



С.Ф. СОБОЛЕВ

# ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОМОНТАЖА

С.Ф. Соболев

# ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОМОНТАЖА



УДК 65.015.13

Соболев С.Ф.

Технология электромонтажа.

Методические указания по разработке курсового проекта и подготовки к занятиям по технологии электромонтажа. –СПб СПбГУ ИТМО-2008-76с.

Методические указания содержат описание видов электромонтажа наиболее часто применяемых в приборостроении и примеры оформления технологических процессов. Предлагаемый материал служит для разработки курсового проекта, выполнения домашних занятий, подготовки к лабораторным работам и выполнения технологической части дипломных проектов.

Методические указания предназначены для студентов по специальности мехатронные преобразователи, мехатроники и для других специальностей, изучающих технологию электромонтажа.

Рекомендовано к печати Советом факультета ТМиТ.

Протокол №\_\_7\_\_ от \_11 марта \_2008 г.



В 2007 году СПбГУ ИТМО стал победителем конкурса инновационных образовательных программ вузов России на 2007–2008 годы. Реализация инновационной образовательной программы «Инновационная система подготовки специалистов нового поколения в области информационных и оптических технологий» позволит выйти на качественно новый уровень подготовки выпускников и удовлетворить возрастающий спрос на специалистов в информационной, оптической и других высокотехнологичных отраслях экономики.

© СПб СПбГУ ИТМО 2008

© Соболев С.Ф. 2008

## Введение

**Разработчик новых технологий –  
это тот, кто двигает вперед прогресс,  
итогом его труда являются  
идеи и принципы.**

Современное приборостроение все более и более содержит электромонтажные работы, как объемного электромонтажа, так и печатного монтажа с использованием поверхностного монтажа. Развитие микроэлектроники преобразило современные приборы. Структура современного прибора стала содержать значительно меньшее количество механических деталей и узлов за счет увеличения электронной техники. В общем виде структуру прибора можно представить так: датчики – электронная система преобразователей – исполнительные механизмы. Создание и развитие информационной среды с использованием программного обеспечения базируется на использовании компьютеров, а это тоже приборы с применением технологии электромонтажа.

За последние годы отмечается стабильный и устойчивый рост производства электронной техники и в России примерно по 20 - 40% в год. Значение развития электроники огромно для всей страны. Отставание от США, Японии и Европы существенно и должно уменьшиться за счет развития электронной промышленности. Развитие электроники важно и для реализации новых инновационных технологических задач в области: органической электроники, нанотехнологии, фотогальваники, зеленой электроники, микронанотехнологии и др.

Учебное пособие предназначено для студентов приборостроительных специальностей объемом 34 часа, в том числе 17 ч. лекции; лабораторные работы 8 ч. практические занятия 9 ч. и выполнение курсового проекта. Лабораторные работы проводятся по следующим темам: пайка с использованием паяльной станции, работа по нанесению трафарета на плату и ознакомление с фотошаблоном, установка ЭРЭ поверхностного монтажа на плату с применением автомата, работа с программным обеспечением на ПК.

Курсовой проект и практические занятия проводятся по индивидуальному заданию, выдаваемому преподавателем. Выбор уровня сложности выполнения задания зависит от способностей и желания каждого студента под руководством преподавателя.

## 1. Основные положения

Под электромонтажом приборов понимают ряд последовательных операций по электрическому соединению контактных выводов электрорадиоэлементов (ЭРЭ).

Производственный процесс — совокупность всех действий людей и орудий производства, необходимых на данном предприятии для изготовления или ремонта выпускаемых изделий.

Изделием называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии.

Производство классифицируется тремя категориями: типы, виды, части. Тип производства — важнейшая характеристика, от которой зависит объем подготовки производства для выпуска изделия. Различают три типа производства: массовый, серийный, единичный. Массовым называют производство, характеризуемое большим объемом выпуска изделий в течение, которого на большинстве рабочих мест выполняется одна рабочая операция, применяется наиболее производительное, дорогое оборудование (автоматы, полуавтоматы), рабочее место оснащается сложными, высокопроизводительными устройствами и приспособлениями, в результате этого достигается самая низкая себестоимость продукции. Серийным называют производство, характеризуемое изготовлением повторяющимися партиями изделий. Единичным называют производство, характеризуемое малым объемом выпуска одинаковых изделий, повторное изготовление которых, как правило, не предусматривается.

В современном приборостроении массовый тип производства преобладает, т.к. используется автоматизированное оборудование с целью повышения плотности монтажа, обеспечения качества и сокращения сроков выпуска изделий.

Вид производства — это классификационная категория производства, выделяемая по признаку применяемого метода изготовления изделия и наличия технологической подготовки производства. Например: литейное, сварочное, механообрабатывающее, электромонтажное, сборочно-регулирующее, и т.п. Части производства — это понятие включает в себя основное и вспомогательное производство. Основное производство — это производство, которое изготавливает изделие, а вспомогательное производство — это производство для обеспечения функционирования основного производства. К последнему относятся: изготовление и ремонт средств технологического оснащения, производство или подача сжатого воздуха, тепловой и электрической энергии и т.п.

Выбор конструкторского классификационного кода (обозначение конструкторского документа) ППМ производится с применением общесоюзного классификатора. Выписка из 75-го класса приведена в таблице 1.1.

Технологический процесс — часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и /или/ определению состояния предмета труда.

Под изменением состояния понимают изменение формы, размеров, физических свойств и т.п.

Изготовление, контроль, испытание ППМ — это тоже технологический процесс.

Таблица 1.1.

Классификационный код	
758710	Платы печатные на жестком основании с контуром в плане, прямолин. с печатными проводниками односторонние
758720	-----//-----//-----//-----//-----//----- двусторонние
758730	-----//-----//-----//-----, с печатной схемой, односторонние
758740	-----//-----//-----//-----, с печатной схемой, двусторонние
758750	-----//-----//-----//-----, с печатными элементами
758760	-----//-----//-----//-----, с печатными проводниками, схемой, элементами

Виды технологических процессов могут быть: единичный (только на данное изделие), типовой (на группу конструктивно похожих изделий), групповой (на группу изделий имеющих конструктивную и технологическую общность), проектный, рабочий, перспективный, временный, маршрутный, операционный, маршрутно–операционный. Последние три определяют степень подробности в описании технологического процесса. В электромонтаже, как правило, применяются типовые технологические процессы и операции.

Сборка и электромонтаж являются наиболее трудоемкой стадией производства. В среднем трудоемкость сборки механических приборов составляет 40...50% от общей трудоемкости изготовления прибора, оптических приборов – 45...55%, электромеханических – 60...70%, приборов электронной техники 70...80%.

Сборка – это образование соединений составных частей изделия (ГОСТ 3.1109– 82).

Сборочная технологическая операция – это операция установки и образование соединений составных частей заготовки или изделия (ГОСТ 23887– 79).

Технологическая операция – это законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте или на рабочем месте бригады.

Монтаж – установка изделия или его составных частей на месте использования.

Электромонтаж – монтаж электроизделий или его составных: частей, имеющих токоведущие элементы.

Виды изделий: детали (Д), сборочные единицы (СЕ), комплексы и комплекты. Деталь – это изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала. Понятие СЕ адекватно конструкторскому понятию узел, блок, но часто СЕ означает не полностью собранную СЕ. Это особенно проявляется на разных стадиях технологического процесса: предварительная, промежуточная, окончательная сборка. Комплекс – это два и более изделия, изготовленные по отдельности, но предназначенные для совместной эксплуатации. Комплекс – это два и более изделия предназначенные для совместного использования и имеющие вспомогательное назначение. Например, запасные части, инструмент, приспособления и т.п.

Виды соединений (ГОСТ 14.320– 81): разъемные и неразъемные, подвижные и неподвижные, соединения по форме сопрягаемых поверхностей (плоские, цилиндрические, конические, сферические, винтовые, профильные), по методу образования соединений (резьбовые, шпоночные, прессовые, паяные, клееные, развальцованные и т.п.).

Виды соединений в электромонтаже весьма разнообразны: пайка, накрутка, приклеивание, термосоединение, сварка, и т.п.

Классификация видов сборки: по объекту сборки – узловая, общая; по стадии сборки – предварительная, промежуточная, окончательная; по организаций производства – типовая поточная с использованием транспортных средств, типовая поточная без использования транспортных средств, групповая поточная с использованием транспортных средств, групповая поточная без использования транспортных средств, групповая не поточная, единичная; по последовательности сборки: последовательная, параллельная, последовательно–параллельная; по подвижности объекта сборки: подвижная с непрерывным перемещением, подвижная с периодическим перемещением, неподвижная (стационарная); по механизации и автоматизации: автоматическая, автоматизированная, механизированная, ручная; по точности сборки: в зависимости от метода сборки (всего шесть методов).

Схема сборки изделия (ССИ) – это графическое изображение в виде условных обозначений последовательности сборки изделия или его составной части.

ТССИ – это ССИ с нанесенной на нее технологической информацией: вид соединения, наименование операций сборки, – значение штучного времени, типа и модели оборудования и т.п. ССИ – разрабатывается конструктором и представляется в комплекте конструкторской документации.

#### *Технологичность сборки.*

Общие требования к технологичности изделия и составных частей сборочной единицы, ГОСТ 14.203–73, относятся и к изделиям приборостроения.

1. СЕ должна расчленяться на рациональное число составных частей.
2. Конструкция СЕ должна обеспечивать возможность компоновки из стандартных и унифицированных частей.
3. Технологическое оснащение должно быть по возможности не сложным.
4. Сборка СЕ должна иметь возможность механизации и автоматизации.
5. В конструкции СЕ должны быть предусмотрены элементы для автоматического захвата.
6. ВСЯ должна быть четко выражена базовая часть.
7. Сборка должна производиться при неизменном базировании составных частей.
8. Необходимо совпадение конструкторских баз с технологическими и измерительными.
9. Сборка ОС должна производиться без разборки СЕ и составных, частей.
10. Необходимо обеспечить удобный доступ к местам для контроля, регулировки и т.п.
11. Компоновка СЕ и виды соединений должны обеспечить легкий съем частей с малым ресурсом.
12. Необходимо рационально располагать монтажные опоры, такелажные узлы и т.п.

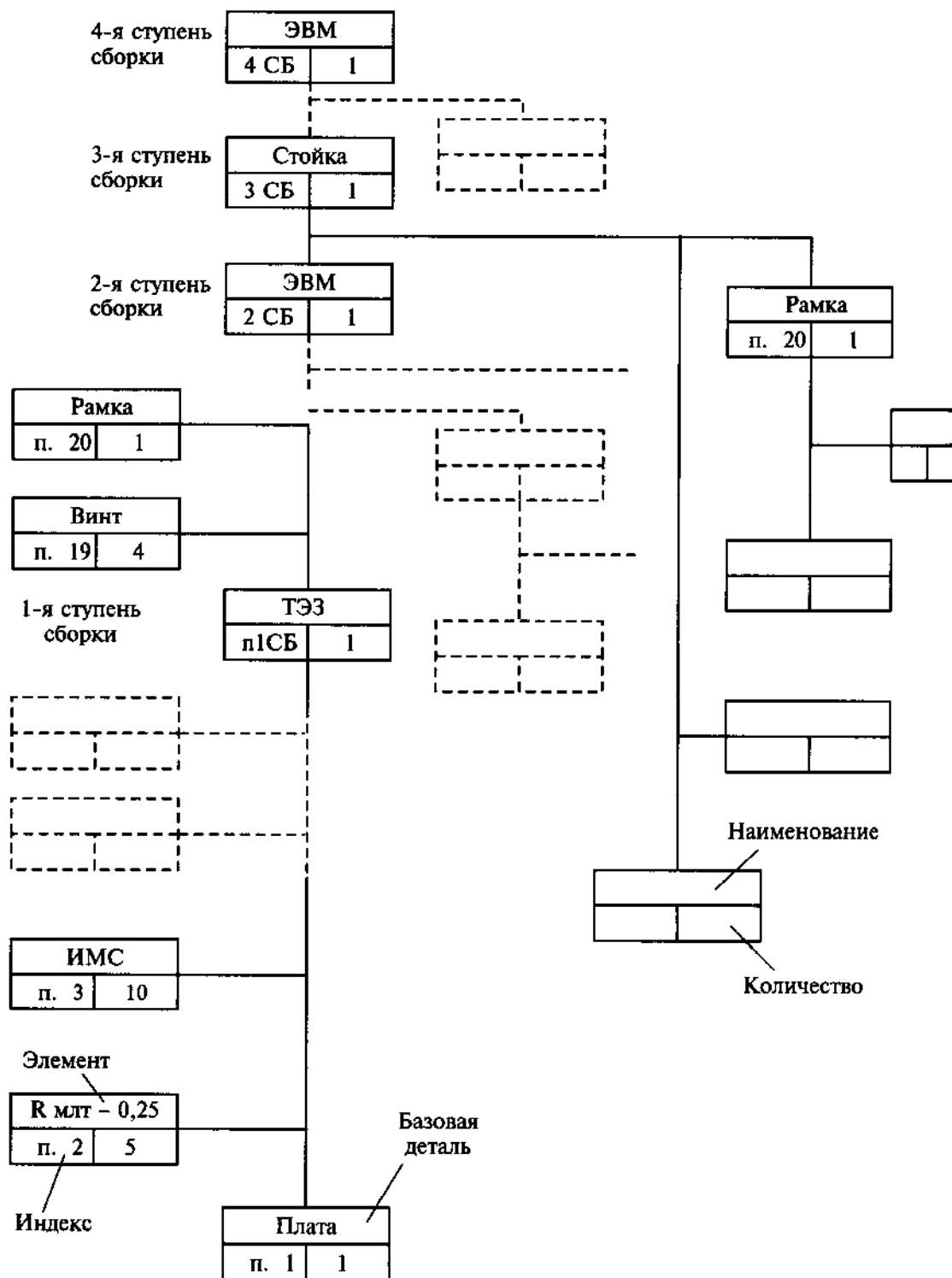


Рис 1.1. Схема сборки применительно к ЭВМ.

На Рис. 1.1 представлена схема сборки применительно к ЭВМ. Расположение Д и СЕ произведено в соответствии со ступенями вхождения изделия. ССИ с базовой деталью приведена для ТЭЗ (технический элемент замены), что характерно для ППМ.

Обработка конструкции на технологичность начинается с оценки схемы ППМ. Электрическая, электронная схема, в общем случае, считается технологичной, если: содержит максимальное количество унифицированных узлов и серийно выпускаемых ЭРЭ, и ее можно разбить на отдельные функциональные узлы, каждый из которых выполняется на плате печатного монтажа, унифицированного размера, основание платы изготавливается по типовому технологическому процессу, освоенному в производстве, точностные требования к конструкции обеспечиваются имеющимся оборудованием, монтажно-сборочные работы могут быть оснащены автоматизированным оборудованием.

Технологичность изделия в сборке оценивается и количественно комплексным показателем, определенным на основе базовых показателей.

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n k_i I_i}{\sum_{i=1}^n I_i}$$

где  $K$  – расчетный базовый показатель,

– коэффициент весомой значимости показателя (табл.1);

$i$  – порядковый номер показателя;

$n$  – число базовых показателей.

Таблица 1.2

Базовые показатели технологичности

№ п/п	Расчетная формула	Коэффициент
Электронные блоки		
1	$K_{\text{исп.кмс}} = H_{\text{имс}} / (H_{\text{имс}} + H_{\text{эрэ}})$	1,0
2	$K_{\text{ам}} = H_{\text{ам}} / H_{\text{м}}$	1,0
3	$K_{\text{мп}} = H_{\text{мп}} \text{ЭРЭ} / H_{\text{эрэ}}$	0,75
4	$K_{\text{м.к.н.}} = H_{\text{м.к.н.}} / H_{\text{к.н.}}$	0,5
5	$K_{\text{пов.эрэ}} = 1 - H_{\text{т.эрэ}} / H_{\text{эрэ}}$	0,31
6	$K_{\text{п.эрэ}} = 1 - H_{\text{т.ор.эрэ}} / H_{\text{т.эрэ}}$	0,187
7	$K_{\Phi} = D_{\text{пр}} / D$	0,11
Электромеханические и механические блоки		
1	$K_{\text{т.о.}} = 1 - D_{\text{т.ч.}} / D$	1,0
2	$K_{\Phi} = D_{\text{пр}} / D$	1,0
3	$K_{\text{с.о.}} = 1 - D_{\text{м.}} / D$	0,75
4	$K_{\text{пов.д}} = 1 - (D_{\text{т.}} + E_{\text{т.}}) / (D + E)$	0,5
5	$K_{\text{сб}} = E / (E + D)$	0,31
6	$K_{\text{с.сб}} = 1 - E_{\text{т.сп}} / E_{\text{т.}}$	0,187
7	$K_{\text{им}} = M / M_{\text{м}}$	0,11

Обозначения в табл. 1.2.:

Нимс – число микросхем и микросборок в изделии;

Нэре – общее число ЭРЭ;

На.м – число монтажных соединений, осуществляемых автоматизированным и механизированным; способами;

Нм – число монтажных соединений;

НмпЭРЭ – число ЭРЭ, подготовка и монтаж которых осуществляется механизированным способом;

Нм.к.н. – число операций контроля и настройки, выполняемых механизированным и автоматизированным способами;

Нк.н – число операций контроля и настройки;

Нт.ЭРЭ – число типоразмеров ЭРЭ;

Нт.ор.ЭРЭ – число типоразмеров оригинальных ЭРЭ;

Дпр – число деталей, получаемых прогрессивными методами формообразования (штамповкой, прессованием, литьем, на автоматах, на станках с ЧПУ и т.п.);

Д – число деталей с/без нормализованного крепежа;

Д.т.ч. – число деталей, имеющих размеры с допусками по 7-му качеству точности и ниже;

Дм – число деталей (заимствованных и стандартизованных), требующих обработки со снятием стружки;

Дт, Ет – число повторяющихся деталей и узлов в изделии, соответственно;

Е – число сборочных единиц, узлов в изделии;

Ет.сл – число типоразмеров узлов, входящих в изделие, требующих регулировки в составе изделия, пригонки или совместной обработки с последующей разборкой и сборкой;

М – масса изделия без учета комплектующих;

Мм – масса материала, израсходованного на изготовление изделия.

Полученные показатели сравниваются с нормативными значениями, приведенными в табл.3.

Нормативные комплексные показатели технологичности блоков, автоматизированных систем управления и электронно-вычислительной техники.

Таблица 1.3.

Тип блоков	Кп		
	Опытный образец	Установочная серия	Серийное производство
Электронные	0,4...0,7	0,45...0,75	0,5...0,8
Электромеханические и механические	0,3...0,5	0,55...0,6	0,45...0,6

Уровень технологичности разрабатываемого изделия при известном нормативном показателе Кн оценивают отношением достигнутого комплексного показателя к нормативному. Это отношение должно удовлетворять условию. В качестве изделий – аналогов принимают наиболее современные конструкции, разработанные с учетом новейших достижений науки и техники, выпускаемые серийно.

Расчет комплексных показателей технологичности каждой группы изделий ведут по конструктивным и технологическим базовым показателям.

К конструктивным относятся:

Кис.п.имс – коэффициент использования микросхем и микросборок;

Кпов.эрэ – коэффициент повторяемости ЭРЭ;

Кп.эрэ – коэффициент применяемости ЭРЭ ;

Кт.о. – коэффициент точности обработки;

Кпов.д – коэффициент повторяемости деталей и узлов;

Ксб – коэффициент сборности изделия;

Кс.сб – коэффициент сложности сборки.

К технологическим показателям относятся:

Ка.м. – коэффициент автоматизации и механизации монтажа;

Км.п. – коэффициент автоматизации и механизации подготовки ЭРЭ ;

Кмк.м – коэффициент автоматизации и механизации операций контроля и настройки электрических параметров;

Кф – коэффициент прогрессивности формообразования детали;

Кс.о. – коэффициент сложности обработки;

Ки.м. – коэффициент использования материалов.

Контрольные вопросы:

1. Какой тип производства преобладает в современном приборостроении.
2. Какой вид технологического процесса превалирует в технологии электромонтажа.
3. Понятия: технологический процесс и технологическая операция электромонтажа.
4. Технологичность конструкции прибора с электронной схемой.
5. Построение схемы сборки.

## 2. Методы обеспечения точности сборки, настройка, контроль, испытания

Установление методов сборки для электронных изделий имеет такое же большое значение, как и для механической сборки. Электрорадиоэлементы - резисторы, конденсаторы и др. - имеют погрешности 5, 10 и даже 50%. Это значительно больше, чем у механических деталей в процентном отношении.

### *Метод полной взаимозаменяемости.*

Метод полной взаимозаменяемости означает, что любая деталь, изготовленная в пределах допуска, удовлетворяет требованиям соединения одной детали с другой, т.е. обеспечивается требуемая посадка. На рис. 2.1а показана условная размерная цепь посадки с зазором. На рис. 2.1б показан разброс параметров детали в пределах допуска. На рис. 2.1в показан наибольший и наименьший зазоры удовлетворяющие требованиям посадки с зазором.

