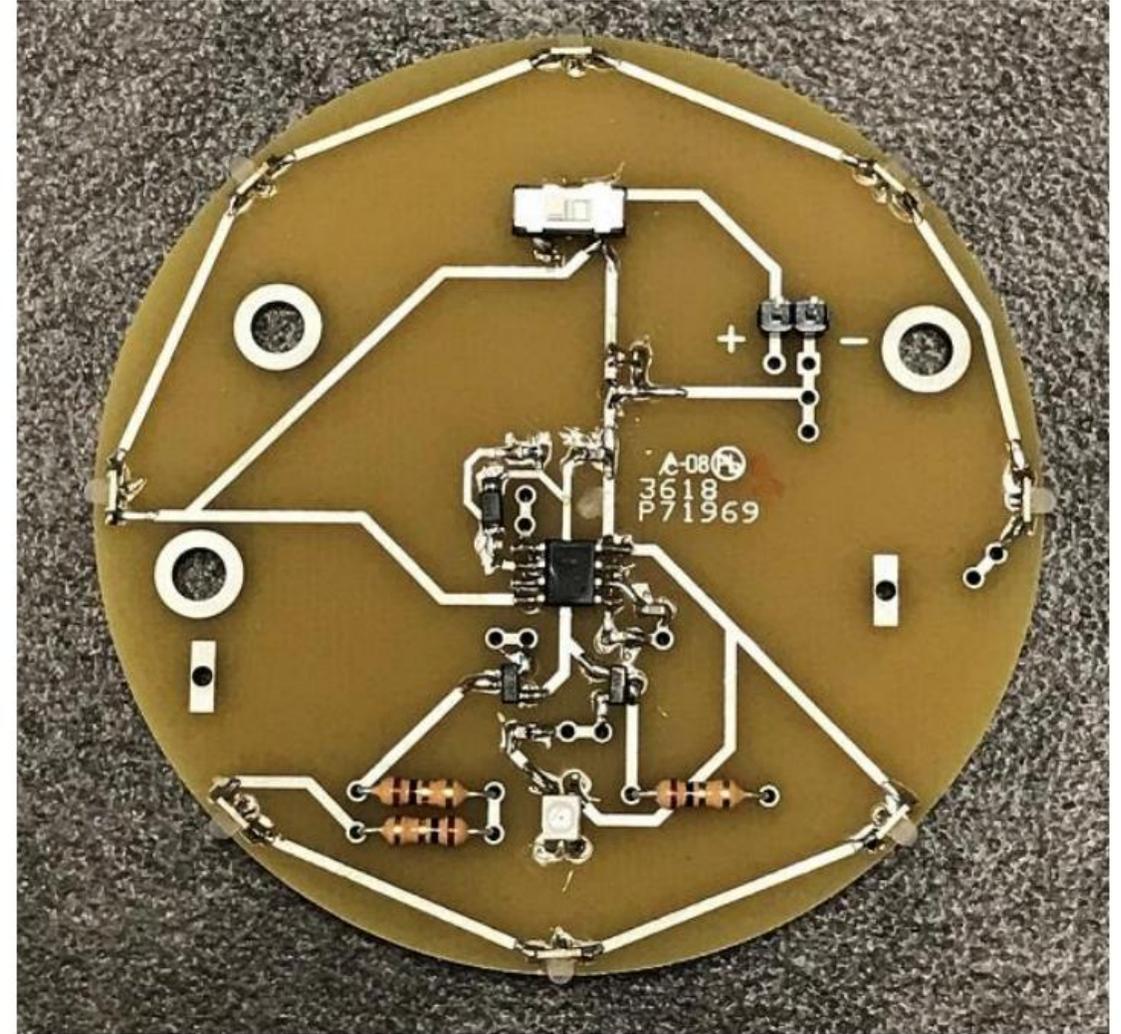
- нанесите на плату маркировку для удобства использования;
- соблюдайте правила защиты от электростатического разряда;
- используйте пластиковые крепежные винты;
- избегайте изгиба платы.



## 11 РЕФЛЕКСИЯ

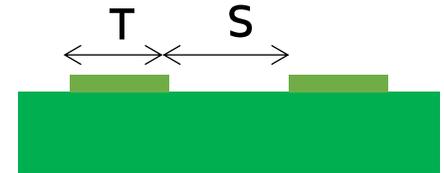
Учтите проблемы при проектировании/разработке...

- отсутствие защиты;
- неточная частота;
- гармонические искажения (паразитные гармоники);
- производственный брак / ошибка производителя;
- что-то ещё?



## КЛАССЫ ТОЧНОСТИ ПЕЧАТНОГО РЕСУРСА

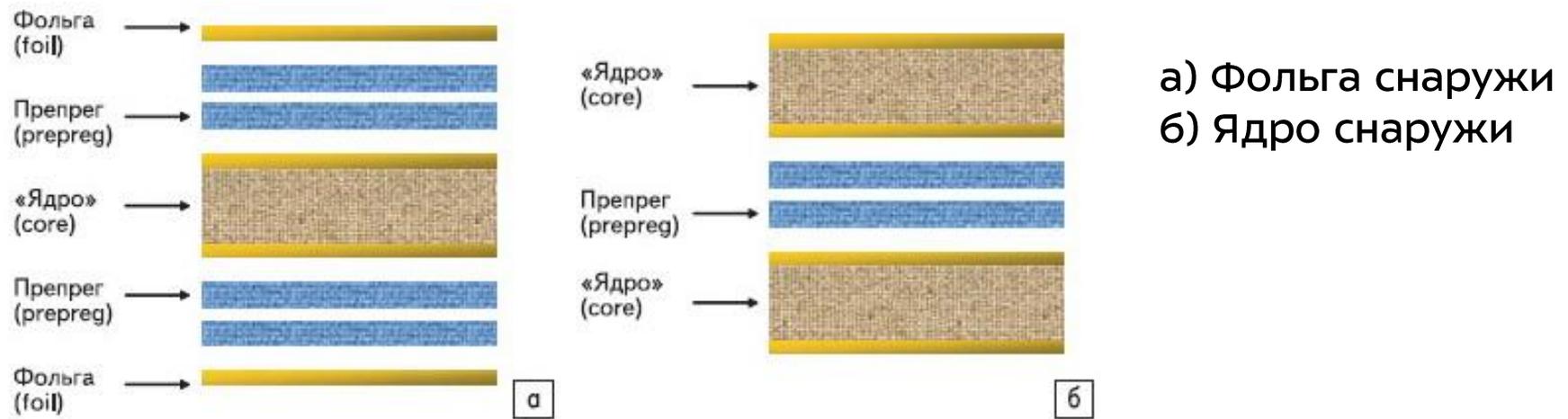
- По точности выполнения печатных элементов конструкции (проводников, контактных площадок и пр.) все ПП делят на 7 классов, отличающихся номинальными размерами элементов печатного рисунка (ГОСТ Р 53429-2009):
- T - ширина печатного проводника
- S - расстояние между краями соседних элементов проводящего рисунка