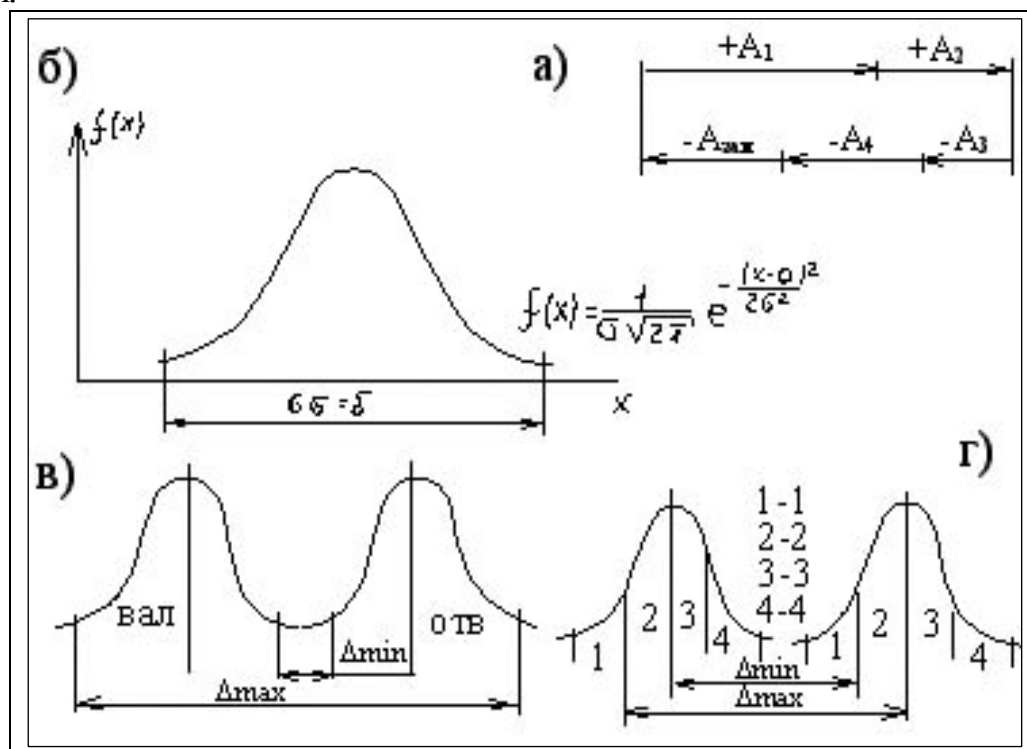


Рис. 2.1 Методы сборки

Процесс сборки сводится к соединению деталей без дополнительной обработки и 100%-го контроля. Такая сборка является признаком наиболее высокой технологичности конструкции. Метод применяется в массовом типе производства, упрощается организация сборочных потоков (конвейеров) и легко решается проблема запасных деталей и узлов. Однако, метод требует более высокой точности изготовления деталей. В электромонтажных работах метод применяется после инженерных расчетов позволяющих принять решение, что все ЭРЭ в соответствии с перечнем элементов и указанными допусками на каждый ЭРЭ обеспечить функционирование схемы.

#### *Селективная сборка, или метод групповой, взаимозаменяемости.*

Сущность метода заключается в том, что детали, изготовленные с расширенными допусками, перед сборкой сортируются на группы по заранее установленным размерам. Сборку производят только с одинаковыми группами, рис. 2.1г.

Метод позволяет получить более высокую точность сборки при наличии широких допусков на изготовление деталей, но при этом необходимы 100%-й контроль и сортировка деталей. Метод применяется в любом типе производства. В электромонтажных работах метод применяется путем указания в технологическом процессе о необходимости проверки конкретных ЭРЭ по погрешностям в лаборатории входного контроля и, после этого, направлять на сборку.

#### *Сборка методом неполной взаимозаменяемости.*

При этом методе требуемая точность достигается только у наибольшей части соединяемых деталей. Метод основан на том, что распределение фактических размеров, как правило, соответствует нормальному распределению (рис.2.1б), при этом 99,73% всех деталей будут соответствовать условиям сборки. В электромонтаже применяется также как и в селективной сборке.

#### *Сборка методом пригонки.*

Требуемая точность замыкающего звена достигается в результате снятия или нанесения слоя материала с заранее определенной конструктором поверхности детали. Метод применяется при большом числе звеньев и требуемой высокой точности соединений в мелкосерийном и единичном типе производства. Однако, у метода пригонки имеются серьезные недостатки: прерывание процесса сборки, трудность нормирования доработки, наличие стружки на рабочем месте сборщика, нарушение антикоррозийного покрытия. Поэтому применение данного метода следует ограничивать. В электромонтажном производстве метод применяется при собственном изготовлении ЭРЭ. Например, намотка резисторов, лазерная подгонка ЭРЭ и т.п.

#### *Сборка с применением компенсационных звеньев.*

Требуемая точность собираемого изделия достигается изменением какого-либо параметра при изменении положения специального устройства без снятия стружки. Метод позволяет применять более дешевые технологические процессы изготовления деталей, но усложняет конструкции. Например, регулировочный винт, винт с эксцентриситетом и т.п. Наиболее широко применяется в электронных схемах путем введения подстроечных элементов. Это различные подстроечные резисторы, конденсаторы и др. ЭРЭ. Подстроечные элементы должны быть указаны на принципиальной электрической схеме и на общем виде, на сборочном чертеже. В технологическом процессе должно быть указано, как осуществлять настройку.

#### *Сборка с применением компенсационных материалов.*

Осуществляется путем введения деформируемых компенсаторов. В качестве материалов применяется резина, пластмасса и т.п. Сборка может осуществляться путем бесступенчатого изменения замыкающего звена, путем подбора компенсатора (прокладки), регулированием силового замыкания.

### *Настройка, контроль, испытания.*

Настройка и регулировка — необходимые операции в общем технологическом цикле производства ЭА. Они должны обеспечить заданные параметры ЭА при наименьших затратах и устранить все неисправности, допущенные при сборке. Под регулировочными и настроечными операциями (РНО) понимают комплекс работ по доведению параметров ЭА до величин, соответствующих требованиям технических условий (ТУ) и нормалей. Целью является получение такого разброса параметров, который гарантирует эффективное функционирование аппаратуры в условиях эксплуатации,

Проведение РНО необходимо, чтобы устранить погрешности изготовления деталей, элементов и сборки узлов, причем как вынужденных, так и predetermined заранее. Причиной появления predetermined погрешностей является искусственное завышение допусков на отдельные параметры в целях уменьшения себестоимости изделий или невозможности реализации требуемой точности.

Работы, выполняемые на РНО, включают настройку различных резонансных систем, сопряжение электрических, кинематических параметров отдельных узлов и всей аппаратуры в целом, установку определенных режимов отдельных блоков, узлов, подгонку некоторых элементов и т. д. Характер и объем РНО определяется видом и объемом производства, оснащенностью ТП.

Как этап производства РНО составляют в общем ТП ряд операций, не изменяющих схему и конструкцию изделия, а лишь компенсирующих неточность изготовления и сборки элементов ЭА собственного производства, а также комплектующих элементов. За счет такой компенсации достигается согласование входных и выходных параметров узлов и всех параметров изделия до оптимального значения, удовлетворяющего требованиям ТУ.

Важное значение имеет качество электроэнергии.

### **Показатели качества электроэнергии.**

1. Коэффициент мощности
2. Коэффициент нелинейных искажений (КНИ)
3. Крест-фактор нагрузки
4. Неполадки в электросети

#### **1. Коэффициент мощности**

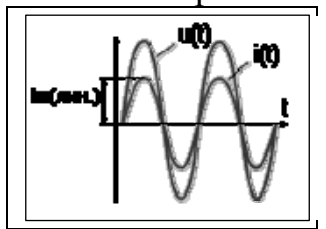
Показатель, характеризующий линейные и нелинейные искажения, вносимые нагрузкой в электросеть. Равен отношению мощностей активной и полной  $P/S$  (Вт/ВА), потребляемых нагрузкой. Плохое значение коэффициента мощности - 0.8 и меньше (0.7 - у компьютерного оборудования, 0.65 - у двухполупериодных выпрямителей). При наличии только гармонических искажений коэффициент мощности равен косинусу угла сдвига фаз между током и напряжением ( $\cos \varphi$ ).

#### **2. Коэффициент нелинейных искажений (КНИ)**

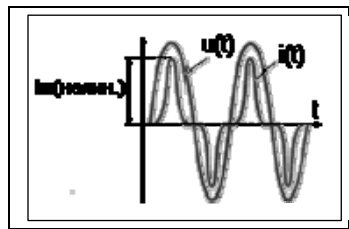
Показатель, характеризующий степень отличия формы напряжения или тока от идеальной синусоиды. Типовые значения КНИ: 0% - синусоида; 3...5% - форма, близкая к синусоиде; до 21% - трапецеидальная или ступенчатая формы; 43% - прямоугольная форма.

### 3. Крест-фактор нагрузки

Показатель, характеризующий способность источника ЭЭ питать нелинейную нагрузку, потребляющую импульсный ток. Равен отношению амплитуды импульсного тока в нелинейной нагрузке  $I_m$  (нелин.) к амплитуде тока гармонической формы  $I_m$  (лин.) при эквивалентной потребляемой мощности.



Линейная нагрузка



Нелинейная нагрузка

### 4. Неполадки в электросети

Любые отклонения параметров питающего напряжения от установленных стандартных значений. На территории России определены такие параметры качества электроэнергии сети: напряжение  $220\text{ В} \pm 10\%$ ; частота  $50\text{ Гц} \pm 1\text{ Гц}$  ( $2\%$ ); коэффициент КНИ  $< 8\%$  (длительно) и  $< 12\%$  (кратковременно). Основные неполадки в электросети: полное исчезновение напряжения; длительные и кратковременные «просадки» и всплески напряжения; высокочастотные импульсные помехи; высокочастотные гармоники (шум); уход частоты.

Существуют два различных процесса (способа) которые могут быть применены для ограничения множества гармоник которые присутствуют в системе электропитания. Первый выбранный Международной Электротехнической Комиссией (IEC – International Electrotechnical Commission) это серии ограничений которые разработаны для применения в терминалах с любой, в особенности, нелинейной нагрузкой. Второй, выбранный IEEE и лёг в основу для IEEE 519-1992 серии ограничений которые разработаны для применения в отдельной более конкретной точке питания параллельных нелинейных нагрузок.

Философия IEC ограничений основывается на утверждении, что ограничиваемое гармоническое воздействие от каждой части оборудования, эффективно ограничит любые комбинированные эффекты. Понятие эффективности положений предложенных в разработке действующих ограничений довольно отличны от тех, что были предложены в IEEE 519-1992 и было доказано, что ограничения IEEE являются, отчасти более хорошими, что обусловлено использованием ограничения обоих гармоник: тока и напряжения.

В процессе изготовления приборов используют следующие виды контроля: входной комплектующих изделий; пооперационный контроль, в процессе регулировки и настройки; а также в процессе приемосдаточных испытаний. Объем и содержание входного контроля определяется конструкцией прибора и ТУ на прибор.

Пооперационный контроль назначается технологом на основании сборочного чертежа и ТУ. Средства контроля выбирают из имеющихся универсальных или проектируют специальные. Приемосдаточные испытания проводятся на каждом изготовленном приборе. При наличии специфицированных узлов и блоков и ТУ на них приемосдаточные испытания проводятся последовательно: узлы, блоки, прибор. Цель испытаний - определение характера и степени изменений объекта испытаний, возникающих как результат воздействий на него при функционировании прибора. Системой испытаний предусмотрена совокупность средств и исполнителей, взаимодействующих с объектами по программе и правилам, установленным соответствующей документацией.

Испытания делятся на: контрольные, исследовательские и граничные; доводочные, предварительные и приемочные; ведомственные; межведомственные и государственные; ускоренные и нормативные; форсированные и сокращенные; полигонные и эксплуатационные испытания на надежность и ресурсные и т.д.

Периодические испытания заключаются в том, что в определенный период (раз в два года, в год, в квартал) из партии изделий выбирают несколько образцов и проводят испытания на воздействие различных факторов в соответствии с требованиями ТУ. Различные физические принципы приборов и различные условия работы требуют проведения испытаний при механических, электрических, акустических, тепловых, радиационных, электромагнитных, климатических, биологических и химических воздействиях.

В процессе контроля и испытаний применяют универсальную, типовую и специальную контрольно-измерительную аппаратуру. В мелкосерийном типе производства, в основном, применяют универсальную измерительную аппаратуру.

Типовую аппаратуру разрабатывают в рамках внутриотраслевой кооперации и используют для контроля близких по составу и назначению объектов (систем контроля; установок и приборов; программно-переналаживаемых приборов).

Специальную аппаратуру применяют, как правило, в крупносерийном производстве, при проверке быстропротекающих процессов. Эту аппаратуру специально разрабатывает и изготавливает предприятие-изготовитель прибора.

Нормирование электромонтажных работ производят в зависимости от типа производства по дифференцированным нормам или по укрупненным нормативам.

Для крупносерийного, массового производства проводят расчет по дифференцированным нормам. В мелкосерийном производстве часто применяют карты типовых технологических процессов с расчетом по дифференцированным нормам, которые определяются по следующей зависимости:

$$t_{ум.н.} = t_{он} \left( 1 + \frac{a_{abc} + a_{омд}}{100} \right) + \frac{T_{н.з.}}{n_n}$$

где -  $t_{он}$  оперативное время на выполнение приемов и комплексов приемов, мин;

$a_{abc}, a_{омд}$  - время на организационно-техническое обслуживание и личные надобности, %;

$T_{н.з.}$  - подготовительно-заключительное время, мин;

$n_n$  - объем партии, шт.

В табл.2.1 приведены выписки из нормативов.

Наименование приема, работ	Значение ton, мин
1	2
Укладка провода на столе	0,07...0,9
Вязка жгута шнурком, ниткой	1,00...3,2
Резка проводов, кабелей:	
на пневматических станках	0,06...0,5
на рычажных ножницах	0,08...0,6
вручную бокорезами	0,07...0,7
Снятие изоляции с конца провода:	
на пневматической манишке	0,03...0,1
на механической машинке	0,04...0,07
ручкой электрообжигалкой	0,05...0,09
специальными щипцами	0,05...0,1
Пайка электропаяльником	0,13...0,25
сборка одного резьбового соединения:	
диаметр резьбы М3	0,3... 0,45
диаметр резьбы М6	0,35... 0,5
диаметр резьбы М10	0,35...0,7

Нормативы времени на организационно-техническое обслуживание при сборке включают в себя затраты времени на уборку рабочего места в течение смены, смену инструмента и приспособлений и составляют ( $a_{abc}$ ): для серийного производства 2%, мелкосерийного производства - 3% от  $t_{on}$ . Время на отдых и личные надобности ( $a_{omd}$ ) в мелкосерийном и серийном производстве зависит от массы перемещаемых грузов в процессе сборки.

Значение  $a_{omd}$  принимают равным 7% при массе перемещаемых грузов до 4 кг и 8...9% при больших значениях. При этом следует напомнить, что наибольшая масса, поднимаемая рабочим, 20 кг.

Нормативы  $T_{н.з.}$  включают в себя затраты времени, относящиеся ко всей партии собираемых изделий на получение технической документации, инструмента к приспособлений, ознакомление с технической документацией, получение и сдачу работы. Они составляют: для условий среднесерийного производства 11,5 мин, при мелкосерийном производстве 15,5 мин.

Укрупненные нормативы позволяют определить трудозатраты ориентировочно, что применяется для мелкосерийного производства (табл.9, 10).

Контрольные вопросы.

1. Методы обеспечения точности сборки.
2. Преимущественный метод обеспечения точности сборки электронных схем.
3. Настройка и контроль ППИМ.
4. Испытания приборов.
5. Нормирование электромонтажных работ.

### 3. Объемный электромонтаж

К объемному электромонтажу, условно, можно отнести следующие его виды.

#### *1. Объемный монтаж «объемными» электрическими проводами.*

Такой монтаж применяется при соединении исполнительных механизмов с достаточно большими токами, протекающими в цепях. Провода рассчитываются по допустимому значению токов. Ориентировочно можно принять удельное значение токов  $10 \text{ А/мм}^2$ . Более точное значение допустимых токов рассчитывается исходя из материала провода, вида изоляции, допустимого нагрева, по экономической плотности тока (отношение расчетного тока к допустимому удельному значению плотности тока для заданных условий работы) и др.

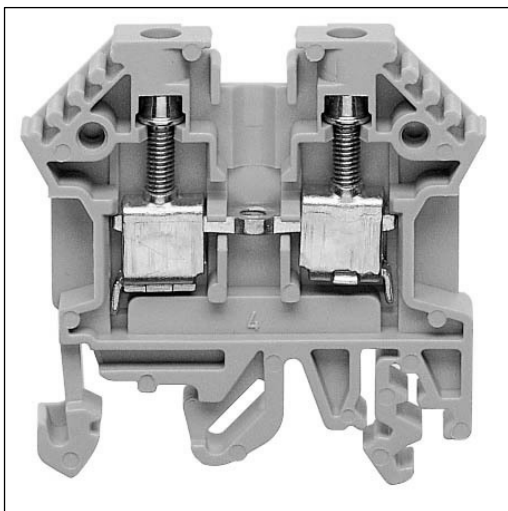
Монтаж, как правило, выполняется вручную. В последнее время все шире применяются элементы для механического соединения проводов. Такая технология повышает надежность соединения. Вероятность безотказной работы для паяного соединения 0,985, а при механическом соединении 0,998.

Для облегчения процесса проектирования прокладываемых проводов(жгута), правильного выбора и заказа компонентов компанией Tyco Electronics была разработана программа Ham Ware, по данным компании Bee-Pitron ([WWW.Bee-Pitron.com](http://WWW.Bee-Pitron.com)). Процесс проектирования в этой программе начинается с ввода топологии жгута, длин и электрической схемы. В процессе работы программа Ham Ware позволяет выбрать правильные компоненты, определить маршруты проводящих линий, автоматически уточняет длины проводов, рассчитывает последовательность скрутки проводов и диаметры отдельных участков жгута (отдельно пучка проводов, проводов с экраном, проводов с экраном и защитной трубкой), автоматически генерирует полную спецификацию заказных компонентов, оценивает трудоёмкость монтажа и контроля. Использование программы Ham Ware значительно снижает трудоемкость проектирования сложных электрических жгутов. Автоматический расчёт диаметров наборных жгутов с учётом толщины экрана и оболочки позволяет автоматически выбирать из базы данных термоусаживаемые компоненты подходящего размера и сразу вносить их в спецификацию.

Для корректной работы программы Ham Ware конструктор должен задать положение жгута в пространстве, а топология жгута (разветвления, радиусы изгиба отдельных ветвей, точные длины плеч) может быть получена лишь в результате процесса макетирования. Создать электронные модели разъёмов будущего жгута, с использованием модуля Electrical Librarian и Part Design системы CATIA. Подробное и точное изображение не требуется, достаточно соблюсти реальные размеры разъёмов.

Термоусаживаемые компоненты – это элементы защиты мест соединений от воздействия механо-климатических факторов. Например, мест присоединения проводов к разъёму, мест соединения проводов, мест присоединения к исполнительным элементам. Компонент выполняется в виде трубчатого элемента, на него воздействуют радиационным облучением, при этом разрываюются внутренние связи и он становится более гибким. После установки на жгут компонент подвергается тепловому воздействию феном, и он приобретает требуемую форму.

## Винтовая клемма



В винтовой клемме установлен лифтовой механизм, надежный вибростойкий контакт. Исполнение клеммы из коррозионностойких и ударопрочных материалов.



Виды элементов для объемного монтажа (клеммы, вид наконечника, провод в сборе с клеммой).

Клеммные зажимы винтовые КЗВ.

Зажимы КЗВ предназначены для присоединения проводников из меди и алюминия.

Материал соединения: латунь;  
материал корпуса: полиэтилен

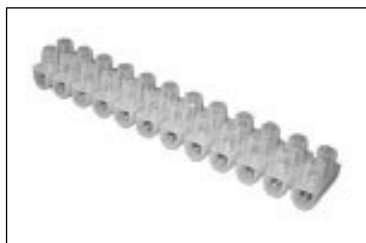


Рис. 3.1. Виды элементов объемного монтажа

### Инструменты для обрезки проводов



Алюминиевые и медные кабели должны быть обрезаны без сколов и деформаций. Данные инструменты оснащены встроенным механическим усилителем.

### Браслеты заземления



### Инструмент для обрезки проводов и снятия изоляции



Инструмент для обрезки проводов и снятия изоляции точно адаптируется под площадь сечения кабеля, изолирующего материала и диаметр кабеля. Безопасность и точность гарантируется в диапазоне от 0.08 до 16 мм<sup>2</sup>. Инструменты самонастраивающиеся и оснащены встроенным боковым резом.

### Инструменты для обжима



Эти инструменты предназначены для обжима изолированных и неизолированных кабельных наконечников, неизолированных кабельных разъемов, кольцевых и ножевых наконечников. Инструменты для обжима оснащены стопором для точного обжима.

Рис. 3.2. Инструмент для работы с “объемными” проводами

Провода, жгуты, компоненты могут быть выполнены с выдерживанием температуры до 1200°C.

## *2. Жесткий монтаж.*

Сущность монтажа заключается в том, что выводные концы ЭРЭ соединяются обычными, объемными, проводниками по наикратчайшему расстоянию. При монтаже провод натягивается, припаивается и, при необходимости, закрепляется. Такой монтаж выполняется с минимальным количеством проводов малой длины. Жесткий монтаж применяется в тех случаях, когда к блоку предъявляются жесткие требования в отношении наводок и взаимовлияний.

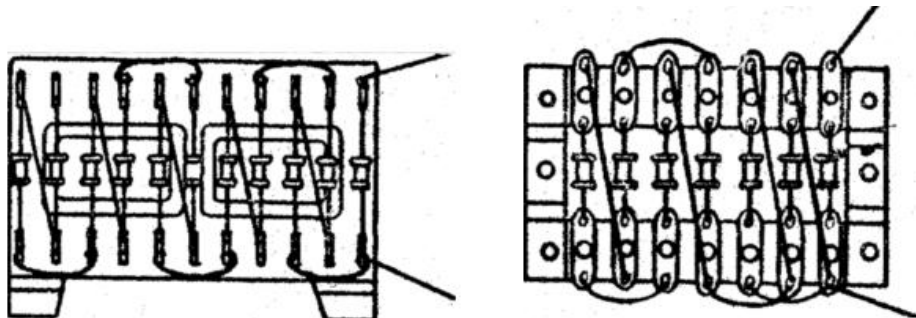


Рис. 3.3. Жесткий монтаж. 3. *Монтаж на расшивочных панелях.*

Сущность монтажа заключается в том, что при монтаже используются расшивочные элементы, которые «расшивают», разъединяют схему на отдельные части. Расшивочные элементы - это разъемы, монтажные колодки и т.п. Монтаж на расшивочных панелях применяется в тех случаях, когда к блоку не предъявляются жесткие требования по паразитным наводкам и взаимовлиянию. Преимуществом этого вида монтажа являются простота монтажных работ, простота замены вышедших из строя электроэлементов, возможность производить монтаж расшивочных панелей вне блока.

## *4. Комбинированный монтаж.*

Комбинированный монтаж объединяет жесткий монтаж и монтаж на расшивочных панелях. Применяется в том случае, когда схема изделия имеет в своем составе низкочастотные цепи, цепи постоянного тока и высокочастотные. Высокочастотные цепи выполняются жестким монтажом, а остальные на расшивочных панелях.

## *5. Монтаж с применением жгутов.*

Монтаж с применением жгутов или жгутовой монтаж широко применяется при наличии двух и более монтажных проводов, идущих параллельно в серийном типе производства. Все провода объединяются в жгут. Этот вид монтажа позволяет значительно упростить монтаж блока, так как жгут может быть изготовлен вне блока, при этом появляется возможность механизации работ по изготовлению жгута. Технология изготовления жгута: изготавливают шаблон в масштабе 1:1, представляющий собой лист фанеры с набитыми шпильками в местах перегиба проводов; прокладывают провода в соответствии с таблицей соединений; вяжут жгут хлопчатобумажными нитками. Выполняют, при необходимости, электроизоляцию лакотканью или кожей; и снимают жгут. Монтажник накладывает жгут на собранную схему прибора и припаивает выводные элементы.

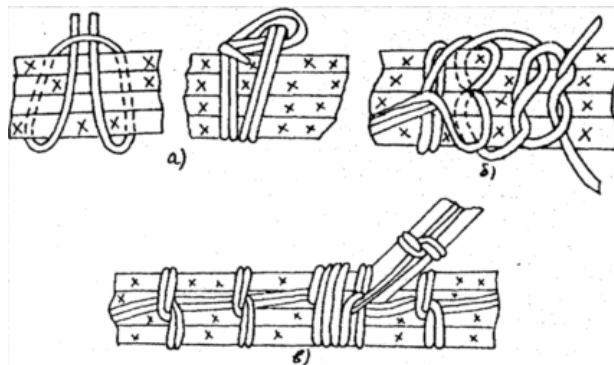


Рис. 3.4. Эскизы типовых операций при вязке жгута: а) начало вязки; б) конец вязки; в) разветвление жгута

#### 6. Монтаж плоскими ленточными проводами.

Существуют каталоги серийно выпускаемых подобных проводов и необходимо только выбрать необходимый тип. Ленточные провода могут содержать различное количество отдельных проводников и с различным сечением. Такой монтаж сокращает трудоемкость монтажных работ.

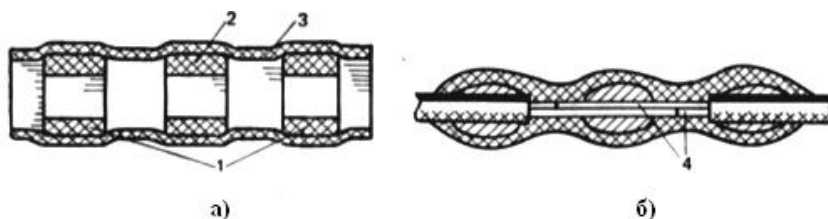


Рис. 3.5. Схема соединения ленточных проводов: а) термоусадочной паяльной муфтой; б) загерметизированное соединение.

- 1—два герметизирующих кольца, изготовленных из термопластичного материала;
- 2—кольцо припоя с наполнением из флюса;
- 3—изоляционная оболочка;
- 4—токопроводящие жилы.

#### 7. Монтаж гибко-жесткими коммутационными платами.

Плата представляет собой более широкий ленточный проводник, но имеющий внутри межпроводниковые соединения. Такой монтаж выполняется в тех случаях, когда необходимо повысить плотность монтажа и это возможно за счет дополнительных соединений между блоками при их электрическом соединении.

#### 8. Монтаж накруткой.

Сущность монтажа состоит в том, что электрический провод с эмалевой изоляцией с усилием накручивается на латунный четырехгранный стержень. При этом выполняется 5-6 витков. Изоляция прорывается и имеем электрические контакты. Это единственный, экологически безопасный метод электромонтажа. Недостатком монтажа накруткой является большой объем электрического соединения.

Монтаж накруткой пригоден только для одножильного монтажного провода, в том числе для проводников монтажных кабелей категорий 3 и 5. Идея весьма проста - в качестве терминала используется металлический штырь прямоугольного или квадратного сечения с

защитным покрытием (обычно золото), на который навивается предварительно зачищенная жила. Электрический контакт между терминалом и жилой обеспечивается за счет плотной наливки нескольких витков, при этом грани штыря врезаются в тело жилы. Число витков зависит от диаметра навиваемой жилы.



Рис. 3.6. Монтаж накруткой.

#### 9. Стежковый монтаж.

Данный вид монтажа применяется для внесения исправлений в уже изготовленные платы печатного монтажа в серийном типе производства. Монтаж выполняется на станках с числовым программным управлением с применением проводов с эмалевой изоляцией. Провода проходят через отверстия так, как это выполняется на обычной швейной машинке. После этого монтажник обрезает и припаивает проводники.

#### 10. Клеевой монтаж.

Все шире в производстве применяется клеевой монтаж на основе применения эпоксидного клея с добавлением мельчайшего порошка из серебра. На плату с печатными проводниками наносят капельки клея в местах установки ЭРЭ, прижимают и выдерживают требуемое время. Недостатком данного монтажа является повышенное переходное сопротивление. Преимуществом клеевого монтажа является простота операции, возможность большей автоматизации, улучшение экологической среды на производстве.

#### 11. Волоконнооптический.

В последнее время внедряются разработки по использованию волоконнооптических систем для электрического соединения электронных блоков.

Виды объемного монтажа могут быть и другие.

#### Контрольные вопросы.

1. Виды «объемных» ЭРЭ и расположение выводов.
2. Монтаж жесткий и на расшивочных панелях.
3. Монтаж жгутовой и плоскими ленточными проводами.
4. Монтаж накруткой, клеевой и стежковый.
5. Соединение «объемных» проводов.

#### 4. Типовые технологические процессы объемного электромонтажа

Исходными данными для разработки технологического процесса являются: принципиальная электрическая схема с перечнем элементов, монтажная схема и тип производства.

Перечень типовых групп операций:

##### *1. Комплектовочная.*

Комплектовщица на основании перечня элементов подбирает детали - комплект. С целью сокращения ручного труда на данной операции применяют поставку ЭРЭ в ориентированном виде ( в кассетах, в рулонах, в дисках и т.п.).

##### *2. Подготовительная.*

На данной операции обрезают, формуют и выполняют лужение выводных элементов ЭРЭ. Все действия выполняют в соответствии с ГОСТами в зависимости от вида ЭРЭ, веса, возможных механических воздействий при эксплуатации и требуемого охлаждения. Лужение производится с целью лучшей пайки после установки ЭРЭ. Время хранения ЭРЭ после лужения и до установки на плату от 1 часа до месяца. Виды формовки приведены далее.

##### *3. Установка механических элементов на плату.*

Порядок установки деталей и узлов на шасси в основном определяется удобством выполнения работ. В ряде случаев крепление деталей и узлов можно чередовать с укладкой отдельных монтажных проводов. Сравнительно тяжелые детали и узлы крепят на шасси при помощи разъемных и неразъемных соединений. Разъемные соединения, выполненные с помощью винтов, болтов, гаек и шпилек, применяют для тех деталей и узлов, которые в условиях эксплуатации могут быть заменены. Неразъемные соединения (клепаные, развальцованные и др.) используют для остальных деталей. Навесные ЭРЭ и детали располагают друг от друга, а также от шасси и токопроводящих поверхностей не менее чем на 2 мм; надписи номиналов и маркировка на этих деталях должны быть хорошо видны и удобны для чтения. Монтаж полупроводниковых приборов проводят с соблюдением следующих правил: тщательно следят за правильностью подключения, полярностью выводов (первым подключается базовый вывод триода); выводы закрепляют осторожно, чтобы не согнуть их в местах выхода из корпуса; расстояние от места крепления выводов до корпуса должно соответствовать техническим условиям.

##### *4. Установка ЭРЭ и ИМС на плату.*

Установка производится с помощью автоматизированного оборудования.

##### *5. Пайка.*

Пайка представляет собой соединение с межатомными связями путем нагрева соединяемых материалов ниже температуры плавления, их смачивания припоем, затекания припоя в зазор и последующего его кристаллизации. Смачивание основного металла расплавленным припоем и растекание последнего, обеспечивающее хорошую адгезию припоя к основному металлу и их взаимную диффузию, возможно только при отсутствии окисных и жировых пленок, а также других загрязнений на поверхности основного металла. Для удаления окислов и загрязнений детали перед пайкой зачищают. В результате зачистки получают шероховатую поверхность - сеть капиллярных канавок, которые увеличивают смачивание основного металла припоем.

Для защиты поверхностей спаиваемых деталей от интенсивного окисления в результате нагрева место пайки покрывают флюсом, который образует жидкую и газообразную преграду между поверхностями спаиваемых деталей и окружающим воздухом. Действие большинства флюсов не ограничивается защитой места пайки от окисления: они очищают поверхности спаиваемых деталей от загрязнения, растворяют окисные пленки и способствуют лучшему затеканию расплавленного припоя в зазоры между спаиваемыми деталями. В качестве припоев применяют различные цветные металлы и сплавы.

В соответствии с решением Совета Европы с 1 июля 2006 г. рекомендовано производителям электронной техники отказаться от применения таких тяжелых металлов как свинец, кадмий, ртуть и шестивалентный хром. В связи с этим для пайки рекомендуют бессвинцовистые припои. Наиболее широко применяемые припои:

- CASTIN – Sn/Ag2,5/Cu0,8/Sb0,5 – температура плавления 217°C,
- SAC 305 – Sn/Ag3/Cu0,5- – температура плавления 217-218°C и др.

Припои содержат и другие компоненты.

Основным флюсом, применяемым при монтаже радиоаппаратуры, является канифольно-спиртовой флюс (30%-ный раствор канифоли в спирте). Кроме раствора канифоли, применяют и кусковую канифоль. Она растворяет окислы меди при температуре выше 150 °C и не вызывает разрушения проводов и деталей.

При монтаже аппаратуры нельзя применять в качестве флюса хлористый цинк, так как он будучи растворенным в воде, содержит свободные пары соляной кислоты, которая разрушает жилы проводов и изоляцию.

Компания AIM производит жидкие флюсы, совместимые с бессвинцовыми материалами, например: NC 266-3, NC270 WR, WS735.

Температуру нагревания паяльника выбирают такой, при которой припой быстро плавится, но не стекает с рабочей части (жала), а канифоль не сгорает мгновенно, а остается на жале в виде кипящих капелек. Температуру нагрева паяльника в зависимости от марки припоя. Температура нагрева выбирается также в зависимости от допустимой температуры нагрева ЭРЭ.

В серийном и массовом типе производства пайка осуществляется следующими способами: пайка волной припоя, пайка погружением, пайка окунанием, пайка каскадная, пайка фильерная и др.

#### *6. Промывка.*

Промывка осуществляется раствором спирта в воде с целью устранения остатков флюса с платы.

#### *7. Настройка и устранение дефектов.*

В процессе проверки, если это необходимо, выпаивают ЭРЭ специальным устройством с вытяжкой расплавленного припоя.

#### *8. Лакировочная.*

Все платы и места пайки для защиты от коррозии покрывают лаком путем окунания, нанесения лака кистью, пульверизатором. После покрытия лаком обязательно выполняется сушка с повышенной температурой.

### 9. Контрольная.

Обработка конструкции на технологичность начинается с оценки схемы. Электрическая, электронная схема, в общем случае, считается технологичной, если содержит максимальное количество унифицированных узлов и серийно выпускаемых ЭРЭ, и ее можно разбить на отдельные функциональные узлы, каждый из которых выполняется на плате печатного монтажа, унифицированного размера, основание платы изготавливается по типовому технологическому процессу, освоенному в производстве, точностные требования к конструкции обеспечиваются имеющимся оборудованием, монтажно-сборочные работы могут быть оснащены автоматизированным оборудованием. Оценку монтажной схемы следует начинать с обоснования выбора электромонтажа: объемный или печатный. Объемный монтаж имеет следующие разновидности: жесткий, монтаж на расшивочных панелях, комбинированный, монтаж накруткой, монтаж с применением жгутов, монтаж плоскими ленточными проводами, стежковый монтаж и др. Печатный монтаж обеспечивает механизацию и автоматизацию технологического процесса, повышенную прочность отдельных блоков. Наиболее крупный недостаток печатного монтажа - трудность при необходимости внесения изменения в изготовленную плату. В настоящее время всё шире применяются поверхностный монтаж. Следует обосновывать выбор методов монтажа и обеспечения требуемой точности выходных параметров с учетом погрешности (5, 10, 30%) применяемых ЭРЭ.

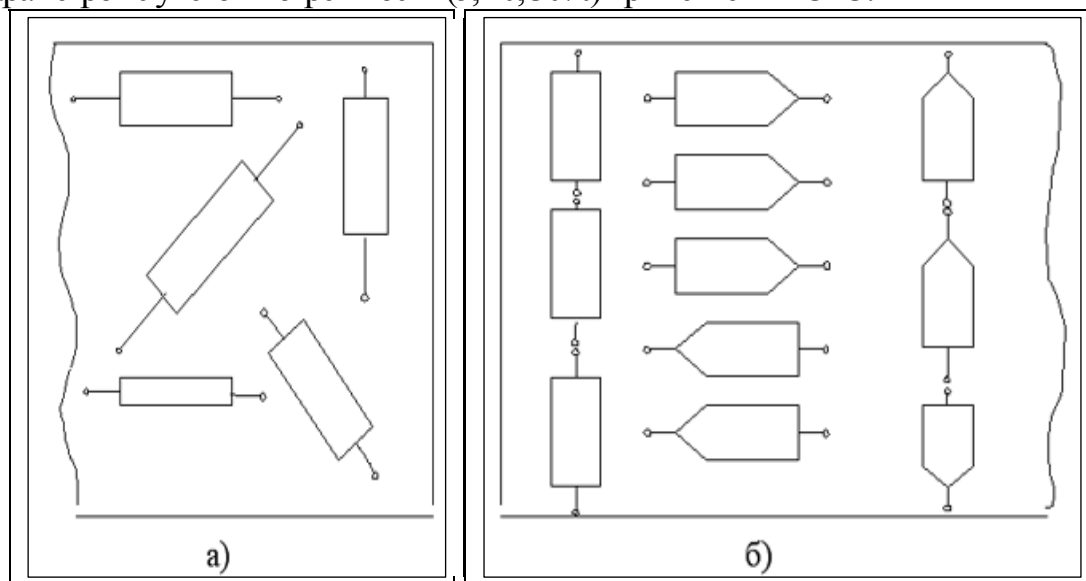


Рис.4.1. Расположение ЭРЭ на печатной плате: а) нетехнологичное; б) технологичное.

Конструктивно-технологические характеристики плат печатного монтажа (ППМ) определяют технологический процесс их изготовления. В зависимости от сложности реализуемой электрической схемы и применяемой элементной базы выбирают конструктивное исполнение платы, число слоев и плотность проводящего рисунка схемы. ППМ в зависимости от плотности рисунка делят на три класса:

- 1) допускающий минимальную ширину проводников и расстояние между ними 0,5 мм;
- 2) имеющий расстояние 0,25 мм на наружных слоях и 0,2 мм на внутренних;
- 3) допускающий минимальное расстояние 0,15 мм.

Установление методов сборки для электронных изделий имеет такое же большое значение, как и для механической сборки. При электрическом соединении наиболее широко применяются подстроечные элементы - компенсаторы. Подстроечные элементы должны быть указаны на принципиальной электрической схеме и на общем виде, на сборочном чертеже. В технологическом процессе должно быть указано, как осуществлять настройку.

Разработка технологического процесса начинается с разработки первой операции - комплектовочной, выполняемой вручную или с применением автоматов. Последнее осуществляется только при поставке ЭРЭ и ИМС, упакованных с применением липкой ленты или в кассетах.

Следующей группой операций являются подготовительные. В их процессе выполняется ряд работ: рихтовка, подрезка, зачистка, лужение и формовка выводов. Требования к формовке выводов изложены в монтажной нормали и в требованиях к сборочному чертежу. Отдельные элементы представлены на рис.4.2.

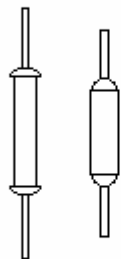
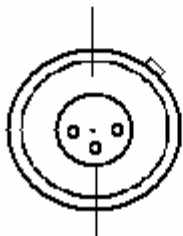
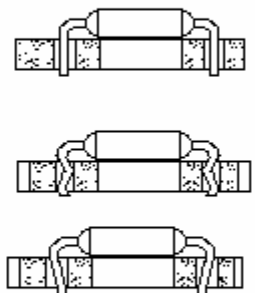
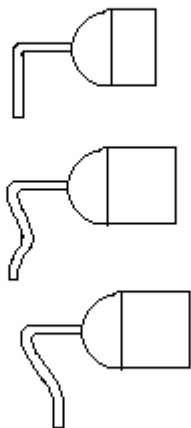
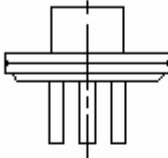
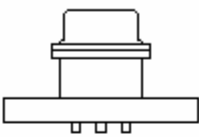
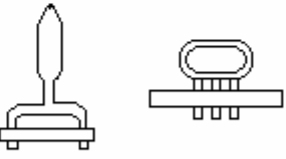
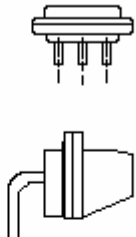
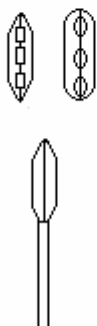
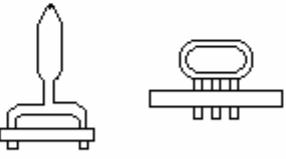
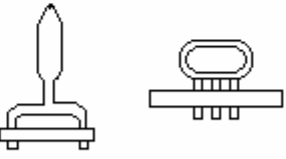
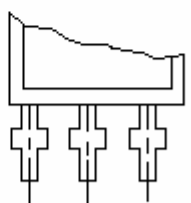
Элементы обрабатываются вручную или с применением автоматов.

Сборочная группа операций включает в себя установку и закрепление механических элементов: разъемов, колонок, фиксаторов платы, ЭРЭ, требующих механического закрепления. В ряде случаев сборочной операции может и не быть.

Порядок установки деталей и узлов на шасси платы, в основном определяется удобством выполнения работ. Сравнительно тяжелые детали и узлы крепятся разъемными и неразъемными соединениями. Разъемные соединения, выполненные с помощью винтов, болтов, гаек и шпилек, применяются для тех деталей и узлов, которые в условиях эксплуатации могут быть заменены. Механические и монтажные электрические соединения выполняются склепыванием, развальцовкой, пластическим деформированием элементов соединяемых деталей, запрессовкой, пайкой, сваркой, склеиванием, скреплением с помощью замазок и цемента.

Пайка осуществляется с применением припоя и флюса. Основным флюсом, применяемым при электромонтаже приборов, является 30%-й раствор канифоли в спирте. Флюс растворяет окислы меди при температуре выше 150°C и не вызывает разрушения проводов и деталей. При монтаже электронной аппаратуры в качестве флюса нельзя применять хлористый цинк, так как он, будучи растворенным в воде, содержит пары соляной кислоты, которая разрушает жилы проводов и изоляцию. При пайке паяльником температуру нагревания последнего выбирают такой, при которой припой быстро плавится, но не стекает с рабочей части (жала), канифоль не сгорает мгновенно, а остается на жале в виде кипящих капелек. Длительность пайки 4..6 с. зависит от допустимого перегрева элементов.

Рис. 4.2. Установка ЭРЭ на ПП.

Тип ЭРЭ	Эскиз корпуса	Вариант установки	форма выводов
			
			
			

Монтажная группа операций включает в себя установку ЭРЭ и ИМС на плату и осуществление пайки вручную или с применением автомата, рис.4.3.

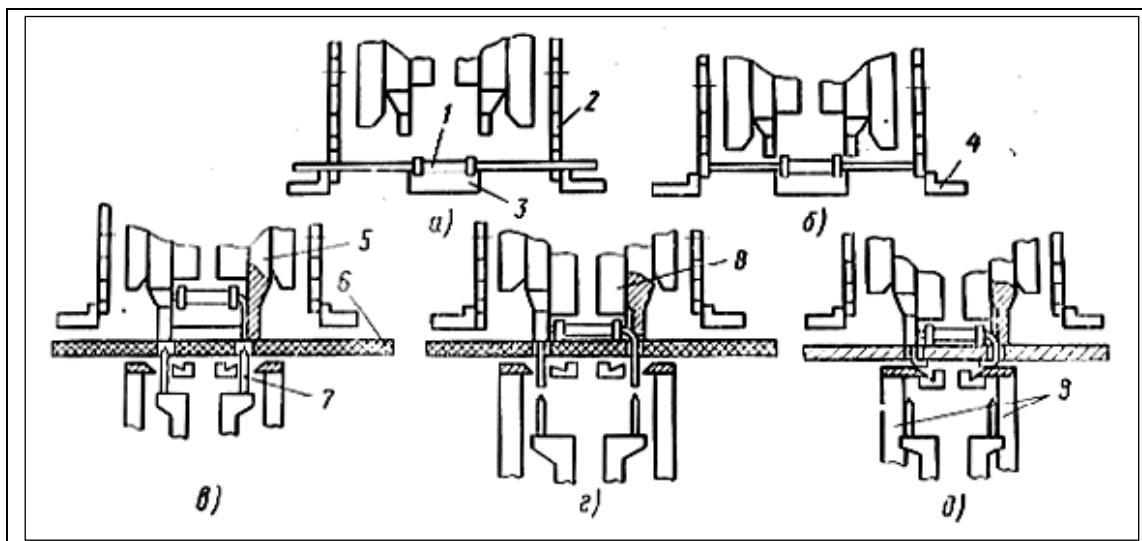


Рис.4.3. Установка настольного типа для укладки радио-элементов с осевыми выводами на печатные платы: а)-д)пооперационная последовательность действий.

где: 1 - радиоэлемент; 2 - барабан; 3 - матрица; 4 - нож; 5 - пуансоны; 6 - плата; 7 - ловитель; 8 - толкатели; 9 - подгибочные кромки.

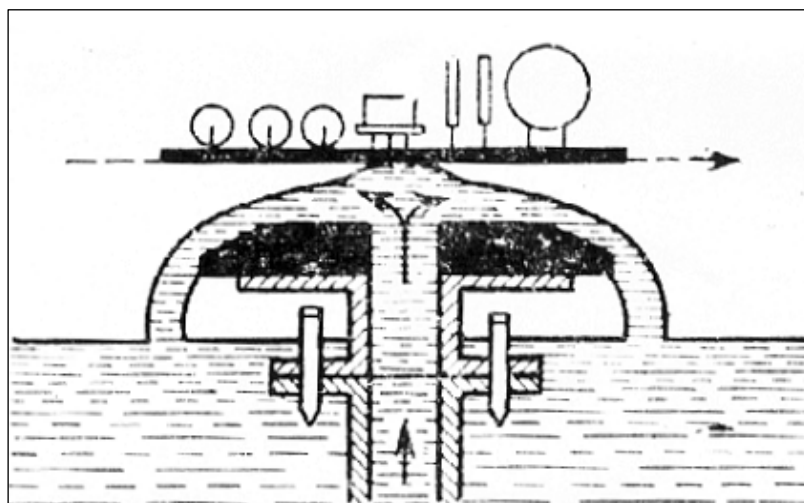


Рис. 4.4. Схема пайки волной.