Класс точности	1	2	3	4	5	6	7
Ширина проводника и зазор, мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1	0,075	0,05

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МПП

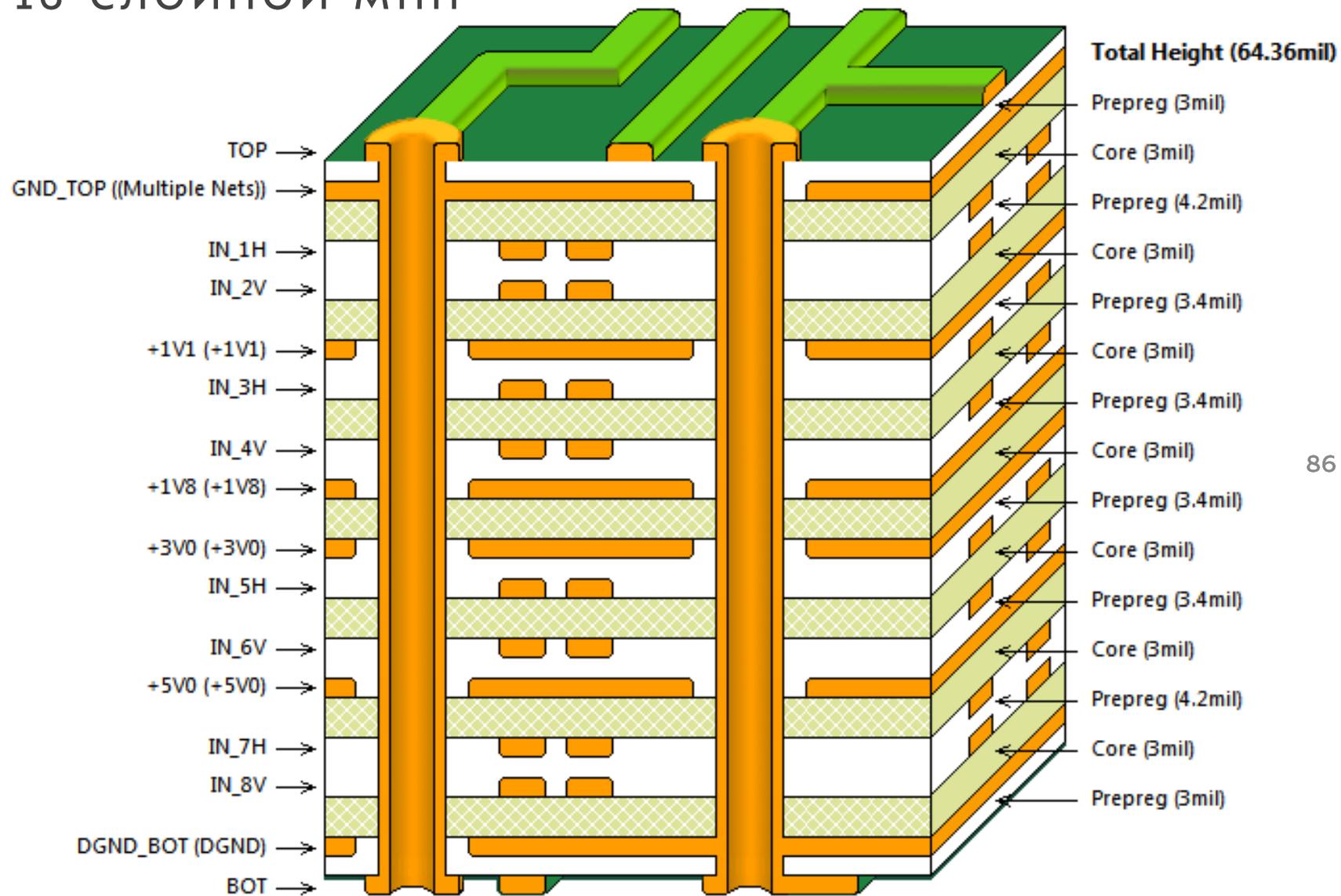
- При разработке структуры МПП необходимо обеспечить **заданное число сигнальных слоев**, удовлетворить требования по **помехозащищенности** и **электрическим параметрам** линий связи.
- В МПП сигнальные слои чередуются с потенциальными, которые **снижают волновое сопротивление** сигнальных линий связи и **экранируют** смежные монтажные слои.



**Достоинства МПП:** высокая коммутационная способность и возможность передачи наносекундных сигналов без существенных искажений и потерь.

**Недостатки МПП:** Высокая стоимость проектирования и изготовления; жесткие требования к исходным материалам и точности изготовления.

# ПРИМЕР СТРУКТУРЫ 16 СЛОЙНОЙ МПП



8+2 сигнальных слоев (in, inner+ top, bottom)  
6 потенциальных (опорных) слоев

7 ядер (core, ламинат)  
8 препрегов (prepreg)

## ПЕРЕЧЕНЬ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА СТРУКТУРУ МПП

**Факторы** для расчета структуры МПП:

- необходимое число сигнальных слоев;
- электрические параметры линий связи (собственная емкость на единицу длины или волновое сопротивление);
- возможные значения геометрических параметров элементов печатного монтажа (ширина сигнальных проводников, толщина сигнальных и потенциальных слоев, диаметр металлизированных отверстий, толщина фольги и диэлектрика).

**Расчет структуры МПП** заключается:

- в определении вида звеньев;
- их числа;
- расположения относительно друг друга;
- и расстояния между слоями.

## ОБЩИЙ ПОРЯДОК ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПП

1. Вырубка заготовки
2. **Формирование топологии проводников на ПП**
  1. Для каждого слоя ПП
  2. Для пакета ПП
3. Мойка
4. Сушка
5. Нанесение паяльной маски
6. Облуживание
7. Электрическое тестирование

Основные отличия методов изготовления - в п.2

## ХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Химически избирательно удаляется с фольгированного диэлектрика проводящий слой.

Субтрактивный метод:

- берется фольгированный диэлектрик;
- переносится рисунок печатных проводников в виде стойкой к растворам травления пленки фоторезиста;
- незащищенные места фольги стравливаются;
- фоторезист удаляется.