Пайка паяльником с применением прибора для контроля к регулирования температуры паяльника применяется в единичном производстве. В серийном производстве применяется пайка волной, см. рис.4.4, погружением, окунанием, каскадная, фильерная и т.д. В ряде случаев применяется электрическое соединение проводящими клеящими составами, например, контактол К-1 на основе эпоксидных смол с наполнителем - шарообразными частицами серебра до 65...85% от общей массы. Несколько автоматизированных установок приведены в табл.4.1.

Промывочная операция необходима для снятия остатков флюса с платы и общей очистки платы. Промывка осуществляется спиртом, раствором спирта в бензине и т.п. в течение 0,6...1,2 мин тампоном или в ванне.

Маркировочная операция предназначена для нанесения обозначения на плату, в соответствии с требованиями конструкторской документации.

Контрольная операция осуществляется для визуального контроля качества паяк, правильности монтажной схемы с установленными на плате ЭРЭ и ИМС. Контроль качества паяк также осуществляется выборочной проверкой - осторожным покачиванием выводных концов ЭРЭ. В ряде случаев применяют проверку качества монтажа путем проведения вибрации в течение - 20 мин. И последующей проверкой монтажа.

Настроечная операция выполняется в соответствии с ТУ на ППМ. На этой операции проверяется функционирование платы. Одновременно с этим может быть осуществлена замена какого-либо элемента, регулировка подстроечных элементов и фиксация их в установленном положении. Настройка может осуществляться как с применением универсальных приборов, так и на специальном стенде. В настроечной операции следует указать, какие элементы следует регулировать или заменять, как осуществлять проверку на функционирование.

Лакировочная операция предназначена для защиты электромонтажных соединений от воздействий внешних климатических условий. Плата покрывается лаком с последующей сушкой. Количество слоев лака оговаривается в типовом технологическом процессе.

Испытательная операция необходима для контроля качества платы в части проверки сопротивления изоляции. В процессе выполнения операции проверяется сопротивление изоляции и устойчивость при подаче повышенного напряжения с целью проверки изоляции в плате.

Последняя операция - контрольная. Представитель ОТК проверяет внешним осмотром плату и фиксирует результаты в технологическом паспорте или в сертификате.

Технологический процесс электромонтажа, как видим, состоит из типовых операций, содержание которых зависит от имеющегося оборудования. Пример технологического процесса приведен далее.

Выбор оборудования осуществляется по каталогам. Например, сверление оснований ППМ производится на четырехшпиндельном станке с ЧПУ.

Расчет технологических режимов определяется применяемым оборудованием - см. литературу.

Выбор и конструирование дополнительного технологического оснащения определяется уровнем механизации и автоматизации и задается преподавателем.

Назначение технических условий на сборку осуществляется на сборочном чертеже и в ТП.

Выбор методов и средств контроля зависит от назначения устройства, его электрической схемы, сборочного чертежа и типа производства. Этому вопросу следует уделить особое внимание с целью разработки условий, обеспечивающих точность и качество изготавливаемого изделия. Необходимо в работе привести общий вид или структурную схему настройки и контроля и подробно описать состав и содержание работ.

Нормирование проводится ориентировочно на основании данных в разделе 3.

Таблица 4.1. Характеристики установки для ЭРЭ и ИМС на ИП

Тип оборудования	Назначение устройства	Размеры устанавливаемых ЭРЭ, ИМС	Способ подачи ЭРЭ, ИМС	Выполняемые переходы	Способ позиционирования стола	Размер ИП	Время установки одного ЭРЭ, с.
1	2	3	4	5	6	7	8
УР-1 полуавтомат	Установка резисторов МЛТ (0,125-0,1) конденсаторов БМ, MSM, диодов Д9, Д19	Диаметр корпуса 2-7 мм, длина корпуса 6-22 мм, диаметр выводов 0,6-0,8 мм	Из ленты или кассеты	Подача ЭРЭ, формовка выводов, установка на плату подгибка выводов для фиксации см. рис.	По шаблону	Длина до 220 мм, ширина до 120 мм, толщина до 3 мм.	0,75
УР-2 полуавтомат	Установка транзисторов МГ9-МГ11, МП13-МП15А, П416, П20-П20Б и др.	Диаметр корпуса 3,5 мм, высота корпуса 8 мм, диаметр буртика 7 мм, толщина буртика 0,8 мм, диаметр вывода 0,5 мм.	Из кассеты	Подача транзистора, формовка выводов, установка на плату, подрезка и подгибка выводов для фиксации	Подача платы в зону установки и вручную	Длина до 220 мм, ширина до 220 мм, толщина до 3 мм.	0,75
УР-8 полуавтомат	Установка малогабаритных транзисторов в корпусах 2Т-312, 2Т-305, КТ-306		Тоже	Тоже	По шаблону		0,75
УР-10 полуавтомат	Установка резисторов МТ, МИТ, диодов Д9-Д18, конденсаторов МКМ-160, БМ-2		Из кассеты	Подача ЭРЭ, формовка выводов, установка на плату, обрезка и подгибка выводов	По шаблону	Длина 75-250 мм, ширина 50-150 мм, толщина на 1; 1,5; 2 мм	1,75
	Установка микросхем в корпусе (тип 2)			Подача ИМС, установка на плату, подгибка крайних выводов		Длина 200 мм, толщина на 180 мм, ширина до 3 мм.	

Примеры оформления ТП:

												2	1	
<u>СПбГИТМО (ТУ)</u>				АБВГ.123456.007										
Генератор сигналов														
В	Цех	Уч	РМ	Опер.	Код,	наименование операции								
Г	Обозначение документа													
Д	Код, наименование оборудования													
Е	СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпз	Тшт			
Н	Наименование детали, сборочной единицы или материала													
П	Обозначение (код)						АП	ЕВ	ЕН	КИ	Н. расх.			
В 01	:005: Комплектовочная													
Г 02	По типовому технологическому процессу													
Д 03	Верстак													
Е 04	Комплектовщик: 2													
О 05	Скомплектовать ЭРЭ согласно перечню элементов													
В 06	:010: Подготовительная													
Г 07	АБВГ.123456													
Д 08	Автоматизированный стенд ГГИЗ.КК-К-09													
Е 09	:Монтажник: 3													
О 10	Обрезать, формовать, облудить выводы ЭРЭ													
В 11	015 - Сборочная													
Е 12	:Монтажник: 3													
Г 13	АБВГ.123456.007 СБ													
О 14	Установить ЭРЭ согласно чертежу													
В 15	:020: Монтажная													
Г 16	Нормаль монтажная													
Д 17	Верстак													
Е 18	:Монтажник: 3													
Н 19	Припой ПОС 61, флюс /30% раствор канифоли в спирте, провод, спирт													
О 20	Припаять ЭРЭ согласно принципиальной и монтажной схемам													
Т 21	Приспособление для установки плат, кусачки, пинцет, паяльник,													
22	приспособление для снятия изоляции													
В 23	:025: Промывочная													
Г 24	АБВГ.123456													
Д 25	Верстак													
Е 26	:Монтажник: 3													
Н 27	Спирт технический, обтирочный материал													
О 28	Удалить остатки флюса с поверхности платы													
В 29	:030: Маркировочная													
Г 30	АБВГ.123456													
Д 31	Верстак													
Е 32	:Монтажник: 3													

Н 01	Тушь, лак, спирт технический								
О 02	Подписать ЭРЭ согласно сборочному чертежу								
Т 03	Ручка, увеличительное стекло								
В 04	:035: Контрольная								
Г 05	АБВГ.123456								
Д 06	Верстак								
Е 07	:Контролёр: 3								
О 08	Проверить визуально качество монтажа								
Т 09	Лупа 4-х кратная, ГОСТ 25706-83								
В 10	:040: Настроечная								
Г 11	Технические условия и конструкция по настройке								
Д 12	Автоматизированный стенд								
Е 13	:Настройщик: 4								
О 14	Выполнить регулировку и настройку платы								
В 15	:045: Лакировочная								
Г 16	АБВГ.123456								
Д 17	Верстак								
Е 18	:Монтажник: 3								
Н 19	Лак, спирт технический								
О 20	Нанести лак с последующей сушкой								
Т 21	Кисть, ванночка								
В 22	:050: Испытательная								
Г 23	АБВГ.123456								
Д 24	Специальный стенд								
Е 25	:Монтажник: 3								
О 26	Провести испытания согласно техническим условиям								
В 27	:055: Контрольная								
Г 28	АБВГ.123456								
Д 29	Верстак								
Е 30	:Контролер: 3								
О 31	Проверить качество монтажа визуально								
						Разраб.			
						Проверил			
						Н. контр.			
МК		МАРШРУТНАЯ КАРТА							

Способы транспортировки и вид тары определяются конструкцией или особыми требованиями.

Требования по технике безопасности и охраны окружающей среды изложены в сборниках по безопасности труда.

Контроль электромонтажных работ включает следующие виды проверок:

*1. Внешний осмотр.*

Проверяется качеством заделки проводов, отсутствие повреждений изоляции, надломов выводов элементов, аккуратность укладки проводов, отсутствие остатков флюса и т.д.

*2. Проверка механической прочности монтажа.*

Осуществляется путем покачивания проводника или вывода ЭРЭ у места соединения. В условиях серийного и крупносерийного производства ответственных изделий проверка механической прочности монтажа производится на специальных вибростендах.

*3. Проверка на соответствие монтажной схеме.*

Проверяется правильность расположения электроэлементов и соответствие их типу и номиналу, указанным в монтажной схеме. Проверка электрических соединений производится прозвонкой цепей с помощью измерительных приборов или по калибровочным картам. В условиях крупносерийного производства проверка монтажных соединений производится на автоматических установках, основанных на применении схем неуравновешенного моста.

*4. Проверка электрической прочности монтажа.*

Производится на специальной пробивной установке. Блок испытывается в режиме подачи напряжения, превышающего рабочее напряжение.

*5. Проверка выходных параметров.*

Контрольные вопросы.

1. Содержание типового технологического процесса.
2. Выполнение комплектовочной и подготовительной операций.
3. Способы пайки.
4. Автоматизация установки ЭРЭ.
5. Операции настройки, регулировки и контроля.

## 5. Печатный монтаж и типовые технологические процессы

Сущность печатного монтажа заключается в том, что все контактные соединения, предназначенные для пайки, выведены в одну плоскость и роль монтажных проводов выполняет проводящий металлический рисунок, закрепленный на изоляционной плате в соответствии с принципиальной схемой. Недостатки печатного монтажа: затруднено внесение изменений в схему, сложные схемы требуют большой площади платы. Достоинства: обеспечивает возможность механизации и автоматизации производственных процессов, повышенная прочность отдельных блоков, стабильность и идентичность взаимовлияний электрических параметров. Применение ППМ позволяет: обеспечить значительное повышение плотности соединений и возможность миниатюризации аппаратуры, стабильность электрических параметров, повышение электрических нагрузок в цепях, повышение качества и надежности аппаратуры, улучшение механической прочности, унификация и стандартизация узлов, создание условий для механизации и автоматизации монтажных работ.

Конструкторско-технологическая классификация ППМ.

Печатные платы могут быть:

Односторонние без металлизированных отверстий,

- «- с металлизированными отверстиями.

Двухсторонние на диэлектрическом основании,

- «- на металлическом основании.

Многослойные с межслойными соединениями;

- «- без межслойных соединений.

Гибкие гибкие платы;

- «- гибкие кабели, шлейфы.

Проводные с печатным рисунком;

- «- без печатного рисунка.

### *Групповая плата.*

По геометрическим размерам платы подразделяются на: - особомалогобаритные менее 60х90 мм, - малогобаритные менее 120х180 мм, - среднегабаритные менее 200х240 мм, - крупногобаритные менее 240х360 мм. Рекомендуемое соотношение сторон: 1:1; 1:3 ; 2:3 ; 2:5.

По плотности монтажа ППМ делятся на 5 классов, см. ГОСТ. Например, по ширине проводников и расстояния между проводниками от 0,5 мм до 0,1мм.

В качестве материалов для плат печатного монтажа применяют: гетинакс, стеклотекстолит, полиамидные материалы, фторопласт, керамику и другие материалы. Медная фольга используется для нанесения ее на диэлектрик в качестве проводников толщиной 20-50 мкм, при этом чистота состава не менее 99,5%.

При изготовлении многослойных печатных плат применяют специальные склеивающие прокладки, например: стеклоткань, пропитанная эпоксидной смолой; толщина прокладок 25-100мкм.

В производстве ШМ применяют жидкие фоторезисты. Это светочувствительные составы для получения рисунка печатного монтажа. Жидкие фоторезисты могут быть негативные и позитивные. В последнее время применяют сухие фоторезисты, которые превосходят жидкие по технологичности. Сухой фоторезист - это тонкая пленка, полимеризующаяся под действием ультрафиолетового излучения. Конструктивно пленка состоит из 3 частей: оптически прозрачная пленка полиэтилентерефталата, пленки светочувствительного полимера, защитной полиэтиленовой пленки.

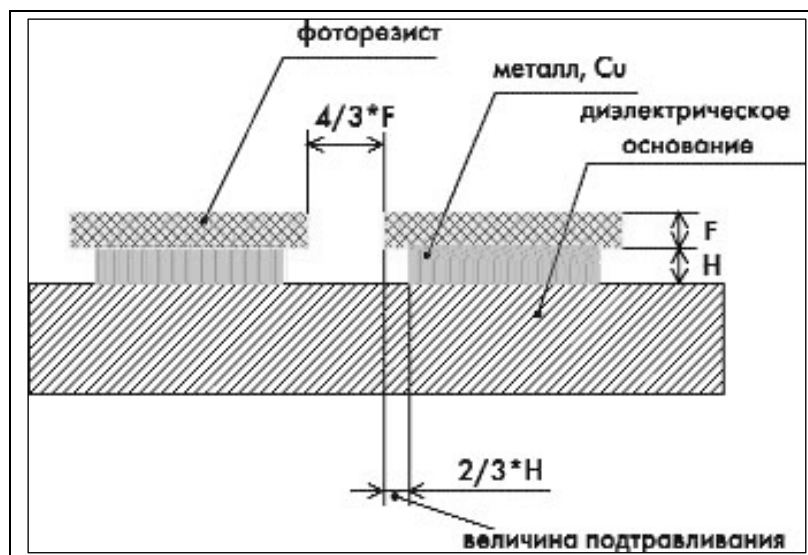


Рис.5.1. Схема травления (H - толщина выправливаемого металла;  
F — толщина фоторезиста)

Для получения рисунков печатного монтажа необходимы фотошаблоны, изготавливаемые большей частью с фотооригиналов. Фотооригиналом называют графическое изображение элементов печатного монтажа, выполненное, как правило, с увеличением масштаба на малоусадочной основе и предназначенное для последующего фотографирования с целью получения рабочих фотошаблонов. Фотошаблоном ППМ называют графическое изображение элементов печатного монтажа, выполненное в натуральном масштабе на фотопластинке или фотопленке и предназначенное для использования в серийном технологическом процессе производства ППМ. Фотошаблоны выполняют в позитивном и негативном изображениях путем перефотографирования фотооригинала. Фотошаблоны могут быть контрольные и рабочие. Производство фотооригиналов и фотошаблонов является наиболее трудоемкой операцией и составляет до 50% общей трудоемкости производства ППМ.

Механическая обработка ППМ предусматривает обработку в них всех видов отверстий, а также контурную обработку.

Изготовление отверстий методом штамповки производится специальным многопозиционным штампом, позволяющим получить сразу все отверстия или группу отверстий. Данный метод высокопроизводителен, но применяется только в массовом и серийном производстве и, кроме того, невозможно получить отверстия малого диаметра.

Как правило, все отверстия изготавливаются путем сверления. Таким же способом получают базовые и технологические отверстия. В качестве инструмента применяют специальные твердосплавные сверла. При сверлении отверстий происходит наволакивание смолы на контактные площадки. С целью устранения этого эффекта применяют: жидкостное охлаждение; угол заточки сверла 118°; применяют сверление и рассверливание; сверление с технологическими пластинами из пластмассы сверху и снизу основания ППМ. Наиболее прогрессивным оборудованием являются станки для сверления в ППМ с ЧПУ. Станки имеют четыре шпинделя (одновременно обрабатывается четыре одинаковых платы), высокооборотные шпиндели (до 120 тыс. оборотов в минуту), хорошее виброизоляционное основание.

В настоящее время написаны статьи о том, как выводить Gerber файлы и программу сверления из систем проектирования **PCAD 4.5, PCAD 8.5, PCAD 200X, OrCAD, Protel 99**. Раздел будет пополняться статьями, посвященными самому стандарту RS-274X, выводу данных Gerber из систем проектирования Protel DXP, Eagle, особенностям при проектировании плат, приводящим к ошибкам при экспорте гербер файлов и т.д.

Заготовки ППМ получают методами штамповки и резания роликовыми или гильотинными ножницами. Виды дефектов в ПП: короткие замыкания между элементами печатного монтажа; разрыв токопроводящих цепей; нарушение электрической связи между контактными площадками и металлизированными отверстиями в наружных и внутренних слоях многослойной структуры; отслоение элементов печатного монтажа от диэлектрического основания; выход отверстия за пределы контактных площадок; расслоение многослойной структуры и понижение сопротивления изоляции; потемнение проводников и др.

В качестве материалов для плат печатного монтажа применяют: гетинакс, стеклотекстолит, полиамидные материалы, фторопласт, керамику и другие материалы. Медная фольга используется для нанесения ее на диэлектрик в качестве проводников толщиной 20-50 мкм, при этом чистота состава не менее 99,5%.

При изготовлении многослойных печатных плат применяют специальные склеивающие прокладки, например: стеклоткань, пропитанная эпоксидной смолой; толщина прокладок 25-100 мкм.

Конструктивно-технологические характеристики плат печатного монтажа (ППМ) определяют технологический процесс их изготовления. В зависимости от сложности реализуемой электрической схемы и применяемой элементной базы выбирают конструктивное исполнение платы, число слоев и плотность проводящего рисунка схемы. ППМ в зависимости от плотности рисунка делят на три класса:

Технологический процесс изготовления основания ППМ зависит от класса ППМ. Химический метод применяется для односторонних плат и внутренних слоев МПП. Электрохимический метод применяется для изготовления ДПП третьего класса и наружных слоев МПП. Комбинированный метод применяется для изготовления ОПП и ДПП первого и второго классов. Аддитивный метод применяется для ОПП и ДПП первого класса. Ориентировочно соотношение трудоемкости изготовления ОПП без металлизированных отверстий, ДПП и МПП составляет 1:4:20. По геометрическим размерам ППМ подразделяются на особо малогабаритные (80x90 мм); малогабаритные (120x180 мм); среднегабаритные (200x240 мм); крупногабаритные (240x360 мм), при этом соотношение сторон выбирается из следующих величин 1:1, 2:3, 2:5.

Трассировку рисунка схемы производят по координатной сетке с шагом 2,5; 1,25; 0,625 мм и менее. Это дает ряд преимуществ в технологии: упрощение в программе для сверления отверстий в платах, возможность использования шелкографии, упрощение процесса механизации и автоматизации. Допустимые рабочие напряжения для проводников плат зависят от минимальных расстояний между ними, материала диэлектрического основания и окружающей среды. Плотность тока в печатных проводниках наружных слоев плат не должна превышать  $20 \text{ А/мм}^2$ , а во внутренних слоях МПП-15  $\text{А/мм}^2$ .

Существует достаточно большое количество различных технологических процессов получения оснований ППМ. Рассмотрим кратко только 4 основных способа:

1. Химический метод заключается в том, что на фольгированный диэлектрик с одной стороны наносят защитный слой позитивного рисунка схемы. Последующим травлением в растворе хлорного железа или хлорной меди удаляют медь с незащищенных участков и на диэлектрике получается требуемая электрическая схема проводников. Химический метод подразделяется по методам нанесения защитных покрытий на: фотохимический, сеточнохимический, офсетнохимический. Метод применяется для односторонних плат и внутренних слоев МПП.

2. Электрохимический (полуаддитивный) метод заключается в предварительном химико-гальваническом меднении отверстий и поверхности нефольгированного диэлектрика, гальванического наращивания токопроводящих участков и химического травления слоя предварительного меднения с незащищенных мест. В зависимости от способа получения защитного рисунка схемы существуют варианты: фотоэлектрический, сеточнохимический, электрохимический. Метод применяется для изготовления двухсторонних печатных плат 3 класса и наружных слоев МПП.

3. Комбинированный метод заключается в получении проводников путем травления фольгированного диэлектрика и металлизации отверстий химико-гальваническим способом. Может быть позитивный и негативный. Метод применяется для изготовления односторонних и двухсторонних плат 1 и 2 класса. Метод применяется также для металлизации сквозных отверстий для многослойных плат.

4. Аддитивный метод заключается в химическом осаждении меди в зоне токопроводящих участков на нефольгированный диэлектрик с введением катализатора и с адгезивным слоем. Метод применяется для изготовления одно и двухсторонних плат невысокой точности.

Комбинированный и электрохимический методы наиболее трудоемки.

Технологический процесс состоит из ряда типовых операций. Для примера рассмотрим один из вышеупомянутых технологических процессов.

ГОСТ 24322-80. Последовательность выполнения типового технологического процесса изготовления односторонних печатных плат химическим методом должна быть следующей:

1. Входной контроль фольгированного диэлектрика.
2. Получение заготовок и фиксирующих отверстий.
3. Подготовка поверхности при получении рисунка фотоспособом.
4. Получение защитного рельефа проводящего рисунка сеткографией или получение защитного рельефа проводящего рисунка фотоспособом.
5. Травление меди.

6. Удаление защитного рельефа.
7. Получение защитной маски.
8. Нанесение знаков маркировки.
9. Лужение контактных площадок сплавом Розе.
10. Получение монтажных отверстий штамповкой или получение монтажных отверстий сверлением.
11. Обработка контура платы.
12. Контроль печатных плат на чистоту отмывки и соответствие технической документации, утвержденной в установленном порядке.