Основной недостаток метода – затраты на химическое удаление предварительно нанесенного слоя

## ПАРАМЕТРЫ ТРАВЛЕНИЯ

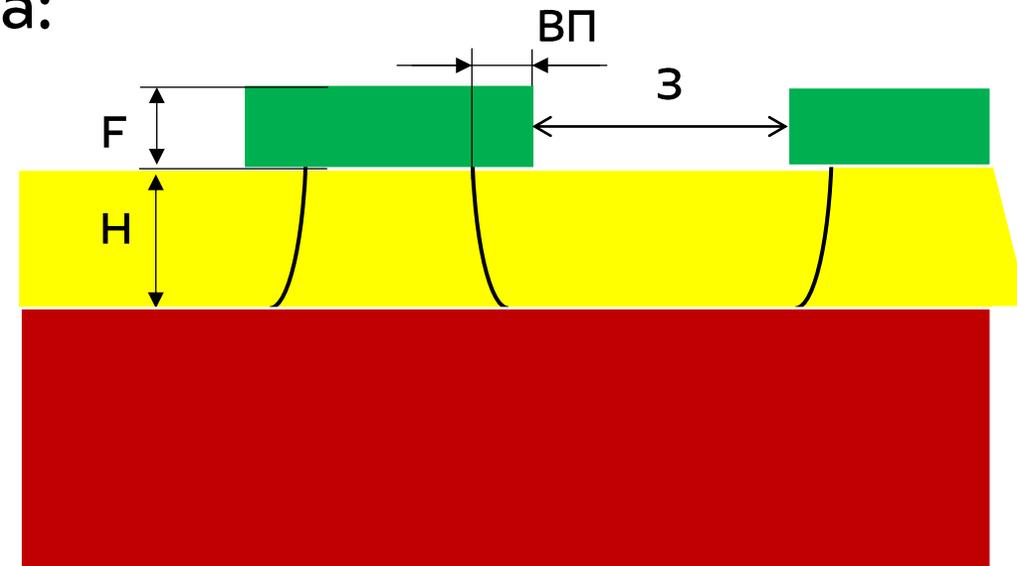
Эффективность процесса определяется реакциями диффузии, окисления и восстановления на границе фаз металл-раствор и в самом растворе.

- Параметры:
  - температура;
  - состав травителя и металла;
  - тип защитного покрытия;
  - толщина металлизированного слоя;
  - ширина проводника.

# ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ РИСУНКА ПРОВОДНИКА И ЗАЗОРА

- Разрешение фоторезиста  $R_\phi = 4/3 \cdot F$ ,
- где  $F$  - толщина фоторезиста
- Величина подтравливания рисунка сравнима с глубиной травления  
 $ВП = 2/3 \cdot H$ ,
- где  $H$  - толщина фоторезиста
- Оценка воспроизведения ширины зазора:

$$З = 4/3 \cdot (F + H)$$



## ОБЩАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОВ

### — Субтрактивные методы:

- Присутствует процесс травления металла;
- Есть погрешность воспроизведения рисунка проводника.

### — Аддитивные методы:

- Исходный материал - диэлектрик без металлизации;
- В основном, отсутствует процесс травления металла;
- Присутствуют химические методы отмывки.

### — Полуаддитивные:

- Исходный материал – диэлектрик с супертонким слоем металлизации (или процессе используется толстохимическая металлизация);
- Выращивание проводников – гальваническими методами.

## ТЕНТИНГ-МЕТОД

- Тентинг-метод — самый **дешевый и быстрый** процесс изготовления печатных плат, при котором помимо металлизации отверстий происходит металлизация всей поверхности.
- Для тентинг-метода **необходимо использовать толсто пленочные фоторезисты** (50 мкм), чтобы после проявления они смогли выдержать напор струй травящих растворов.
- При тентинг-методе трудно ожидать воспроизводимость рисунка лучше, чем 0,14 мм

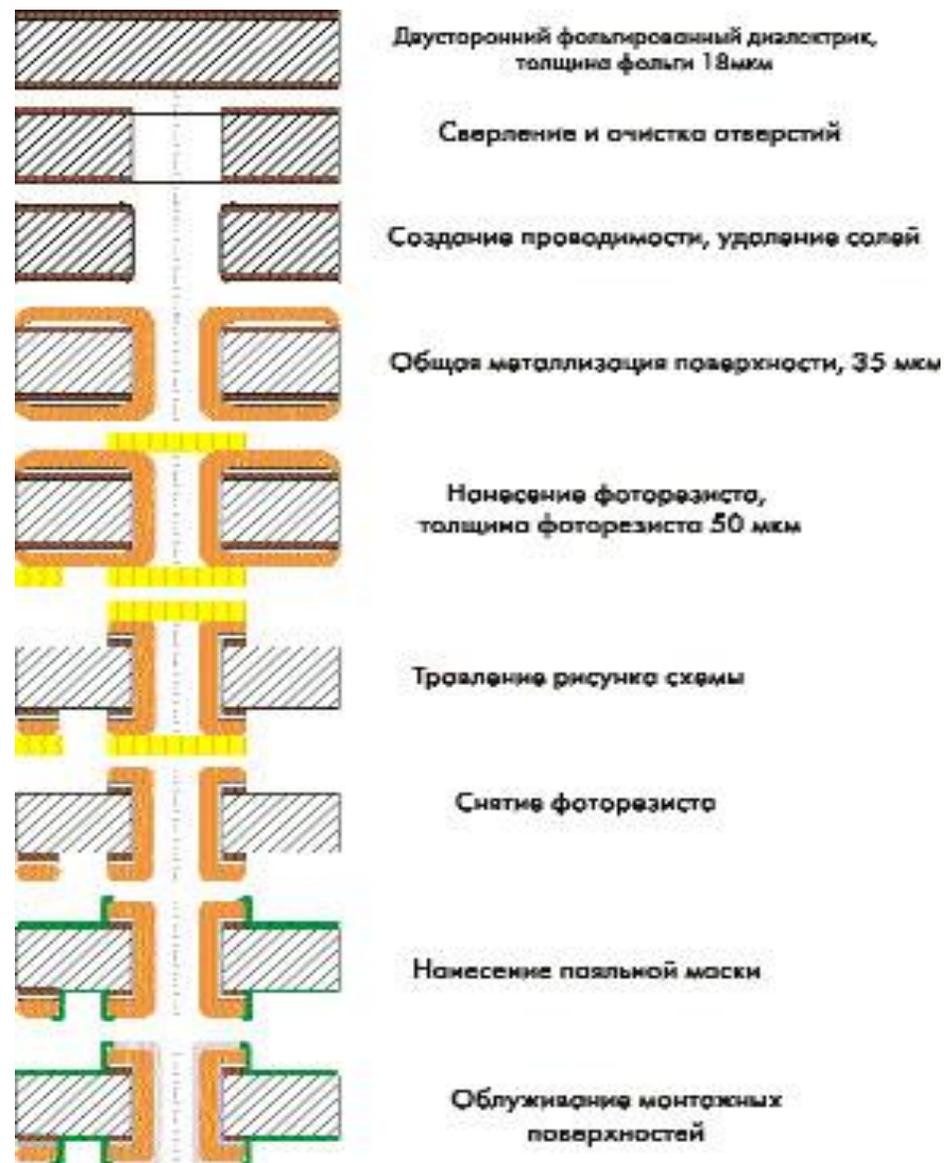


Схема тентинг-метода

## КОМБИНИРОВАННЫЙ ПОЗИТИВНЫЙ МЕТОД

- Данный метод **позволяет воспроизводить более тонкие проводники** за счет меньшей толщины вытравливаемого металла.
- **Химическая** металлизация рисунка проводника
- Толщина используемых в этом методе фоторезистов определяется лишь тем, что толщина рельефа должна быть больше толщины наращиваемой в этом рельефе металлизации (проводников).
- Проводники/зазоры - 0,075мм

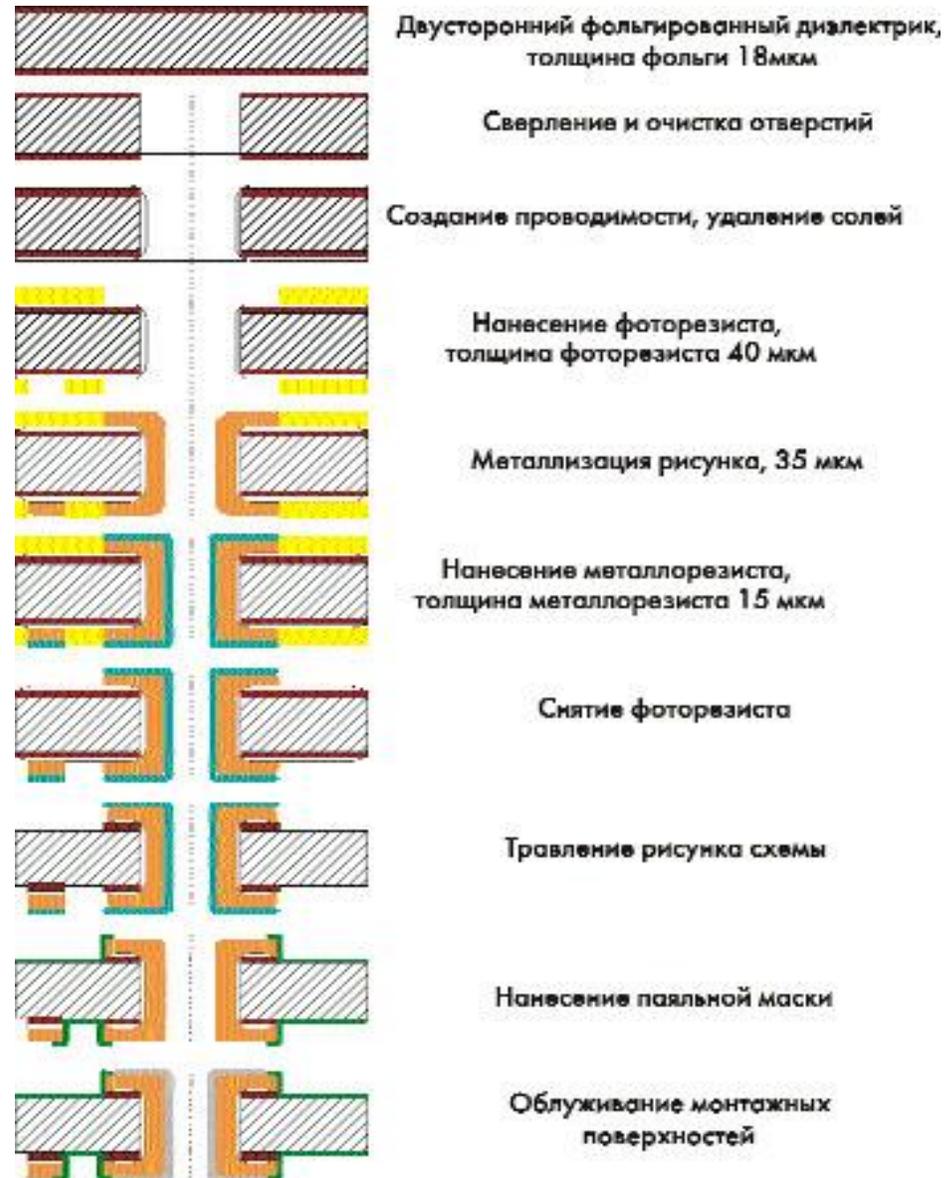


Схема комбинированного позитивного метода

## ПОЛУАДДИТИВНЫЙ МЕТОД С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ ТРАВЛЕНИЕМ

- Данный метод **позволяет воспроизводить более тонкие проводники, чем вышеуказанные методы.**
- На нефольгированный диэлектрик осаждают минимальный слой меди, чтобы обеспечить возможность дальнейшей металлизации проводников и отверстий.
- **Гальваническая** металлизация рисунка проводников.
- Вытравливается только этот минимальный слой (около 3 мкм), что **позволяет воспроизводить проводники малой ширины - 0,04мм.**