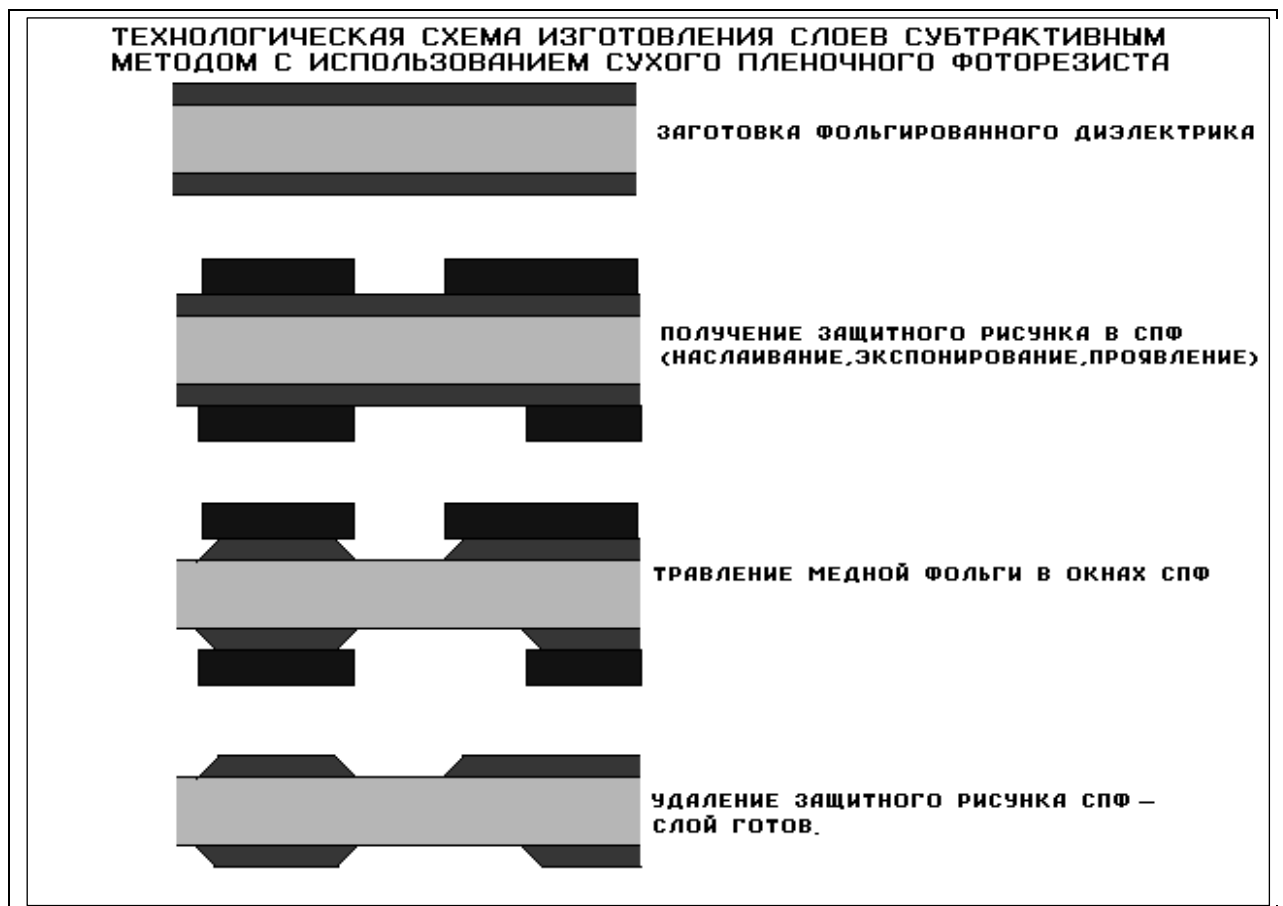


Рис.5.2.

Краткий перечень материалов применяемых при изготовлении ППМ, предлагаемых фирмой ЗАО «Ризолит» и примерные цены. «РОСИЗОЛИТ» ЗАО г.Санкт-Петербург, 196084 ул.Цветочная д.7 Тел.:812) 298-77-23, E-mail:Vict@peterlink.ru/.

№	Наименование материала, типоразмер	Цена, руб. / кг.		ГОСТ, ТУ	Примеч., Изготовит.
		1000 кг.	50 кг.		
1.	Гетинакс-1 -0.5-1.0 мм. 1с.	85.0	93.0	ГОСТ 27 18-74	«БИЗ»
2.	Текстолит ПТ 1 с. 1.0-80 мм.	112.0	125.0	ГОСТ 5-78	«Карболит»
3.	Стеклотекстолит СТЭФ - 1 .5-2.0 мм.	176.5	193.0	ГОСТ 12652-74	«БИЗ»
4.	Стеклотекстолит СТЭФ-1 - 0.5-1.0 мм.	195.0	209.0	ГОСТ 12652-74	«БИЗ»
5.	Фторопластовая пластина Ф-4 - 2.0-80 мм.	220.0	250.0	ТУ 6-05-8 10-88	«Галоген»
6.	Фторопластовая пленка (лента) Ф-4 (КО, ЭО, ПН, ЭН, ИО, ИН) - 0.01-1. 0мм,	220.0	250.0	ГОСТ 24222-80	Россия
7.	Винипласт - ВН, (-ВНЭ) -2.0-30.0 мм.	55.5	66.0	ГОСТ 9639-71	«Заря»

#### Печатные платы

№	Наименование, типоразмер.	Цена, руб./ кв.дм.		ГОСТ, ТУ	Примеч., Изготовит.
1.	Односторонние ГПП (3 класс точности)	19.80			СПб
2.	Двусторонние ГПП (3 класс точности)	50.50			СПб
3.	Двусторонние ГПП (4 класс точности)	58.80			СПб
4.	Подготовка производства, 1 шт	1000.00			СПб

#### Контрольные вопросы.

1. Виды печатных плат.
2. Классы точности печатных плат.
3. Материалы, применяемые при изготовлении печатных плат и их обработка.
4. Основные технологические процессы изготовления печатных плат.
5. Контроль качества печатных плат.

Установлением Государственного комитета СССР по стандартам от 19 марта 1986 г. № 574 срок действия  
установлен

с 01.07.87  
до 01.07.92

Несоблюдение стандарта преследуется по закону

Настоящий стандарт распространяется на односторонние (ОПП), двусторонние (ДПП) и многослойные (МПП) печатные платы на жестком и гибком основании, а также на гибкие печатные кабели (далее — ГПК).

Стандарт устанавливает основные параметры конструкции печатных плат и печатных кабелей.

Стандарт соответствует Публикации МЭК 326—3 в части номенклатуры параметров, и размеров и их предельных отклонений.

Гермины, применяемые в настоящем стандарте, — по ГОСТ 20406—75, ГОСТ 25346-82, ГОСТ 25347—82, ГОСТ 24642—81.

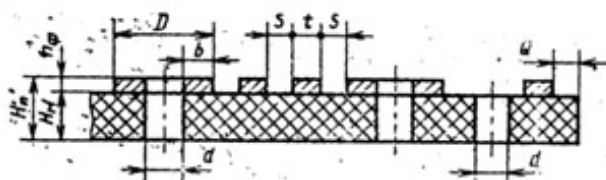
## 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящий стандарт устанавливает пять классов точности печатных плат и ГПК в соответствии со значениями основных параметров и предельных отклонений элементов конструкции (оснований печатных плат, проводников, контактных площадок, отверстий).

1.2. Размеры и предельные отклонения печатных плат и ГПК, установленные стандартом, обязательны для следующих методов проектирования: ручного, автоматизированного и полуавтоматизированного и должны обеспечивать автоматизированную установку изделий электронной техники.

1.3. Буквенные обозначения размеров конструкции печатных плат и ГПК приведены на черт. 1—4.

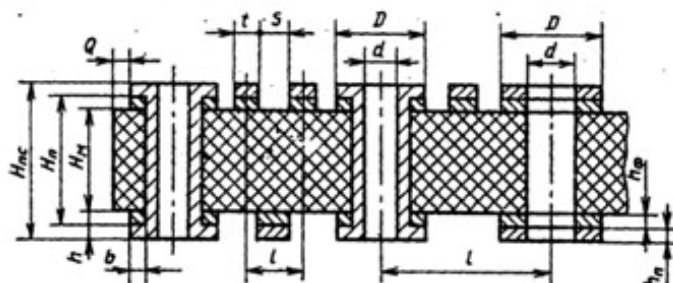
### Односторонняя печатная плата (ОПП)



$H_n$  — толщина печатной платы;  $H_m$  — толщина материала основания печатной платы;  $h_\phi$  — толщина фольги;  $b$  — гарантийный пояс;  $D$  — диаметр контактной площадки;  $d$  — диаметр отверстия;  $S$  — расстояние между краями соседних элементов проводящего рисунка;  $t$  — ширина печатного проводника;  $Q$  — расстояние от края печатной платы, выреза, паза до элементов проводящего рисунка

Черт. 1

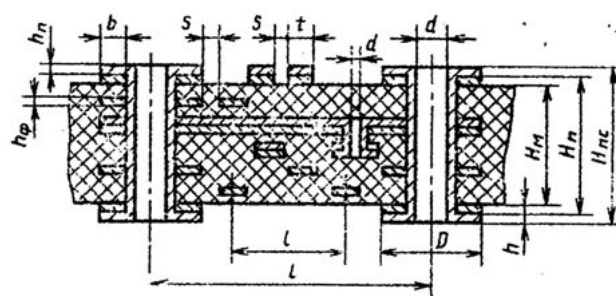
### Двусторонняя печатная плата (ДПП)



$H_{nc}$  — суммарная толщина печатной платы;  $h_\phi$  — толщина химико-гальванического покрытия;  $h$  — толщина проводящего рисунка;  $l$  — расстояние между центрами (осями) элементов конструкции печатной платы

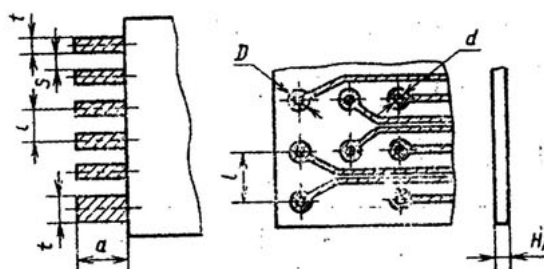
Черт. 2

## Многослойная печатная плата (МПП)



Черт. 3

## Гибкий печатный кабель (ГПК)



$a$  — длина концевого контакта

Черт. 4

## 2. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И РАЗМЕРЫ

### 2.1. Размеры печатных плат

2.1.1. Размеры сторон печатных плат должны соответствовать ГОСТ 10317—79\*.

2.1.2. Предельные отклонения на сопрягаемые размеры контура печатной платы и ГПК не должны быть более 12-го квалитета по ГОСТ 25347—82.

Предельные отклонения на несопрягаемые размеры контура печатной платы и ГПК не должны быть более 14-го квалитета по ГОСТ 25347—82.

\* Для радиоэлектронных средств в модульном исполнении — с учетом ГОСТ 26765.11—85.

2.1.3. Толщину ОПП, ДПП и ГПК  $H_n$  определяют толщиной материала основания с учетом толщины фольги  $h_f$ . Толщина МПП — по обязательному приложению.

Предельные отклонения толщин ОПП, ДПП, ГПК — по нормативно-технической документации на конкретный вид материала основания.

Предельные отклонения толщин МПП должны быть:

$\pm 0,2$  мм для МПП толщиной до 1,5 мм;

$\pm 0,3$  мм для МПП толщиной свыше 1,5 мм.

**Примечание.** Допускается устанавливать по согласованию с головным технологическим предприятием; отрасли более жесткие предельные отклонения толщин МПП.

2.1.4. Суммарную толщину печатной платы или ГПК  $H_{nc}$  определяют как сумму толщин печатной платы или ГПК  $H_n$  и суммарной толщины покрытий наружных слоев  $h_n$ .

Предельные отклонения суммарных толщин печатной платы и ГПК не должны быть более суммы предельных отклонений толщин печатной платы или ГПК и покрытий на каждый наружный слой по ГОСТ 9.306—85.

### 2.2. Размеры элементов конструкции

2.2.1. Наименьшие номинальные значения основных размеров элементов конструкции печатных плат и ГПК для узкого места в зависимости от классов точности приведены в табл. 1.

Таблица 1

Условное обозначение	Номинальное значение основных размеров для класса точности				
	1	2	3	4	5
$t$ , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
$S$ , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
$b$ , мм	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025

$\gamma$	0,40	0,40	0,33	0,25	0,20
----------	------	------	------	------	------

$\gamma$  — отношение номинального значения диаметра наименьшего из металлизированных отверстий к толщине печатной платы или ГПК.

Для свободного места указанные значения допускается устанавливать по любому более низкому классу, а для первого класса — увеличивать в два раза.

2.2.2. Номинальные размеры диаметров металлизированных и не металлизированных монтажных и переходных (служащих только для соединения проводящих слоев) отверстий — по ГОСТ 10317—79.

2.2.3. Предельные отклонения диаметров монтажных и переходных отверстий  $\Delta d$  должны соответствовать указанным в табл. 2

Таблица 2

Диаметр отверстия $d$ , мм	Наличие металлизации	Предельное отклонение диаметра $\Delta d$ , мм, для класса точности				
		1	2	3	4	5
До 1,0	Без металлизации	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$ ( $\pm 0,025$ )*
	С металлизацией без оплавления	$+0,05; -0,15$	$+0,05; -0,15$	$+0; -0,10$	$+0; -0,10$	$+0; -0,10$ ( $+0; -0,075$ )*
	С металлизацией и с оплавлением		$+0,05; -0,18$	$+0; -0,13$	$+0; -0,13$	$+0; -0,13$
Св. 1,0	Без металлизации	$\pm 0,15$	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$
	С металлизацией без оплавления	$+0,10; -0,20$	$+0,10; -0,20$	$+0,05; -0,15$	$+0,05; -0,15$	$+0,05; -0,15$
	С металлизацией и с оплавлением	$+0,10; -0,23$	$+0,10; -0,23$	$+0,05; -0,18$	$+0,05; -0,18$	$+0,05; -0,18$

Норма вводится с 01.07.88.

2.2.4 Номинальные размеры сквозных отверстий под крепежные детали — по ГОСТ 11284-75

2.2.5 Ширину печатного проводника выбирают в зависимости от токовой нагрузки. Значения допустимой токовой нагрузки приведены в п. 2.4.4.

2.2.6 Предельные отклонения ширины печатного проводника контактной площадки, концевого печатного контакта, экрана  $\Delta t$  для узкого места должны соответствовать указанным в табл. 3.

Таблица 3

Наличие мегалитического покрытия	Предельное отклонение ширины печатного проводника $\Delta t$ , мм, для класса точности				
	1	2	3	4	5
Без покрытия	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$	$+0$ $-0,03$
С покрытием	$+0,25$ $-0,20$	$+0,15$ $-0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$

2.3. Позиционные допуски расположения элементов конструкций

2.3.1. Значения позиционных допусков расположения осей отверстий  $T_d$  в диаметральной выражении приведены в табл. 4.

Таблица 4

Размер печатной платы по большей стороне, мм	Значение позиционного допуска расположения осей отверстий $T_d$ , мм*, для класса точности				
	1	2	3	4	5
До 180 включ	0,20	0,15	0,03	0,05	0,05
Св. 180 до 360 включ	0,25	0,20	0,10	0,08	0,08
Св. 360.	0,30	0,25	0,15	0,10	0,10

\*Позиционный допуск на расположение осей фиксирующих отверстий на платах, предназначенных для автоматической установки навесных элементов, устанавливают по 4-му классу, на расположение монтажных отверстий — по 3-му классу независимо от класса печатной платы.

2.3.2 Пересчет позиционных допусков расположения осей отверстий на предельные отклонения расстояний между осями этих отверстий проводят по ГОСТ 14140—81.

2.3.3 Значения позиционных допусков расположения центров контактных площадок  $T_d$  в диаметральной выражении приведены в табл. 5

Таблица 5

Вид изделия	Размер печатной платы по большей стороне, мм	Значение позиционного допуска расположения центров контактных площадок $T_D$ , мм, для класса точности				
		1	2	3	4	5
ОПП	До 180 включ.	0,35	0,25	0,15	0,10	0,05
ДПП	Св. 180 до 360 включ.	0,40	0,30	0,20	0,15	0,08
ГПК	Св. 360	0,45	0,35	0,25	0,20	0,15
МПП (наружный слой)	До 180 включ.	0,40	0,30	0,20	0,15	0,10
МПП (внутренний слой)	Св. 180 до 360 включ.	0,45	0,35	0,25	0,20	0,15
	Св. 360	0,50	0,40	0,30	0,25	0,20

2.3.4. Значения позиционных допусков расположения печатного проводника  $T_L$ ; относительно соседнего элемента проводящего рисунка в диаметральном выражении приведены в табл. 6.

Таблица 6

Вид изделия	Значение позиционного допуска расположения печатного проводника $T_L$ , мм, для класса точности				
	1	2	3	4	5
ОПП; ДПП; ГПК; МПП (наружный слой)	0,2	0,10	0,05	0,03	0,02
МПП (внутренний слой)	0,3	0,15	0,10	0,08	0,05

2.3.5. Формулы для расчета размеров элемента конструкции печатных плат и ГПК приведены в обязательном приложении.

#### 2.4. Электрические параметры

2.4.1. Значения допустимых рабочих напряжений между элементами проводящего рисунка, расположенными в соседних слоях печатной платы и ГПК, приведены в табл. 7.

Таблица 7

Расстояние между элементами проводящего рисунка, мм	Значение рабочего напряжения, В	
	Фольгированный гетинакс (ГФ)	Фольгированный стеклотекстолит (СФ)
От 0,1 до 0,2 включ.	—	25
Св. 0,2 » 0,3 »	—	50
» 0,3 » 0,4 »	75	100
» 0,4 » 0,5 »	150	200
» 0,5 » 0,75 »	250	350
» 0,75 » 1,5 »	350	500
» 1,5 » 2,5 »	500	650

2.4.2. Значения допустимых рабочих напряжений между элементами проводящего рисунка, расположенными на наружном слое печатной платы или ГПК, приведены в табл. 8.

2.4.3. Значения сопротивления печатных проводников длиной 1 м приведены в табл. 9.

2.4.4. Допустимую токовую нагрузку на элементы проводящего рисунка в зависимости от допустимого превышения температуры проводника относительно температуры окружающей среды выбирают для:

фольги — от  $100 \cdot 10^6$  до  $250 \cdot 10^6$  А/м<sup>2</sup> (от 100 до 250 А/мм<sup>2</sup>);

гальванической меди — от  $60 \cdot 10^6$  до  $100 \cdot 10^6$  А/м<sup>2</sup> (от 60 до 100 А/мм<sup>2</sup>)

Таблица 8

Расстояние между элементами проводящего рисунка, мм	Значение рабочего напряжения, В							
	Внешние воздействующие факторы							
	Нормальные условия		Относительная влажность $(93 \pm 3)\%$ при температуре $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 48ч.		Пониженное атмосферное давление			
					53600 Па (400 мм рт. ст.)		666 Па (5 мм рт. ст.)	
	ГФ	СФ	ГФ	СФ	ГФ	СФ	ГФ	СФ
От 0,10 до 0,20 включ.	-	25	-	15	-	20	-	10
Св. 0,20 » 0,30 »	30	50	20	30	25	40	20	30
» 0,30 » 0,40 »	100	150	50	100	80	110	30	50
» 0,40 » 0,70 »	150	300	100	200	110	160	58	80
» 0,70 » 1,20 »	300	400	230	300	160	200	80	100
» 1,20 » 2,00 »	400	600	300	360	200	300	100	130
» 2,00 » 3,50 »	500	830	360	430	250	400	110	160
» 3,50 » 5,00 »	660	1160	500	600	330	560	150	210
» 5,00 » 7,50 »	1000	1500	660	830	500	660	200	250
» 7,50 » 10,00 »	1300	2000	830	1160	560	1000	230	300
» 10,00 » 15,00 »	1800	2300	1160	1600	660	1160	300	330

## Примечания:

1. Цепи с напряжением более 250В в МПП применять не рекомендуется.
2. Цепи с напряжением более 1800В для фольгированного гетинакса и 2300 В для фольгированного стеклотекстолита в печатных платах и ГПК применять не рекомендуется.

Таблица 9

Толщина печатного проводника, мкм		Значение сопротивления, Ом, не более										
		Ширина печатного проводника, мм										
без покрытия	с покрытием	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	1,00
20	—	—	5,83	4,37	3,50	2,91	2,18	1,75	1,45	1,25	1,09	0,87
35	—	—	—	2,50	2,01	1,66	1,25	1,00	0,83	0,71	0,52	0,50
50	—	—	—	1,75	1,40	1,16	0,87	0,70	0,58	0,50	0,43	0,35
5	40	8,60	5,74	4,30	3,44	2,86	2,14	1,72	1,42	1,23	1,07	0,86
20	70	4,20	2,78	2,09	1,67	1,39	1,04	0,83	0,69	0,59	0,52	0,42
35	80	3,20	2,12	1,60	1,28	1,06	0,79	0,64	0,52	0,45	0,39	0,32
50	90	2,60	1,71	1,29	1,04	0,86	0,64	0,52	0,43	0,37	0,32	0,26
—	40	10,0	6,60	5,00	4,00	3,32	2,50	2,00	1,65	1,42	1,25	1,00

**Формулы для расчета размеров элементов конструкции печатных плат, ГПК и толщины МПП**

1. Наименьший номинальный диаметр  $D$  контактной площадки рассчитывают по формуле

$$D = (d + \Delta d_{в.о}) + 2b + \Delta t_{в.о} + 2\Delta d_{тр} + (T_d^2 + T_D^2 + \Delta t_{п.о}^2)$$

где:  $\Delta d_{в.о}$  — верхнее предельное отклонение диаметра отверстия;  
 $\Delta t_{в.о}$  — верхнее предельное отклонение диаметра контактной площадки;  
 $\Delta d_{тр}$  — значение подтравливания диэлектрика в отверстии равно 0,03 мм для МПП, для ОПП, ДПП и ГПК — нулю.  
 $\Delta t_{п.о}$  — нижнее предельное отклонение диаметра контактной площадки.