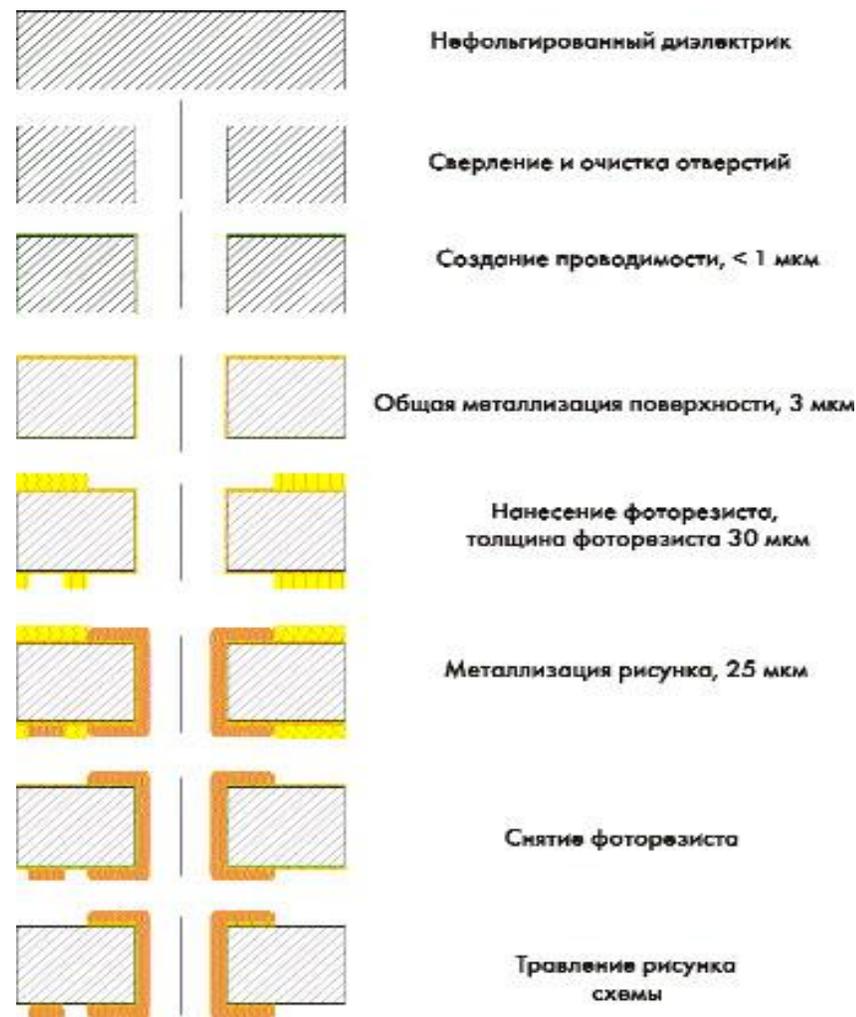


Схема полуаддитивного метода с дифференциальным травлением

# СРАВНЕНИЕ ТРЕХ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ПП

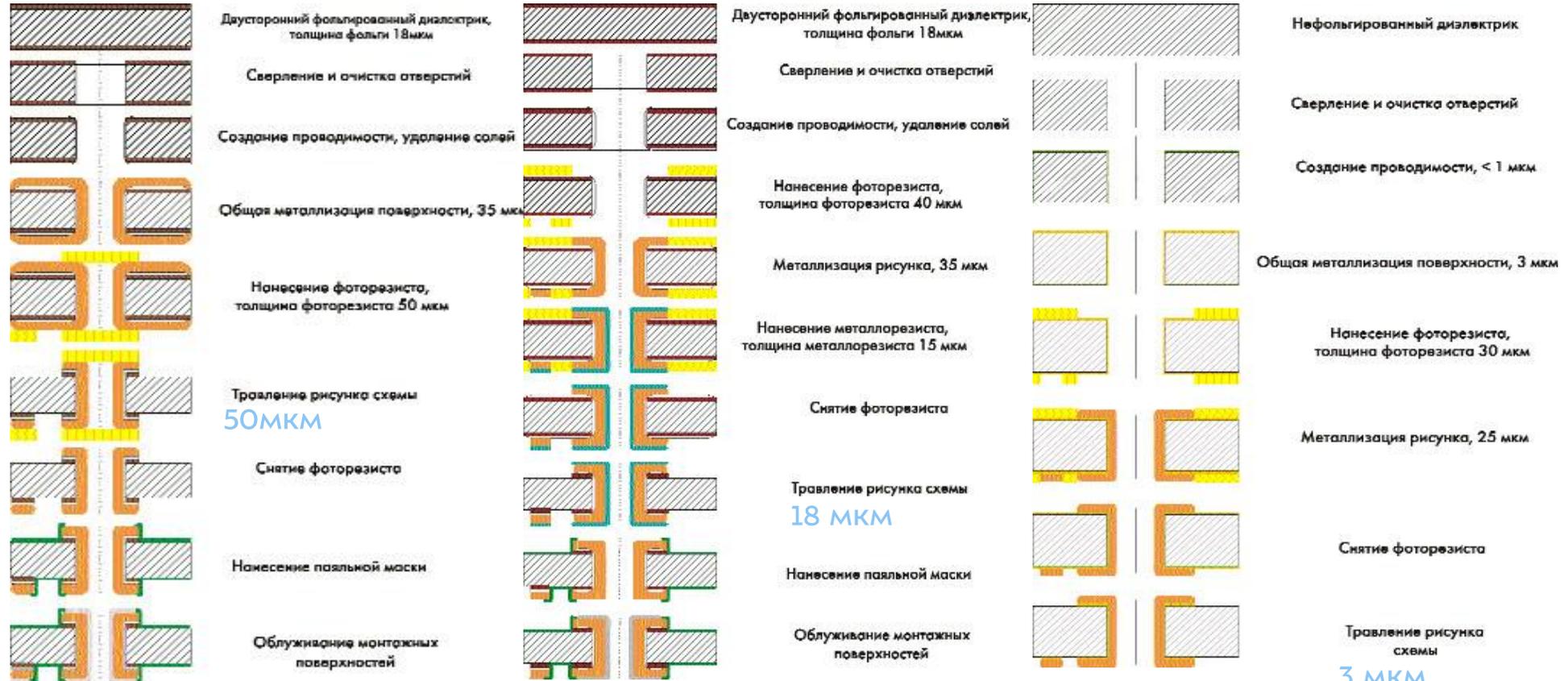


Схема тентинг-метода

Схема комбинированного положительного метода

Схема полувыводного метода с дифференциальным травлением

## ВЫВОДЫ

- Выбор метода изготовления **существенно сказывается на точности воспроизведения рисунка** печатных плат.
- Тентинг-метод при всех его преимуществах не может претендовать на воспроизведение рисунка **выше 4 класса** по ГОСТ23751. Современные системы изготавливаются 5 класса и выше ГОСТ Р 53429—2009;
- Прецизионные печатные платы с проводниками и зазорами около 50 мкм и менее могут быть изготовлены только полуаддитивными методами в сочетании с дифференциальным травлением. Обычно это 5/6/7 классы точности ГОСТ Р 53429—2009;

# ОБЪЕДИНЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ СЛОЕВ В СТЕК МПП (НАСТРОЙКА STACKUP ПРОЕКТА ПП)

Stackup Editor

File Edit View Help

Basic Dielectric Metal Z0 Planning Manufacturing Custom View

	Visible	Color	Pour Draw Style	Layer Name	Type	Usage	Thickness mils	Er	Test Width mils	Z0 ohm	Thermal Conductivity Btu/hrftF
1					Dielectric	Solder Mask	0.7	3.3			0.173
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Red	Hatched	TOP	Metal	Signal	1.6	<Auto>	4	48.7	227.476
3				DIE_002(1080)	Dielectric	Substrate	2.3	3.76			0.173
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Yellow	Hatched	GND1	Metal	Plane	1.2	<Auto>	6	73.9	227.476
5				DIE_004(CORE)	Dielectric	Substrate	3	4			0.173
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Magenta	Hatched	IN1	Metal	Signal	1.2	<Auto>	4	48.6	227.476
7				DIE_006(7628HR_2)	Dielectric	Substrate	16	4.14			0.173
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Blue	Hatched	VCC1	Metal	Plane	1.2	<Auto>	6	39.2	227.476
9				DIE_008(CORE)	Dielectric	Substrate	3	4			0.173
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Orange	Hatched	VCC2	Metal	Plane	1.2	<Auto>	15	22.4	227.476
11				DIE_010(7628HR_2)	Dielectric	Substrate	16	4.14			0.173
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Cyan	Hatched	GND2	Metal	Plane	1.2	<Auto>	6	64.2	227.476
13				DIE_012(CORE)	Dielectric	Substrate	3	4			0.173
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Brown	Hatched	IN2	Metal	Signal	1.2	<Auto>	4	49.1	227.476
15				DIE_014(7628HR_2)	Dielectric	Substrate	16	4.14			0.173
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Green	Hatched	IN3	Metal	Signal	1.2	<Auto>	4	48.2	227.476
17				DIE_016(CORE)	Dielectric	Substrate	3	4			0.173
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Purple	Hatched	GND3	Metal	Plane	1.2	<Auto>	6	75.1	227.476
19				DIE_018(1080)	Dielectric	Substrate	2.3	3.76			0.173
20	<input checked="" type="checkbox"/>	Teal	Hatched	BOTTOM	Metal	Signal	1.6	<Auto>	4	48.7	227.476
21					Dielectric	Solder Mask	0.7	3.3			0.173

Draw proportionally Total thickness: 78.8 mils  
 Use layer colors

**No errors in stackup.**

Measurement units: English

# ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПП ПО ВОЗРАСТАНИЮ ПЛОТНОСТИ ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА

1. **Односторонние ПП**
2. **Двухсторонние ПП позитивным методом**
3. **Двухсторонние ПП полуаддитивным методом**
4. МПП методом **попарного прессования**
5. МПП методом **послойного наращивания**
6. МПП комбинацией методов:
  - металлизации сквозных отверстий,
  - послойного наращивания



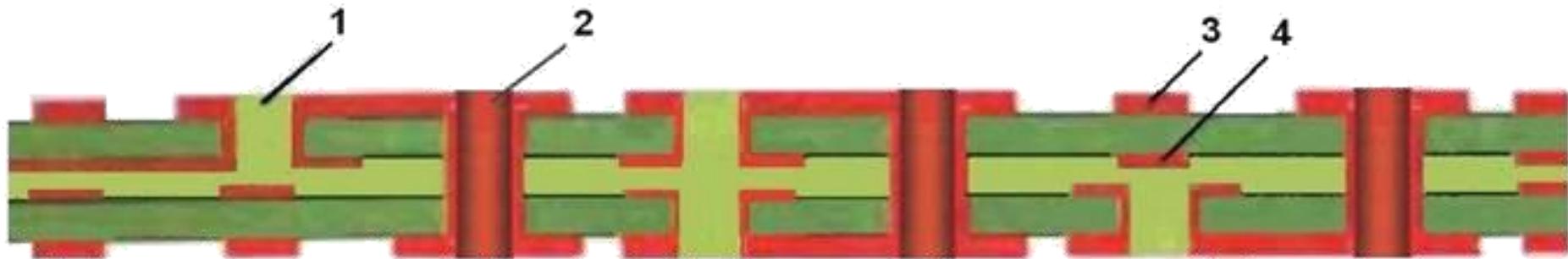
## МЕТОД ПОПАРНОГО ПРЕССОВАНИЯ

1 — переходное металлизированное отверстие между наружным и внутренним слоем;

2 — сквозное металлизированное отверстие;

3 — проводник наружного слоя;

4 — проводник внутреннего слоя



**ПРЕИМУЩЕСТВА:**  
простота реализации

**НЕДОСТАТКИ:**  
до 4х слоев

# МЕТОД ПОСЛОЙНОГО НАРАЩИВАНИЯ

1 — сквозное переходное металлизированное отверстие между наружными слоями;

2 — монтажная контактная площадка;

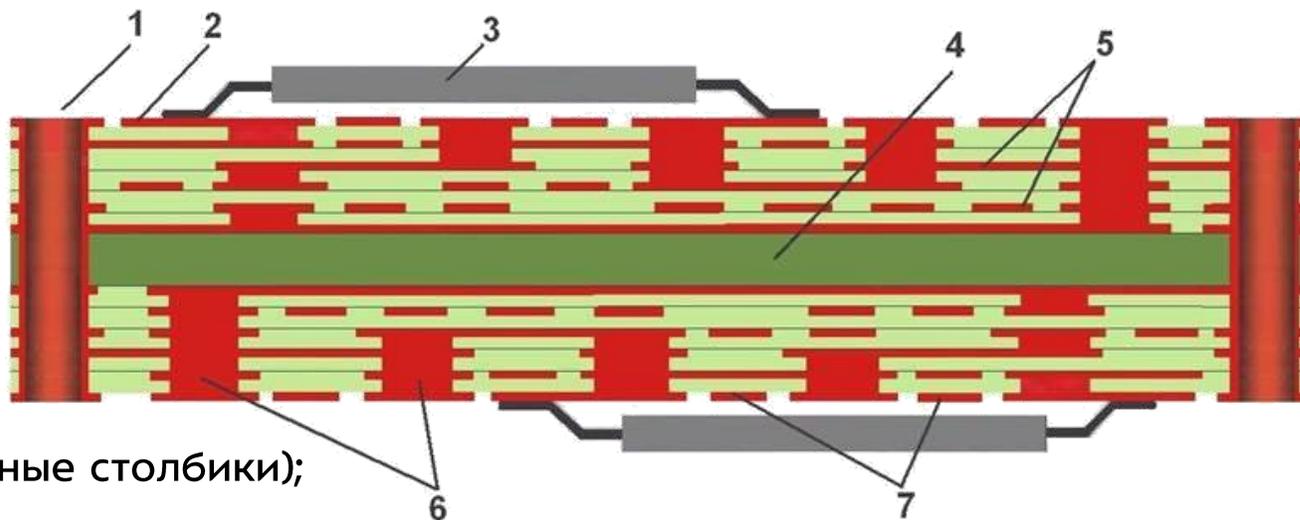
3 — компонент с планарными выводами;

4 — основа (ядро МПП);

5 — проводники внутренних слоев;

6 — межслойные переходы(металлизированные столбики);

7 — проводники внешних слоев



101

## ПРЕИМУЩЕСТВА:

- высокая плотность монтажа;
- для высоконадежной аппаратуры

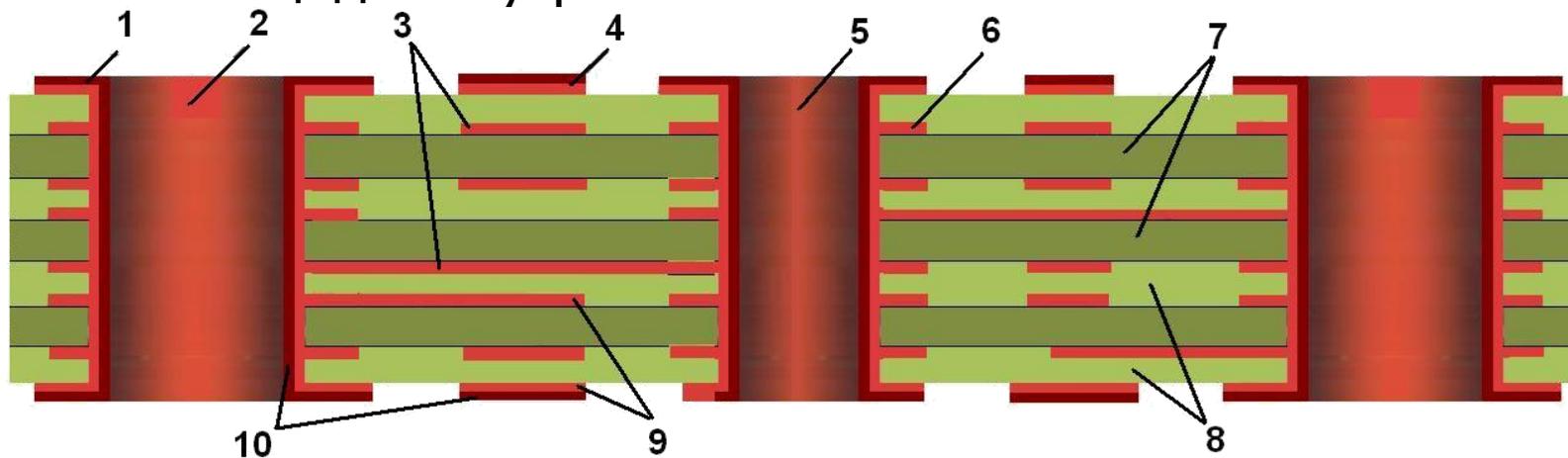
## НЕДОСТАТКИ:

- до 5и слоев;
- длительный технологический цикл

## МЕТОД МЕТАЛЛИЗАЦИИ СКВОЗНЫХ ОТВЕРСТИЙ

Структура МПП, изготовленной методом металлизации сквозных отверстий:

- 1 — контактная площадка внешнего слоя;
- 2 — сквозное монтажное металлизированное отверстие;
- 3 — проводник внутреннего слоя;
- 4 — проводник внешнего слоя;
- 5 — сквозное переходное металлизированное отверстие;
- 6 — контактная площадка внутреннего слоя.



### ПРЕИМУЩЕСТВА:

- высокая технологичность;
- высокая плотность монтажа

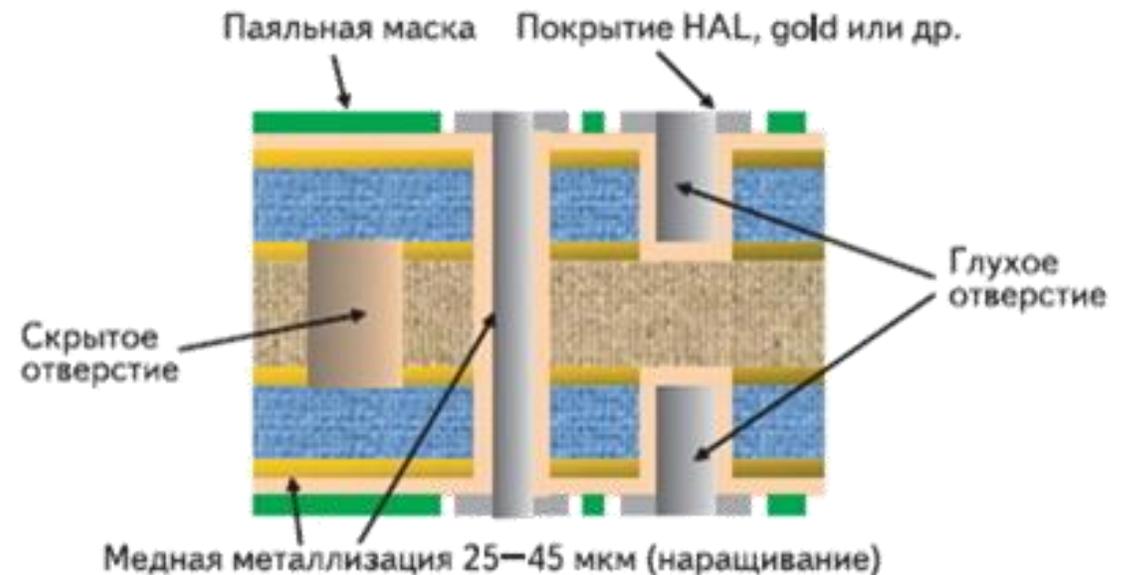
### НЕДОСТАТКИ:

- относительно механически слабая связь металлизации отверстий с торцами контактных площадок

## ГЛУХИЕ И СКРЫТЫЕ ОТВЕРСТИЯ (VIA)

- «Глухое» (blind, «слепое») отверстие - переход, связывающий внешний слой с ближайшими внутренними слоями и не имеющий выхода на противоположный внешний слой.
- «Скрытое» (buried, «погребенное») отверстие – переход, выполненный во внутренних слоях и не имеющий выхода наружу.

103



# HIGH DENSITY INTERCONNECT (HDI) МИКРОПЕРЕХОДНЫЕ ОТВЕРСТИЯ (MICRO VIA)

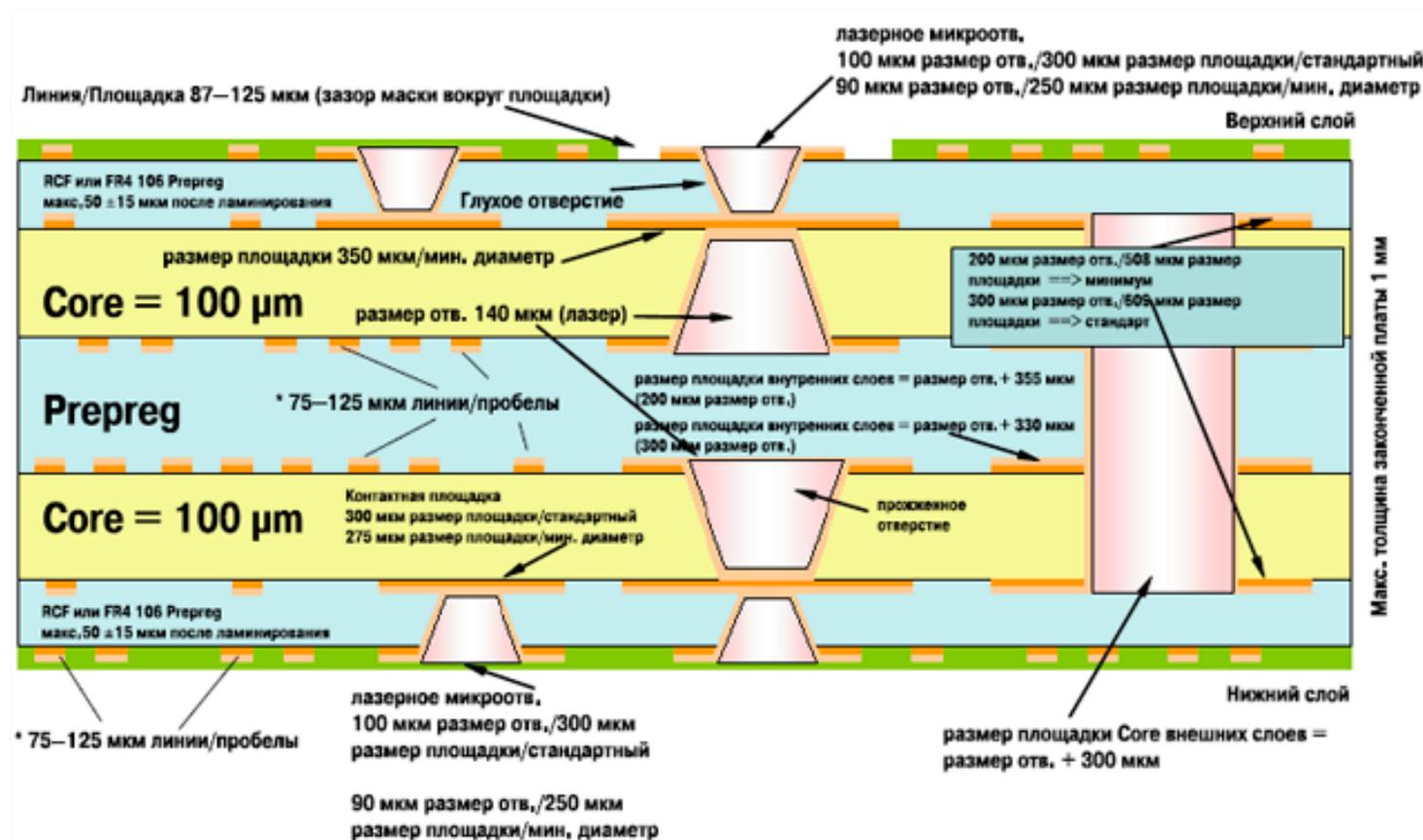
В проектах всё чаще применяются микросхемы в BGA-корпусах с шагом выводов от 0,8 мм и менее, что требует применения технологии повышенной плотности межсоединений (HDI) для вывода сигналов на внутренние слои от площадок BGA с помощью фэнаутов.