2. Наименьшее номинальное расстояние  $l$  для прокладки  $n$ -го количества проводников рассчитывают по формуле:

$$l = \frac{D_1 + D_2}{2} + t * n + S(n + 1) + T_l$$

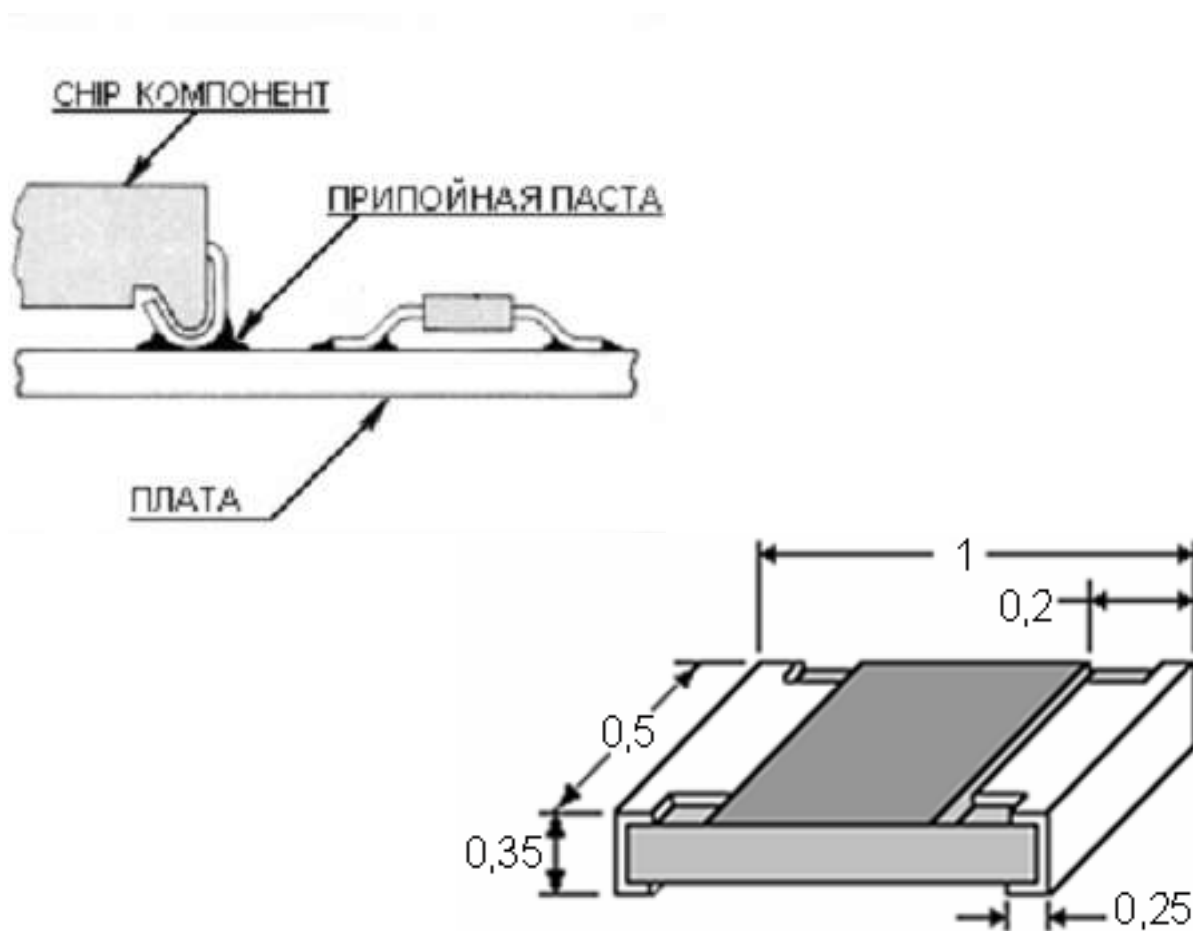
где:  $D_1, D_2$  — диаметры контактных площадок;  
 $n$  — количество проводников.

3. Толщину МПП рассчитывают по формуле:

$$H_n = \sum H_c + (0,6 \dots 0,9) \sum H_{пр}$$

где:  $H_c$  — толщина слоя МПП;  
 $H_{пр}$  — толщина прокладки (по стеклоткани).

## 6. Поверхностный монтаж



Сущность поверхностного монтажа заключается в том, что используется элементная база, которая унифицирована по внешним габаритам и имеет вид прямоугольников, применяется новый технологический процесс и новое технологическое оборудование.

Унифицированные габаритные размеры позволяют упростить конструкции технологического оборудования для автоматизированной установки различных ЭРЭ. Выводы ЭРЭ конструктивно оформлены для установки и пайки непосредственно на плату и на рис. Даны в мм. Поэтому и применяется новый технологический процесс пайки выводов ЭРЭ под выводом. Миниатюризация ЭРЭ потребовала применить и новые материалы для пайки, а именно паяльную пасту со сложным составом. Новый технологический процесс потребовал и нового технологического оборудования.

Преимущества поверхностного монтажа: уменьшение габаритов устройств, повышения уровня автоматизации производственного процесса, высокая производительность установки ЭРЭ - более 18 тыс. ЭРЭ в час.

Недостатки: высокая себестоимость изготовления платы.

В связи с вышеизложенным, производство плат поверхностным монтажом становится выгодным при массовом типе производства.

*Терминология:*

Поверхностно-монтируемые изделия (ПМИ)

Платы печатного монтажа (ППМ)

## Виды поверхностного монтажа.

Поверхностный монтаж на плате может быть *односторонним* и *двусторонним*. Число технологических операций при этом виде монтажа минимально.

При одностороннем монтаже (рис. 6.1, а) на диэлектрическое основание платы наносят припойную пасту методом трафаретной печати. Количество припоя, наносимое на плату, должно обеспечивать требуемые электрофизические характеристики коммутируемых элементов, что требует соответствующего контроля. После позиционирования и фиксации компонентов выполняют операцию пайки путем оплавления дозированного припоя. В завершение технологического цикла производится контроль паяных соединений, а также функциональный и внутрисхемный контроль. На рис. 6.1, а изображены поверхностно-монтажные компоненты различных видов: относительно сложно монтируемые компоненты в корпусах PLCC и SOIC и легко монтируемые чип-компоненты.

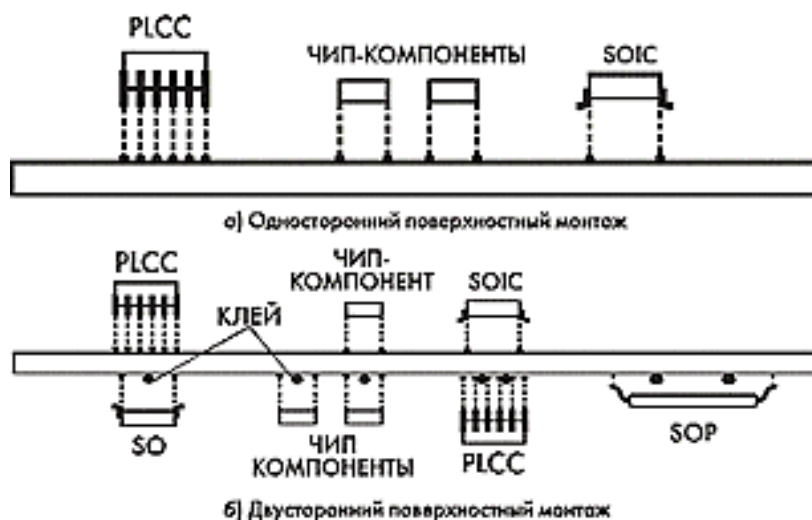


Рис. 6.1.

Для двустороннего поверхностного монтажа (рис. 6.1, б) возможны различные варианты реализации. Один из них предполагает начало технологического процесса с операции нанесения паяльной пасты на нижнюю сторону платы. Затем в местах установки компонентов наносят расчетную дозу клея и производят установку компонентов. После этого в печи клей полимеризуется и происходит оплавление пасты припоя. Плата переворачивается, наносится паста припоя и устанавливаются компоненты на верхнюю сторону платы, после чего верхняя сторона оплавляется. В этом случае для пайки компонентов используются печи с односторонним нагревом.

При другом варианте реализации двустороннего поверхностного монтажа используются печи с двусторонним нагревом.

Интересен вопрос о необходимости нанесения клея на плату. Эту операцию выполняют с целью предотвращения отделения компонентов от платы при ее переворачивании. Существующие расчеты показывают, что большинство компонентов не упадут с платы даже при ее переворачивании, поскольку будут держаться за счет сил поверхностного натяжения припойной пасты. По этой причине операцию нанесения клея нельзя отнести к обязательным.

### Смешанно-разнесенный монтаж

При смешанно-разнесенном монтаже компоненты, устанавливаемые в отверстия (ТНТ-компоненты), располагаются на верхней стороне платы, а компоненты для поверхностного монтажа — на нижней. В этом случае обязательной является операция пайки двойной волной припоя. Смешанно-разнесенный монтаж компонентов показан на рис. 6.2.

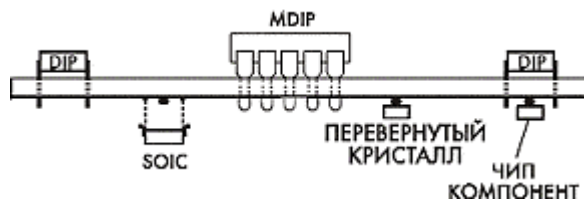


Рис. 6.2. Смешанно-разнесенный монтаж

Реализация такого вида монтажа предполагает следующую последовательность операций: на поверхность платы наносится дозатором клей, на который устанавливаются SMD-компоненты, клей полимеризуется в печи, после чего производится установка компонентов в отверстия, промывка модуля и выполняются операции контроля.

Возможен альтернативный вариант, при котором сборку начинают с установки компонентов в отверстия платы, после чего размещают поверхностно-монтируемые компоненты. Он применяется тогда, когда формовка и вырубка выводов обычных компонентов осуществляется при помощи специальных приспособлений заранее, иначе компоненты, монтируемые на поверхность, будут затруднять обрезку выводов, проходящих через отверстия платы. Компоненты для поверхностного монтажа при повышенной плотности их размещения целесообразно монтировать в первую очередь, что требует минимального количества переворотов платы в процессе изготовления изделия.

### Смешанный монтаж

Примером смешанного монтажа является установка на верхней стороне платы и SMD-, и ТНТ-компонентов (монтируемых в отверстия), а на нижней стороне — только SMD-компонентов. Это самая сложная разновидность монтажа (рис. 6.3).

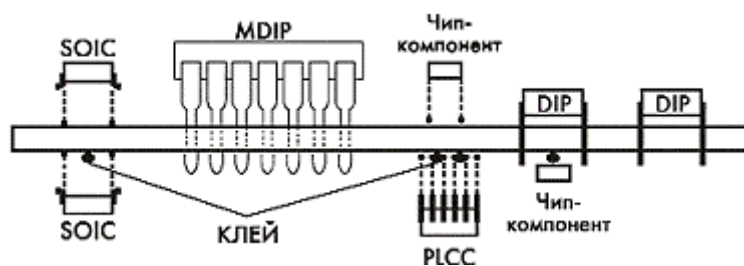


Рис. 6.3. Смешанный монтаж

Возможны различные варианты ее реализации. При одном из них сначала на нижнюю сторону печатной платы методом дозирования наносят клей, а на нанесенный клей устанавливают SMD-компоненты. После проведения контроля установки компонентов проводят отверждение клея в печи. На верхнюю сторону платы наносится паяльная паста, а на нее затем устанавливаются SMD-компоненты.

Нанесение паяльной пасты возможно как методом трафаретной печати, так и методом дозирования. В последнем случае операции нанесения клея и паяльной пасты можно проводить на одном оборудовании, что сокращает затраты. Однако нанесение паяльных паст методом дозирования непригодно при промышленном производстве из-за низкой скорости и стабильности процесса по сравнению с трафаретной печатью и оправдано только в условиях отсутствия трафарета на изделие или нецелесообразности его изготовления. Такая ситуация может сложиться, например, при опытном производстве большой номенклатуры электронных модулей, когда из-за большого числа обрабатываемых конструктивов и малых серий затраты на изготовление трафаретов значительны.

После установки SMD-компонентов на верхнюю сторону платы производится их групповая пайка методом оплавления припойной пасты, нанесенной на трафаретном принтере, или методом дозирования. После этой операции технологический цикл, связанный с установкой поверхностно монтируемых компонентов, считается завершенным.

Далее, после ручной установки компонентов в отверстия платы производится совместная пайка всех SMD-компонентов, ранее удерживавшихся на нижней стороне платы при помощи отвержденного адгезива и уже установленных выводных компонентов.

В конце технологического цикла выполняют операции визуальной инспекции пайки и контроля.

При другом варианте реализации смешанного монтажа предполагается иная последовательность выполнения операций. Первым этапом является нанесение припойной пасты через трафарет, установка на верхней стороне платы сложных компонентов для поверхностного монтажа (SO, PLCC, BGA) и пайка расплавлением дозированного припоя. Затем, после установки компонентов в отверстия платы (с соответствующей обрезкой и фиксацией выводов), плата переворачивается, на нее наносится адгезив и устанавливаются компоненты простых форм для поверхностного монтажа (чип-компоненты, компоненты в корпусе SOT). Они и выводы компонентов, установленных в отверстия, одновременно пропаяваются двойной волной припоя. Возможно также использование в составе одной линии оборудования, обеспечивающего эффективную пайку компонентов (с верхней стороны платы) расплавлением дозированного припоя и пайку (с нижней стороны платы) волной припоя.

Необходимо отметить, что в технологическом процессе, реализующем смешанный монтаж, возрастает количество контрольных операций из-за сложности сборки при наличии компонентов на обеих сторонах платы. Неизбежно возрастают также количество паяных соединений и трудность обеспечения их качества.

#### *Односторонний выводной и поверхностный монтаж*

Такая технология носит в мировой практике название технологии оплавления припойных паст (reflow) и является одной из стандартных в технологии монтажа на поверхность (рис. 6.4).

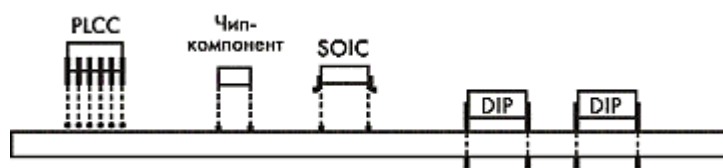


Рис. 6.4. Односторонний монтаж SMD и THT

Сборка модулей такого типа осуществляется следующим образом: на поверхность платы наносится припойная паста, на которую устанавливают SMD-компоненты; затем паста оплавляется в печи, устанавливаются ТНТ-компоненты, проводится пайка волной припоя, после чего осуществляют промывку и контроль собранного модуля.

#### *Односторонний выводной монтаж*

Технология сборки таких печатных плат (рис. 6.5) является стандартным сборочно-монтажным циклом с применением пайки волной припоя. Этот цикл состоит из операций установки выводных компонентов, их пайки на установке пайки волной и контрольных операций. Установка компонентов может быть как ручной, так и полуавтоматической. Выбор оборудования определяется требуемой производительностью. Автоматизация такого типа монтажа является минимальной, а сама реализация — предельно простой.

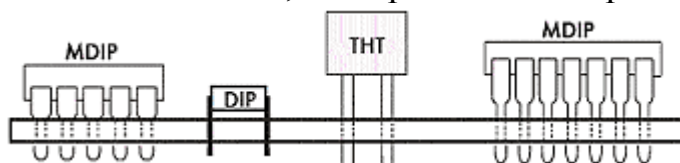


Рис. 6.5. Односторонний монтаж ТНТ

В общем виде технологический процесс состоит из следующих групп операций:

- подготовка ПМИ в соответствии с перечнем элементов на ППМ и объемом заказа,
- нанесение паяльной пасты на основание ППМ,

- установка ПМИ,
- пайка ППМ,
- контроль.

Технология поверхностного монтажа: наносят капельки эпоксидного клея на поверхность платы в местах установки ПМИ, наносят капельки дозированного припоя (паяльной пасты) в местах пайки, устанавливают ПМИ с помощью высокопроизводительного автоматизированного оборудования и помещают плату в шкаф с конвекционным нагревом.

Подготовка ПМИ заключается в подборе ЭРЭ поставленных в таре с заранее ориентированном виде.

#### *Нанесение паяльной пасты.*

Паяльная паста представляет собой сложный композиционный состав, например: 62% олова, 36% свинца, 2% серебра и другие компоненты. Еще раз напоминаю, что необходимо использовать бессвинцовистые пасты. Как правило, производятся безотмывные и водосмываемые пасты. Бессвинцовистые пасты на основе канифоли применяются значительно реже. Наиболее широко применяемые пасты: NC254, NC368, WS353 и др. Содержание металла в пасте -88,5%, а срок хранения от 3 до 12 месяцев. Паста должна позволять ложиться тонким слоем без шариков и механических вкраплений.

Процесс нанесения паяльной пасты состоит в совмещении печатной платы с отверстиями в трафарете, продавливанием проходом ракеля припойной пасты через отверстия в трафарете, см. рис. И смене трафарета и его очистки от остатков пасты с нижней стороны. Результатом трафаретной печати является слой пасты, который должен находиться в геометрическом центре контактной площадки и который должен иметь одинаковую толщину, определяемую толщиной трафарета. Ракели могут быть разной конструкции и из разных материалов: из резины, пластика, металлические и др

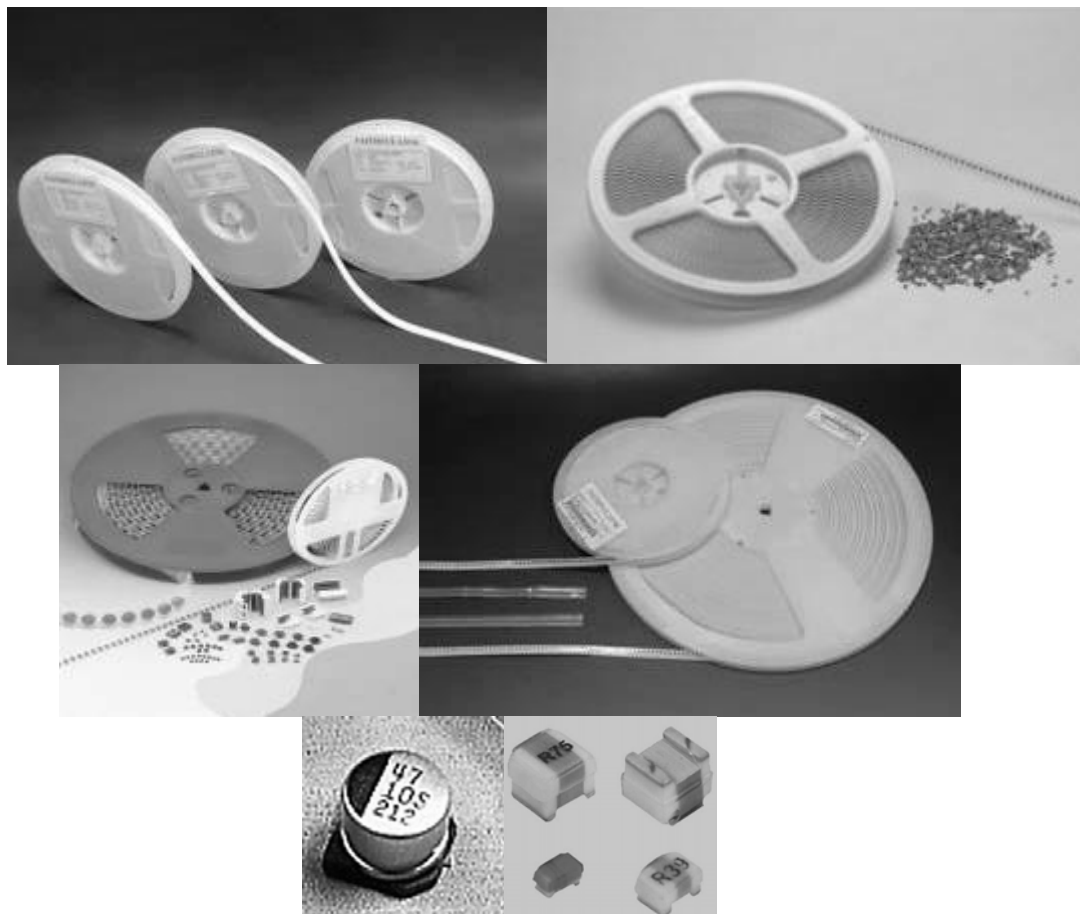


Рис. 6.6.

Оборудование для трафаретной печати может быть ручное и автоматическое.

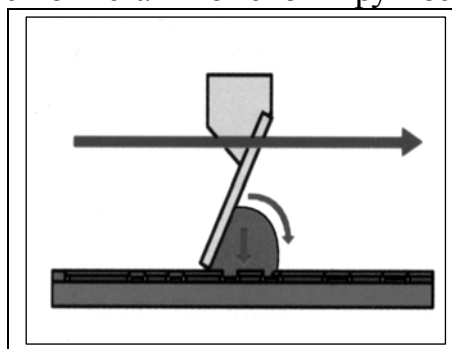


Рис. 6.7.Схема прохождения ракеля с пастой по плате.

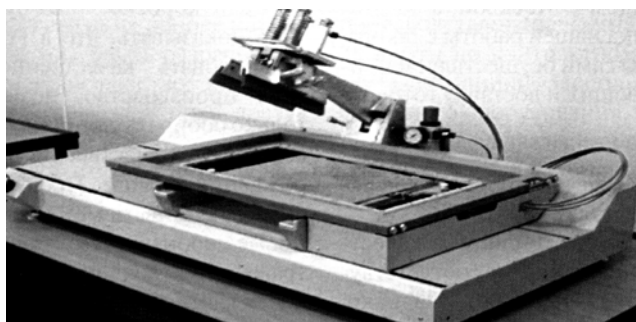


Рис. 6.8.

На рис. 6.8. представлена установка для нанесения паяльной пасты в автоматическом режиме с поддержанием усилия прижима ракеля и скорости трафаретной печати. Максимальные размеры плат 200х200мм. База данных установки содержит параметры технологических режимов печати для всех обрабатываемых на ней изделий. Применяются также и полуавтоматические принтеры для нанесения трафаретной печати. На рис. 6.9. представлен полуавтомат SPR-40 фирмы APS.

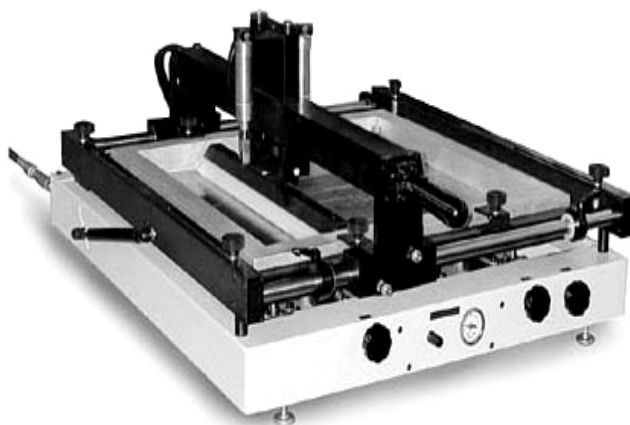


Рис. 6.9.

#### *Установка ПМИ.*

Оборудование для установки ПМИ может быть встраиваемое в автоматическую линию и не встраиваемое. Оборудование позволяет устанавливать ПМИ с высокой производительностью свыше 18 тыс. ПМИ в час. На рис. 6.10. представлен полуавтомат для серийного типа производства. Подобного типа имеются и полуавтоматы М10.



Рис. 6.10.

### *Пайка ПММ*

Пайка ЭРЭ с использованием паяльной пасты весьма сложный технологический процесс. Ручная пайка может производиться с помощью паяльной станции, которая используется, в основном, для ремонта плат. На рис.6.11. Представлена паяльная станция фирмы TAIO Electric.Co.Ltd.



Рис. 6.11.

Для выполнения пайки плат предназначены печи, различные по конструкции, в основном, конвекционного типа. В таких печах горячий воздух подается на платы и прогревает их до требуемой температуры. Основная задача оборудования выдержать требуемый режим нагрева платы.

Но для качественного оплавления пасты недостаточно просто высокой температуры. Необходимо поэтапное нагревание платы до точки оплавления по определенной температурной кривой и такое же постепенное охлаждение. Это предотвращает компоненты и печатную плату от термоудара и коробления и, кроме того, влияет на прочность и адгезию паяного соединения и наличие пустот в нем. Именно эти параметры паяного соединения и являются определяющими критериями качества паянного соединения. Под воздействием высокой температуры в паяльной пасте происходит расплавление мелких шариков припоя. В паяльной пасте также содержится флюс, который снимает окисную пленку с выводов компонентов и контактных площадок, также флюс обеспечивает хорошую адгезию припоя к поверхностям платы.

На рис. 6.12. представлен стандартный график оплавления паяльной пасты в печи. Подбор требуемых режимов оплавления – работа технолога, т.к. для каждого типа плат требуется индивидуальный подход.

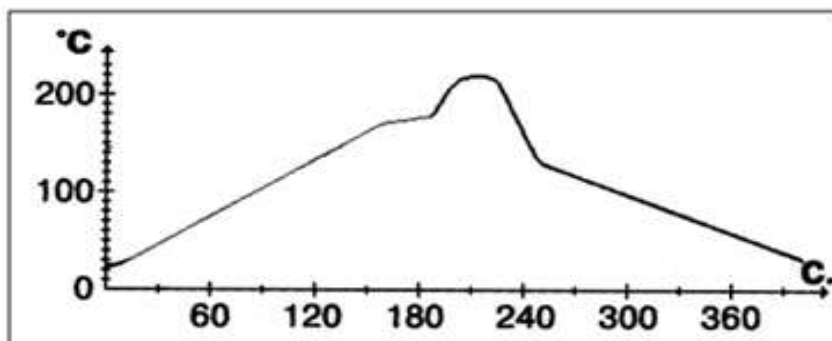


Рис. 6.12.

Рабочая камера печи разделена на зоны, в которых отдельно может регулироваться температура, см. рис. 6.13.

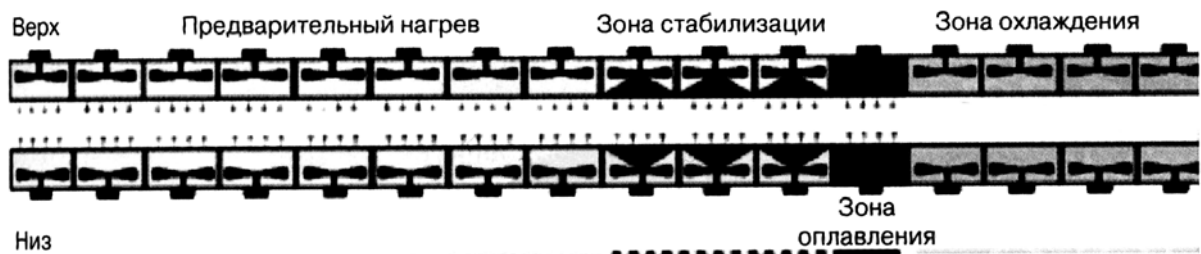


Рис. 6.13.

В связи с переходом на бессвинцовые технологии пайки и увеличением температур пайки, в настоящее время требуется больше времени на нагрев и охлаждение, чтобы выдержать требуемый градиент нарастания температур. Поэтому современные печи становятся все длиннее (до 12м) и с большим количеством зон (9-11). Бессвинцовая пайка основана на применении паяльных паст с флюсующими композициями на основе синтетических смол и парафинов. Отмывка таких паст осуществляется с применением специальных жидкостей, например, фирмы Zestron и специального оборудования.

На рис. 6.14. представлена печь конвекционного оплавления припоя MISTRAL 360.

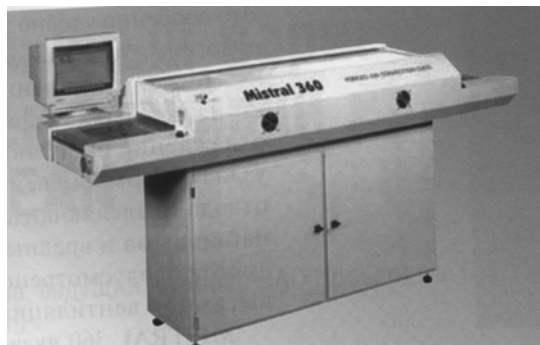


Рис. 6.14.

Контроль изготовленных плат требует применения оптических систем с большим увеличением, а для текущего контроля монтажником, в крайнем случае, лупа с 4-х кратным увеличением.

Методика разработки технологического процесса электромонтажа с поверхностно монтируемыми элементами (ПМИ) для уже созданного производственного участка состоит в подробном описании операционной технологии, в то время как маршрутная технология не нуждается в описании.

Исходная информация состоит в получении заказа и файлов с разводкой плат в программе P-CAD, Or-CAD – наиболее распространенных в РФ, но возможно и в программе Allegro.

#### 1. Проверка файлов.

Проверка заключается в анализе представленной информации на наличие только SMD элементов, т.е. в наличии только поверхностно монтируемых элементов и наличие таких элементов в поставке от производителя. Для выполнения данной работы необходимо рассмотреть конструкцию

заявленных элементов, а для организаций необходимо иметь базу данных по элементам.

В случае наличия других элементов принятие заказа рассматривается отдельно, как производство на данном участке, так и передача части работ на другое производство. Для учебного проектирования необходимо еще раз просмотреть методические указания.

Одновременно с этим рассматривается вопрос о заказе основания платы печатного монтажа.

## 2. Проверка файла на возможность установки ПМИ на оборудование.

Для примера возьмем установку М-60.

Максимальный размер платы 300x500 мм, устанавливаемые компоненты от 4002 до 30x30 мм по различной классификацией элементов, количество ленточных питателей и, соответственно, количество различных элементов до 96 штук шириной 8 мм, точность размещения элементов 0,1 мм, шаг перемещения по координатным осям 25 мкм, круговая ориентация с шагом 1 градус, установлена видеокамера для автоматического распознавания реперных знаков и отметок плохой платы в групповой заготовке. При выполнении всех указанных требований достигается производительность от 2000 до 2800 компонентов в час.

В установке имеется пневматический дозатор для нанесения клея или припойной пасты на плату.

Необходимо проверить соответствие требований по плате с возможностями установки и провести, при необходимости, изменения.

## 3. Выбор и назначение паяльной пасты.

Применение паяльных паст имеет большое значение при изготовлении плат. В настоящее время идет замена свинцовистых припоев на бессвинцовистые. Особое значение имеет качество получаемой пайки и стоимость. Относительные коэффициенты по стоимости различных плат приведены ниже.

Таблица 7.1

Припой	Компоненты	Коэффициент стоимости
Sn63	Sn63Pb37	1
K100LD (KESTER)	Sn99,3Cu0,7 + Ni + Bi	- 1.5
K100	Sn99.4Cu0.6 + Ni	- 1.5
SAC305	Sn96,5Ag3.0Cu0,5	- 3.0

Рассмотрим пример других паяльных паст.

ALPHA OM-350. Бессвинцовистая безотмывочная паяльная паста обеспечивает хорошую пайку на покрытиях CuOSP, иммерсионном серебре, иммерсионном олове и бессвинцовистом покрытии HASL при температуре плавления 217-220°C. Состав сплава: Sn-96.5; Ag-3; Cu0,5. Соответствует стандартам по образованию пустот и обеспечивает максимальный срок

надежности. Может наноситься с помощью принтера, методом дозирования для поверхностного монтажа компонентов.

ALPHA WS-619-LF. Бессвинцовистая водоотмываемая паста без галогенов. Разработана как для трафаретной печати, так и для нанесения методом дозирования. Состав сплава: Sn-96,5; Ag-3; Cu0,5. Пригодна для оплавления, как в среде воздуха, так и в среде азота. Отличные характеристики по смачиваемости на всех типах медных защитных покрытий, в том числе и OSP.

4. Выбор или отказ от клея. Нанесение клея необходимо для удержания компонентов в определенном положении и, особенно, при переворачивании платы в процессе производства. В ряде случаев можно оставить только припойную пасту без клея, но это требует подробного рассмотрения технических характеристик паст, клея и технологического процесса. Рассмотрим пример клея.

EpiBond 7275 – это эпоксидный клей для поверхностного монтажа компонентов. Время полимеризации приведено в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Температура, °C	Время полимеризации, мин.
80 °C	12 мин.
120 °C	2,5 мин.
150 °C	1,5 мин.

Скорость изменения температуры при полимеризации не более 2 °C в сек., размер частиц клея менее 25 мкм, цвет красный, соответствует требованиям стандарта по вязкости и т.п.

После выбора и назначения клея необходимо проверить соответствие имеющегося оборудования для полимеризации. Для этого можно использовать и печи оплавления.

5. Выбор или проверка печи оплавления на соответствие требований по изготовлению плат. Прежде всего, следует обратить внимание на тип производства. Как видно из предыдущих материалов, оплавление пасты должно производиться определенное время и по соответствующему графику оплавления. При изготовлении одной платы, т.е. единичный тип производства, то можно обойтись небольшой печью, например, размером около 1 метра. При серийном типе производства, а тем более при массовом типе производства, при бессвинцовистой пайке длина печи должна быть не менее 12 метров.

При переходе на бессвинцовистую пайку самым затратным является применение нового оборудования для оплавления. Параметры рекомендуемых температурных профилей оплавления для бессвинцовистых припоев определены стандартом IPC JEDEC J STD 020C. Температура оплавления должна быть в пределах 230 - 240°C, при этом максимальная температура нагрева компонентов 250-260°C. Требуется максимально

высокая точность поддержания температуры по площади каждой зоны нагрева. В противном случае появляются места непропаев или перегрева компонентов.

HOTFLOW 2 – серия печей оплавления для бессвинцовистой пайки.

Характеристика печей оплавления HOTFLOW -2|20: количество зон нагрева - 10, количество зон охлаждения – 3, длина рабочей зоны -4840 мм, длина зоны нагрева – 3620 мм, длина зоны охлаждения – 1220мм, скорость конвейера – 0,2-2 м/мин. В подобных печах установлены ПК для управления процессом оплавления.

6. Выбор оборудования для отмывки. Отмывка нужна для обеспечения чистоты всего технологического процесса. Как правило, отмывочные ванны выбираются для выполнения целого ряда процессов. Прежде всего, отмывка флюсов после пайки, отмывка загрязнений на платах, промывка вспомогательного инструмента и т.п. Ванны должны обеспечить требуемую температуру отмывки, возможность использования ультразвука с частотой 35-40 кГц, возможность сушки, иметь требуемые габариты для установки изделия, соответствовать требуемому типу производства и т.п. Сборник стандартов по отмывке IPC-M-108 содержит рекомендации по технологии отмывки.

7. Влагозащита. Традиционно, влагозащита применяется по требованию заказчика для защиты полученной платы от климатических факторов, также как и на платах с объемным монтажом. В установках для влагозащиты на платы методом окунания наносится покрытие: акриловое, полиуретановое, эпоксидное, силиконовое, полиамидное, фоторезистивное и др. с последующей сушкой. Подобное оборудование также оснащено интеллектуальными системами управления для автоматизированного управления технологическим процессом.

8. Контроль качества плат. Стандарт IPC-A-6100 является основным документом по оценке качества электронных сборок. Визуальный контроль качества производится с увеличительной системой, например, стереоувеличитель MANTIS Elite.

Качество паек возможно проверить рентгеновским контролем. Установка Nanomelx – это система рентгеновского контроля паяных соединений печатных узлов и внутреннего состояния интегральных микросхем ультравысокого разрешения с томографическими возможностями.

Увеличение геометрическое не менее 2130х, увеличение полное не менее 13300х, зона сканирования 610х510мм, угол поворота 0 – 360 град. Не следует забывать про технику безопасности.

9. Настройка и контроль. Данная операция означает проверку на функционирование и, при необходимости, регулировка или замена компонентов. Проверка на функционирование производится на установках тестового контроля: APT-9411, SPEA-3030, SPEA 4040, COMPTTEST серии

МХ и др. Задание программы по тестированию осуществляется с помощью программного обеспечения.

Для ремонта и выпайке компонентов используются ремонтные станции, например, фирмы НАККО с отсосом паяльной пасты или устройства других фирм.

#### 10. Периодические испытания.

По требованию заказчика и в зависимости от типа производства могут проводиться периодические испытания, включающие в себя механо-климатические испытания по специальной программе.

Кроме основного технологического оборудования предлагается и большой выбор вспомогательного оборудования: средства для защиты от статического электричества, специальные столы, специальная одежда, конвейерные системы, установки по маркированию изделий, шкафы для хранения плат, установки для контроля температуры и содержания пыли в помещении, измерительная аппаратура и многое другое.

#### Контрольные вопросы.

1. Сущность поверхностного монтажа.
2. Виды ЭРЭ типа SMD.
3. Преимущества и недостатки поверхностного монтажа.
4. Пайка элементов типа SMD, в том числе и бессвинцовистая пайка.
5. Оборудования для производства плат поверхностным монтажом.

## 7. Типовые технологические процессы поверхностного монтажа

Типовые технологические процессы зависят от типа производства и, соответственно, зависят от применения оборудования. Оборудование может быть с ручным выполнением работ, с использованием полуавтоматов и с применением автоматической линии. Ниже приведен пример типового технологического процесса для серийного типа производства с использованием полуавтоматов.

К производственному помещению предъявляются жесткие требования по поддержанию стабильного климата: - температура  $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , влажность (30 – 60)%, минимальное содержание пыли в  $1 \text{ см}^3$ , запрещается содержание цветов и др. Это требует установки специальных устройств по поддержанию данных требований.

Производственное оборудование отличается повышенными требованиями по обеспечению требуемой точности выполняемых работ. Например, паяльная паста должна покрывать не менее  $2/3$  площади контактной площадки, а установка ПМИ должна производиться так, чтобы выводы ПМИ не смещались относительно контактных площадок более чем на 25% от ширины вывода. Вспомним, что установлено 5 классов точности ППМ, по которым ширина проводника может быть от 0,75мм до 0,1мм. Таким образом, погрешность оборудования должна быть не более 0,18 - 0,025мм. Оборудование должно иметь хорошее заземления с целью защиты от статического электричества. Управление оборудованием должно обеспечивать автоматизацию выполнения работ в зависимости от выполняемой индивидуальной схемы и возможность встраивания в автоматическую линию.

Обязанности работника весьма жестко оговорены в технологическом процессе. Прежде всего, необходимо точно выполнять работы с выдержкой времени, с соблюдением температурных режимов и влажностью, с обеспечением мер по снижению статического электричества, строго соблюдать все рекомендации и инструкции по эксплуатации оборудования. Работник обязан выполнять работы с антистатическим браслетом, применять антистатические инструменты и т.п. Это требует повышенной ответственности за выполняемые работы.

Каждая плата должна быть отработана на технологичность.

-Прежде всего, необходимо уточнить технические характеристики платы и, в первую очередь, габариты с целью определения возможности изготовления платы на данном производстве.

-Оценка технологичности конструкции с точки зрения обеспечения качества платы при выполнении технологического процесса.

-Оценка технологичности с точки зрения обеспечения требуемой точности установки и пайки платы.

-Оценка качества пайки на внешних сторонах выводов по отношению к контактным площадкам и др. требования.

Контрольные вопросы.

1. Требования к производственному помещению.
2. Требования к производственному оборудованию.
3. Обязанности работника при выполнении работ по поверхностному монтажу.
4. Содержание типового технологического процесса.
5. Отработка конструкции ППМ на технологичность.

												4	1
СП6ГИТМО (ТУ)				КТПС.758710.001				Гр. 4165					
Блок управления двигателем переменного тока													
В	Цех	Уч.	РМ	Опер	Код, наименование операции								
Г	Обозначение документа												
Д	Код, наименование оборудования												
Е	СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпз	Тшт		
Н	Наименование детали, сборочной единицы или материала												
П	Обозначение (код)						АП	ЕВ	ЕН	КИ	Н. расх.		
01	Соблюдать требования по технике безопасности, инструкция №__ от ____.												
В02	005 Подготовительная												
Д 03	Рабочее место комплектовщика												
О 04	Скомплектовать ЭРЭ в ориентированном виде (кассеты, рулоны, контейнеры и др.)												
О 05	в расчете на партию изделий соблюдая технические требования												
В 06	010 Упаковочная												
Д 07	Рабочее место комплектовщика												
О 08	Вскрывать вакуумную упаковку ПМИ только в помещении с контролируемой температурой и влажностью (22±2°C, 30-60%) непосредственно перед комплектованием												
О 09	После вскрытия контейнера ПМИ провести его повторную герметизацию с удалением воздуха из упаковки с помощью пылесоса и запайкой в упаковочный мешок ( в мешок												
О 10	должен быть вложен индикатор влажности). Время пролеживания ПМИ со вскрытой упаковкой в условиях влажности, превышающей 20% не более 5 часов. Хранить ПМИ												
О 11	Со вскрытой вакуумной упаковкой в шкафу сухого хранения при влажности ≤ 20%.												
Т 12	Приспособление для запайки, гигрометр, часы с точностью хода ±1 мин., пылесос, браслет антистатический, пинцет антистатический.												
В 13	015 Комплектовочная												
Д 14	Рабочее место комплектовщика												
О 15	Комплектовать ПМИ в отмаркированные ячейки для полуавтомата установки элементов М10 согласно перечню элементов на плату.												
Т 16	Браслет антистатический, пинцет антистатический, ячейки для полуавтомата установки элементов М10												
О 17	020 Обезжиривание												
Д 18	Рабочее место монтажника												
О 19	Протереть плату тампоном, смоченным в спирто-нефрасовой смеси 1:1 и отжатым с двух сторон. Сушить плату при температуре (15-25)°C в течение 5-10 мин. Уложить												
О 20	плату в специальную тару.												
Т 21	Бязь х/б отбеленная, перчатки х/б, часы с точностью хода ±1 мин., гигрометр, специальная тара.												
О 22	025 Сушка												
Д 23	Сушильный шкаф												
О 24	Сушить платы при температуре (90-110)°C в течение 1,5 – 2 часов или (55-75) °C в течение 3-4 часов для удаления влаги, предотвращая образования пор, раковин, пустот												
						Разраб.							
						Проверил							
						Н. контр.							
МК	МАРШРУТНАЯ КАРТА Технологического процесса сборки												

						4		2	
СП6ГИТМО (ТУ)		КТПС.758710.001				Гр. 4165			
Блок управления двигателем переменного тока									
В	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код,	наименование операции			
Г	Обозначение документа								
Д	Код, наименование оборудования								
Е	СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт
Н	Наименование детали, сборочной единицы или материала								
П	Обозначение (код)					АП	ЕВ	ЕН	КИ
О 01	в паяных соединениях. Уложить платы в тару.								
Т 02	Х/б перчатки, регулятор температуры сушильного шкафа, часы с точностью хода $\pm 1$ мин., тара, специальное приспособление.								
В 03	030 Нанесение паяльной пасты								
Д 04	Устройство трафаретной печати SPR-40								
О 05	<b>Внимание!</b> Использовать паяльную пасту состава 62% олова, 36% свинца, 2% серебра. Хранить паяльную пасту при температуре (5-10)°С. Перед работой выдержать паяль-								
06	ную пасту при температуре (20 $\pm$ 5) °С течение 6-8 часов для равномерного прогрева. Непосредственно перед нанесением паяльную пасту тщательно перемешать в течение								
07	1-2 мин. стеклянной палочкой. Установить в устройство трафаретной печати SPR-40 трафарет в соответствии с индивидуальным тех.процессом. Протереть трафарет с двух								
08	сторон, ракель и печатную доску SPR-40 тампоном, смоченным спирто-нефрасовой смесью 1:1 и отжатым, и дать высохнуть в течение 5-10 мин. при температуре (17-25) °С								
09	Визуально проверить качество платы. Контактные площадки должны быть блестящие, без следов окисления. Расположить печатную плату в установочной рамке между нап-								
10	равляющими зажимами печатной доски. Совместить контактные площадки платы с отверстиями трафарета с помощью рукояток для регулировки осей X, Y. Нанести слой								
11	паяльной пасты на трафарет между двумя лезвиями ракеля (высота валива паяльной пасты примерно 2мм). Установить давление ракеля от 20 до 30 psi. Осторожно, потянув								
12	за рукоятку ракеля, нанести паяльную пасту на плату. Желательно нанести пасту с помощью одного прохода ракеля для предотвращения вытеснения пасты за пределы								
13	Контактных площадок. При неудовлетворительном нанесении пасты на контактные площадки элементов допускается повторный проход ракеля в обратном направлении.								
14	<b>Внимание!</b> Пролеживание плат с некачественно нанесенной пастой запрещено. Снять печатную плату и уложить в тару. Плата с нанесенной паяльной пастой должна быть								
15	запаяна в течение 4 часов.								
Т 16	Бязь х/б отбеленная, перчатки х/б, гигрометр, часы с точностью хода $\pm 1$ мин., тара, палочка стеклянная, пластмассовый стаканчик, холодильник.								
В 17	035 Контрольная								
Д 18	Рабочее место монтажника								
О 19	Контроль качества нанесения паяльной пасты производить визуально с использованием системы оптического контроля MANTIS.								
Т 20	Х/б перчатки, система оптического контроля MANTIS, лупа с четырехкратным увеличением, тара.								
						Разраб.			
						Проверил			
						Н. контр.			
МК		МАРШРУТНАЯ КАРТА Технологического процесса сборки							