Основной способ изготовления микропереходных отверстий (150 мкм)

- сверловка УФ лазером;
- сверловка лазером CO<sub>2</sub>;
- плазменное травление.

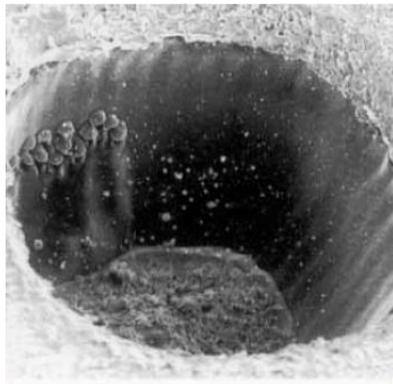
Отверстия:

- сквозное;
- глухое;
- скрытое.

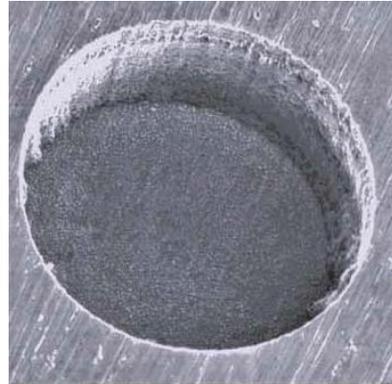


# HDI

- низкая стоимость (уменьшение слоев до 30%, размеров до 40%);
- улучшение характеристик (ПП тоньше, меньше, растет плотность проводников);
- возможность применения передовых корпусов;
- повышенная надежность;
- быстрая разработка.

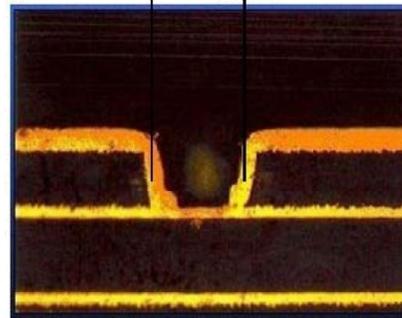


Лазер CO2



УФ ИАГ-лазер

≤ 150 мкм



## ПП С ИНТЕГРИРОВАННЫМИ БЕСКОРПУСНЫМИ МИКРОСХЕМАМИ

- Технологии производства печатных плат способны обеспечить монтаж выводов бескорпусных микросхем, если он выполняется по технологии термокомпрессионной сварки или с использованием ленточных носителей.
- Для монтажа корпусов типа CSP с шагом матричных выводов 0,508 мм и 0,254 мм к МПП добавляются специальные слои с глухими металлизированными отверстиями, на которых реализуется разводка цепей из-под микрокорпусов или кристаллов микросхем.
- Такие тонкие дополнительные слои напрессовываются на МПП, после чего в них выполняются глухие металлизированные отверстия. Метод за рубежом получил название «напрессованная на поверхность схема», или SLC (Surface Laminar Circuit).

## СТАНДАРТЫ

- **ГОСТ23752-79, ГОСТ23751-86**  
Отечественные стандарты по проектированию и контролю качества печатных плат.
- **IPC-A-600G**  
Методика контроля качества печатных плат.  
Типичные дефекты печатных плат и рекомендации, какие дефекты можно считать приемлемыми для каких классов продукции.
- **IPC-A-610E**  
Методика контроля качества паяных соединений.  
Типичные дефекты монтажа, и рекомендации о том, какие дефекты можно считать приемлемыми для каких классов продукции.
- **IPC-TM-650**  
Методы контроля
- **IPC-9701A**  
Методы испытаний для определения характеристик паяных соединений и требования к проведению испытаний
- **IPC-SM-785**  
Руководящие указания по ускоренным методам испытаний на надежность паяных соединений технологии поверхностного монтажа

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- "Гибкие печатные платы", 263 стр., тираж 1000 экз.  
Под редакцией А.М.Медведева и Г.В.Мылова.

### По конструкциям и технологиям производства печатных плат:

- «Печатные платы. Конструкции и материалы» А. Медведев, изд. "Техносфера".
- «Сборка и монтаж электронных устройств» А. Медведев, изд. "Техносфера".
- «Технология производства печатных плат» А. Медведев, изд. "Техносфера".
- «Влагозащита печатных узлов» В. Уразаев, изд. "Техносфера".

### По проектированию печатных плат:

- Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры. Кечиев Л.Н. - ИДТ, 2007
- Конструирование высокоскоростных цифровых устройств: начальный курс черной магии. Говард В. Джонсон, Мартин Грэхем - ИД "Вильямс", 2006.
- Высокоскоростная передача цифровых данных: высший курс черной магии. Говард В. Джонсон - ИД "Вильямс", 2005.
- ЭМС для разработчиков продукции. Т. Уилльямс - Издательский Дом "Технологии", 2003.

### По технологии поверхностного монтажа:

- Пайка при сборке электронных модулей. Майк Джюд, Кейт Бриндли - Издательский Дом "Технологии", 2006.
- Технология пайки оплавлением, поиск и устранение дефектов. Поверхностный монтаж, BGA, CSP и flip chip технологии. Нинг-Ченг Ли - ИДТ, 2006.

Спасибо за внимание!