						4		3	
СПбГИТМО (ТУ)		КТПС.758710.001				Гр. 4165			
Блок управления двигателем переменного тока									
В	Цех	Уч.	РМ	Опер	Код,	наименование операции			
Г	Обозначение документа								
Д	Код, наименование оборудования								
Е	СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт
Н	Наименование детали, сборочной единицы или материала								
П	Обозначение (код)					АП	ЕВ	ЕН	КИ
В 01	040 Установка ПМИ								
Д 02	Полуавтомат для установки ПМИ М10								
О 03	Установить плату в зажимы полуавтомата М10. Установить ПМИ на плату, используя программу, заложенную в память полуавтомата М10 по индивидуальному тех. процессу								
О 04	Извлечь плату из зажимов. Платы не переворачивать, не трясти и не класть сверху на них другие платы.								
Т 05	Браслет антистатический, пинцет антистатический.								
В 06	045 Контрольная								
Д 07	Рабочее место монтажника								
О 08	Провести визуальный контроль качества установки ПМИ. В случае обнаружения дефектов ПМИ (механических повреждений корпусов или выводов) заменить ПМИ								
О 09	новым с помощью пинцета.								
Т 10	Пинцет антистатический, браслет антистатический, система оптического контроля MANTIS, лупа 4-х кратная.								
В 11	050 Оплавление паяльной пасты								
Д 12	Печь конвекционного оплавления RO-400FC								
О 13	Уложить плату на конвейер RO-400FC. Выбрать профиль оплавления в соответствии с индивидуальным тех. процессом. Запустить конвейер. Уложить плату в тару.								
Т 14	Браслет антистатический, тара.								
В 15	055 Контрольная								
Д 16	Рабочее место монтажника								
О 17	Контроль качества паяных соединений производить визуально с использованием системы MANTIS. Паяные соединения должны быть без избытков припоя.								
Т 18	Браслет антистатический, пинцет антистатический, система оптического контроля MANTIS, тара, лупа 4-х кратная.								
В 19	060 Промывочная								
Д 20	Виброустановка								
О 21	Промывку плат после пайки проводить в ванне со спирто-нефрасовой смесью 1:1 (допускается содержание канифоли 0,25%) в течение 6 минут. Уложить платы в тару.								
О 22	<b>Внимание!</b> Отмывка должна быть произведена в течение 12-15 часов после пайки.								
						Разраб.			
						Проверил			
						Н. контр.			
МК		МАРШРУТНАЯ КАРТА Технологического процесса сборки							

						4		3	
СПбГИТМО (ТУ)		КТПС.758710.001				Гр. 4165			
Блок управления двигателем переменного тока									
В	Цех	Уч.	РМ	Опер	Код,	наименование операции			
Г	Обозначение документа								
Д	Код, наименование оборудования								
Е	СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт
Н	Наименование детали, сборочной единицы или материала								
П	Обозначение (код)					АП	ЕВ	ЕН	КИ
В 01	040 Установка ПМИ								
Д 02	Полуавтомат для установки ПМИ М10								
О 03	Установить плату в зажимы полуавтомата М10. Установить ПМИ на плату, используя программу, заложенную в память полуавтомата М10 по индивидуальному тех. процессу								
О 04	Извлечь плату из зажимов. Платы не переворачивать, не трясти и не класть сверху на них другие платы.								
Т 05	Браслет антистатический, пинцет антистатический.								
В 06	045 Контрольная								
Д 07	Рабочее место монтажника								
О 08	Провести визуальный контроль качества установки ПМИ. В случае обнаружения дефектов ПМИ (механических повреждений корпусов или выводов) заменить ПМИ								
О 09	новым с помощью пинцета.								
Т 10	Пинцет антистатический, браслет антистатический, система оптического контроля MANTIS, лупа 4-х кратная.								
В 11	050 Оплавление паяльной пасты								
Д 12	Печь конвекционного оплавления RO-400FC								
О 13	Уложить плату на конвейер RO-400FC. Выбрать профиль оплавления в соответствии с индивидуальным тех. процессом. Запустить конвейер. Уложить плату в тару.								
Т 14	Браслет антистатический, тара.								
В 15	055 Контрольная								
Д 16	Рабочее место монтажника								
О 17	Контроль качества паяных соединений производить визуально с использованием системы MANTIS. Паяные соединения должны быть без избытков припоя.								
Т 18	Браслет антистатический, пинцет антистатический, система оптического контроля MANTIS, тара, лупа 4-х кратная.								
В 19	060 Промывочная								
Д 20	Виброустановка								
О 21	Промывку плат после пайки проводить в ванне со спирто-нефрасовой смесью 1:1 (допускается содержание канифоли 0,25%) в течение 6 минут. Уложить платы в тару.								
О 22	<b>Внимание!</b> Отмывка должна быть произведена в течение 12-15 часов после пайки.								
						Разраб.			
						Проверил			
						Н. контр.			
МК		МАРШРУТНАЯ КАРТА Технологического процесса сборки							

						4	4
СПбГИТМО (ТУ)		КТПС.758710.001			Гр. 4165		
Блок управления двигателем переменного тока							
В	Цех	Уч.	РМ	Опер	Код,	наименование операции	
Г	Обозначение документа						
Д	Код, наименование оборудования						
Е	СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН
						ОП	Кшт
							Тпз
Н	Наименование детали, сборочной единицы или материала						
П	Обозначение (код)				АП	ЕВ	ЕН
						КИ	Н. расх.
Т 01	Браслет антистатический, тара.						
В 02	065 Сушка						
Д 03	Сушильный шкаф						
О 04	Сушить плату при температуре (60±6)°С в течение 1 часа. Уложить плату в тару. Время начала и конца сушки фиксировать в журнале.						
Т 05	Браслет антистатический, тара, прибор КСМ-4 ГОСТ 9736-91						
В 06	070 Контрольная						
Д 07	Рабочее место контролера						
О 08	Контроль качества паяных соединений производить визуально с использованием системы оптического контроля MANTIS. Форма паяных соединений ПМИ должна						
09	Соответствовать требованиям монтажа без избытка припоя. Поверхность галтелей по всему периметру паяного шва должна быть изогнутой, непрерывной, гладкой,						
10	глянцевой или светло матовой без темных пятен и посторонних включений, не иметь пустот и раковин. Недопустимо наличия шариков припоя, перемычек, непропая.						
11	Контроль качества установки ПМИ производить согласно чертежам или операционным эскизам. При контроле паяных соединений приложение механических						
12	усилий недопустимо. Допускается боковое смещение корпуса компонента при установке и после пайки относительно контактных площадок не более 25% ширины						
13	вывода. Допускается незначительное затекание припоя вверх по выводу компонента, однако, касание корпуса компонента припоем недопустимо. Не допускается смещение						
14	Вывода компонента за пределы контактной площадки.						
15	Уложить платы в тару.						
Т 16	Браслет антистатический, пинцет антистатический, система оптического контроля MANTIS, лупа 4-х кратная, тара, перчатки х/б.						
	Разраб.						
	Проверил						
	Н. контр.						
МК	МАРШРУТНАЯ КАРТА Технологического процесса сборки						

## 8. Производство электронных изделий и информационное обеспечение

Разработчик электронных изделий вправе выбрать любой вид электромонтажа или сочетание различных видов для решения поставленной задачи. Разработчик также может определить и соответствующее производство, одно или несколько разных производств.

В настоящее время на производствах имеется достаточно большое разнообразие оборудования для электромонтажа в зависимости от типа производства. Но!

«Время летит быстро, все быстрее, еще быстрее. Все вокруг стремительно меняется, быстрее, еще быстрее. Вопросы, на которые вчера давал ответ не задумываясь, со стопроцентной уверенностью, сегодня заставляют подумать, и ответы на них уже звучат не очень убедительно. Десять лет назад на вопрос: «можно ли использовать автомат установки поверхностного монтажа в мелкосерийном производстве?» я бы не задумываясь ответил: «Нет. Вы никогда не окупите вложенных средств». Пять лет назад для ответа на тот же самый вопрос я бы уточнил ряд деталей, в том числе количество компонентов на плате, объем выпуска в год, количество смен, частоту переналадок. Потом взял бы калькулятор и, зная требуемую и реальную производительность и коэффициент загрузки автомата, путем нехитрых вычислений нашел бы ответ, но для принятия окончательного решения необходимо просчитать срок окупаемости». На сегодняшний день тот же самый вопрос заставляет задуматься и порождает ряд других вопросов. А как вручную установить компонент размером 1,0 x 0,5 мм, 0,5 x 0,3 мм, 0,3 x 0,1 мм. Это то, что уже есть сегодня. А что будет завтра? Как установить вручную микросхемы с шагом 0,5, 0,4, 0,3 мм, с количеством выводов 200, 300, 500?.. А микросхемы с выводами под корпусом? А как успевать отрабатывать заказы, если заказчику, как всегда, нужно «вчера» и т.п.» (журнал «Живая электроника», 2006).

Это была эпоха интегрированных компаний с обеспечением полного цикла производственного процесса от заготовительных до сборочных операций. Цикл разработки изделий и подготовки производства мог длиться годами.

Процесс пошел. И сразу вопрос: как же так? Огромная корпорация, имеющая почти неограниченные ресурсы, может быть неконкурентоспособна? Да еще в области высоких технологий, требующих огромных вложений в разработки и исследования? Никаких секретов здесь нет.

**Объем информации в каждой области знаний достиг такого уровня, что просто невозможно быть лидером во всем. Минимально экономически эффективная мощность производства в отдельных секторах стала столь велика, что мало кто может обеспечить полную загрузку.**

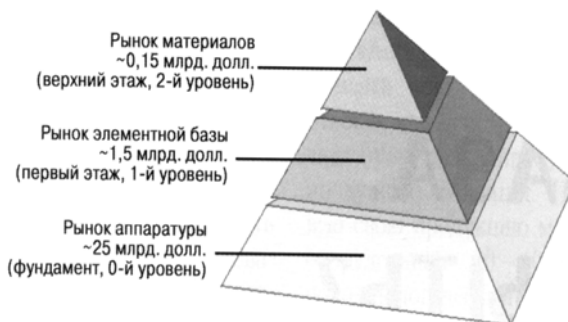


Рис. 8.1.

Почему мы не покупаем грузовик, чтобы возить на дачу и обратно вещи два раза в сезон? Потому что стоит он дорого, и его проще нанять. Здесь произошло то же самое.

На рис. 8.1. представлено распределение получаемых доходов от различных технологических переделов электронной техники. Как видим, основные средства приходится на реализацию аппаратуры, т.е. на реализацию готовых изделий электронной техники и значительно меньше на производство компонентов. Это связано и с применением дорогостоящего оборудования для производства электронных изделий.

Стоимость единицы падает пропорционально объему производства, да еще и весьма нелинейно. Один современный завод делает в месяц больше микросхем, чем потребляется во всей России за год. И строить меньший завод просто невыгодно. Хорошо сработавшийся коллектив опытных профессионалов выдает разводки сложнейших плат так быстро, что непонятно, чем бы его еще занять. Тем более, что его материальная база стоит дорого, а люди — еще дороже. И эти люди уже сделали большинство ошибок, которые не повторяют. Опыт — не купишь.

Так, в докладе начальника управления Ю. Борисова, сделанном на конференции «Концепция развития радиоэлектронного комплекса, проблемы и задачи», было сказано, что в 2004 г. на 300 предприятиях, подведомственных РЭП и СУ, занято 362,4 тыс. человек, и общий объем произведенной продукции в 2004 г. составил в сумме около 100 млрд. рублей (то есть примерно \$3,5 млрд.). Таким образом, средняя выработка на одного работника не превышает (\$10 тыс.) но ставится задача увеличения этой цифры до \$25 — \$30 тыс. Хочется отметить, что для западных компаний электронного профиля аналогичные показатели не бывают ниже \$100 тыс.\$. Для примера: в Газпроме трудится 330 тыс. человек и объем реализации в 2004 г. составил \$33,9 млрд. — вот главная причина «забвения» электроники.

И так — везде. Постепенно сложился новый порядок, в котором каждый занимается своим делом. Если и есть по-прежнему крупные корпорации, то это уже не те монолитные монстры, это конгломерат специализированных компаний, объединенных общим логотипом и капиталом. Теперь каждое подразделение занимается своим делом не только для «внутренних нужд», но и для любого желающего. Вы можете заказать разработку и производство чипов у IBM. Или только разработку. Или только производство. Вы можете заказать разработку чипов, которые будут конкурировать с чипами от IBM, это не проблема.

Допустим, вы поймали Большую Удачу. Вашу продукцию хватают как горячие пирожки, и тут вы понимаете, что не можете произвести столько, сколько нужно, чтобы удовлетворить спрос. Что делать? Проводить модернизацию производства? На это нужны деньги, время, но это невозможно сделать.



Рис. 8.2. Одно из предприятий по сборке ППМ с ПМИ.

Напоминаю, что каждый автомат способен устанавливать более 20.000 ПМИ в час. Только производство электроники массовым типом производства может обеспечить быстрое и качественное изготовление изделий и иметь средства для обновления технологии и замены оборудования, но нужно получать и получать новые заказы. Так и появилось контрактное производство. Изначально были крупные корпорации, которые замыкали в себе весь цикл от постановки задачи для исследований до обслуживания проданной продукции. Это была эпоха расцвета интегрированных компаний, «закрытых» решений и фирменных стандартов. Цикл разработки оборудования мог длиться годами. Прогресс тек медленно и неспешно, компьютеры были огромны, и сама мысль, что в компьютере одного производителя может появиться плата другого, казалась кощунственной.

Со временем оказалось, что «универсальные гении» — редкость не только среди людей, но и среди компаний, и делать все самым лучшим образом — задача непосильная. Закату «эпохи натурального хозяйства» положили начало компании, которые не захотели мучительно расти, а решили взять рынок сразу, держа в руках ключевые процессы и отдавая все остальное на сторону.

Инвестируя больше на начальном этапе в дополнительные питатели, устройства смены питателей (ЧгоПеуз), программное обеспечение для сбалансирования линии, правильно организуя процесс сборки, становится возможным окупить первоначальные инвестиции на 30—40% быстрее.

В развитых странах давно существует отдельный сервис по технологическому аудиту. Вы можете обратиться в компанию, которая проведет комплексное обследование вашего производства и выдаст список рекомендаций, которые гарантированно приведут к повышению эффективности работы предприятия.

В нашей стране этот сервис еще зарождается. Пока его предлагает только компания Ostec.

Понятие «Контрактное производство» означает существование фирмы, которая берет заказы на изготовление уже кем-то разработанных электронных схем и выполняет заказы качественно и в срок. Но, это не означает, что у данной фирмы есть собственное

производство. Так, существуют компании, которые осуществляют свою деятельность в области брендинга, т.е. производят различную продукцию под своим именем, но не обладают собственными производственными мощностями. Такая ситуация стала возможной из-за развития информационного обеспечения и Интернет - технологиями.

Информационное обеспечение производству электронной техники прошло путь от выполнения прикладных, вспомогательных задач до организации производственной цепочки от заказчика до производителя за счет развития Интернет. «Ситуация, когда микросхема разработана в Калифорнии, корпусирована и испытана на Филиппинах, впаена на китайской линии поверхностного монтажа в сотовый телефон, разработанный в Индии, а этот сотовый телефон продан студенту в Вологде, — типична донельзя».

Связь заказчиков и производителей поддерживается институтом субконтрактинга: [www.subcontract.ru](http://www.subcontract.ru), [www.spb.subcontract.ru](http://www.spb.subcontract.ru), [www.lenoblast.subcontract.ru](http://www.lenoblast.subcontract.ru). В настоящее время все больше распространяется возможность выполнять работы на дому в любой стране, достаточно посмотреть сайт [free-lance](http://free-lance.ru). Это еще раз показывает о возможностях каждого исполнителя в выполнении работы.

В конце концов, понятие «электронная промышленность» как определение сферы деятельности перестает соответствовать сложившемуся на рынке распределению ролей и может произойти ситуация, когда это будет относиться только к контрактным производителям электроники.

Важным фактором является и совершенствование технологического процесса электромонтажа. Так, например, в соответствии с решением Европейского Союза с 1 июня 2006 года производители электронных изделий должны отказаться от применения в производстве материалов, содержащих свинец и т.п.

В настоящее время имеется достаточное количество предприятий, как отечественных, так и зарубежных, осуществляющих контрактное производство. Примеры по Санкт-Петербургу: АБРИС RCM group [www.npf-abris.ru](http://www.npf-abris.ru), Эрикон [www.ericson.ru](http://www.ericson.ru), Многослойные печатные платы [www.zaompp.spb.ru](http://www.zaompp.spb.ru), Пантес [www.pantes.ru](http://www.pantes.ru), СКБ «КАВЕО» [www.kaveo.ru](http://www.kaveo.ru) и др. Крупное контрактное производство фирмы Pacific microelectronics inc. расположено на Тайване, имеет собственное производство в количестве около 50 автоматов по установке ЭРЭ открыло свои филиалы в Москве и Санкт-Петербурге и готовы оказать полный комплекс услуг в области производства и монтажа печатных плат: [www.pacificm.ru](http://www.pacificm.ru), [spb@fullmarkspcb.com](mailto:spb@fullmarkspcb.com).

Информационное обеспечение означает использование компьютерной техники и соответствующего программного обеспечения для решения конкретных задач в производстве электромонтажа. Задача весьма сложная и решается постепенно. Для каждого вида электромонтажа разрабатываются отдельные системы программного обеспечения.

Компания, пакет	Описание пакета
Mentor Graphics Expedition PCB	Предтопологический анализ целостности сигналов. Интерактивная и автоматическая трассировка с учётом требований высокочастотных плат. Единая среда, позволяющая с помощью модуля ICX моделировать наводки в проводниках.
Mentor Graphics PADS PowerPCB	Хороший автотрассировщик BlaseRouter. Пакет имеет модули предтопологического и посттопологического анализа.
Cadence PCB Design Studio	Пакет PCB Design Studio предоставляет полный набор программных средств для сквозного проектирования ПП. На всех этапах (от создания схемы устройства до его выпуска в производство) понадобятся только инструменты Studio.
Cadence OrCAD	Orcad Union Suite включает в себя 4 самых нужных и современных продукта для обеспечения дизайнеров всеми необходимыми им утилитами и программами в одном пакете. Orcad Union Suite 2002 включает в себя Orcad Capture, Pspice A/D Basics, Orcad Layout и SPECCTRA 4U
Cadence Allegro	Мощное решение для выпуска сверхплотных и многослойных печатных плат.
Altium Altium Designer	Этот пакет обеспечивает сквозной цикл проектирования смешанных аналого-цифровых печатных плат с использованием программируемой логики фирм Xilinx и Altera. Весь инструментарий реализован на базе интегрированной среды проектирования Design Explorer, работающей под управлением операционной системы Windows XP.
Zuken E3.series	Система включает в себя 3 модуля: <b>E3.series</b> –Кабель (разводка проводных и кабельных соединений электрических и электронных изделий); <b>E3.series</b> –Схема (средства разработки электротехнического проекта – принципиальные схемы, схемы подключений);

	<b>E3.series</b> —Компоновка (проектирование монтажных панелей и шкафов с выполнением внутренней разводки);
AutoDesk AutoCAD Electrical 2008	Проектирование в области электротехники и автоматики, а также схем кабельных и жгутовых соединений.
Dassault Systemes Catia V5	Circuit Board Design (CBD) — автоматизированное проектирование электронной и машиностроительной продукции, включает PCB design для проектирования ПП.
Cadsoft EAGLE Layout Editor	Редактор электронных схем и трассировка ПП (Linux!)
Number One Systems Number One Systems	Easy-PC for Windows — интегрированная система разработки печатных плат, включает в себя редактор схем, программу разводки ПП, подключаемые базы данных, средства создания новых библиотек и др.; Easy-Spice — программа для SPICE моделирования; Pro-Router — автоматическая трассировка ПП; Easy-PC Options and Libraries — дополнительные модули и библиотеки для Easy-PC for Windows;

В области поверхностного электромонтажа имеется значительное применение систем программного обеспечения ввиду использования оборудования с интеллектуальным управлением. Такое управление означает использование системы управления обеспечивающей контроль выполняемых работ с целью обеспечения общей задачи.

В последнее время появилось достаточно большое количество оборудования для установки SMD с интеллектуальным управлением, т.е. с наличием компьютера в системе управления для реализации требуемой программы действий. Такими установками являются: Mechatronika M-60. серия MYDATA. серия MHPS. SM-321. SM-310. ECM LUNA 600. серия M2.M3.M4. CSM 7100. серия FLX 2030. FLX 2060, HLX и др.

Основное оборудование по установке электрорадиоэлементов представляет собой сложное мехатронное устройство.

В настоящее время торговля данным оборудованием осуществляется, в основном, тремя фирмами в РФ: Ostec, Универсалприбор, Диполь.

Например такое оборудование представлено рядом зарубежных фирм: м-60 и др. Данное оборудование снабжено ПК и имеет свое, специфическое программное обеспечение. В Росс используется, в основном, системы Orcad и PCAD, которые совместимы с указанным оборудованием. Однако, представители фирмы Cadence утверждают, что данные программы не поддерживаются, а они являются правопреемниками данных программ и в 60 странах мира поддерживают пакет Allegro для разработки разводки электросхем на печатных платах. В приведенной таблице приведены различные программы, которые в какой-то мере используются при разработке печатных плат.

Как видно, отдельные решения не дают возможности проводить разработку электромонтажа и прибора в целом в одной информационной среде.

#### Контрольные вопросы.

1. Какой тип производства преобладает в производстве электроники.
2. Понятие «Контрактное производство».
3. Задачи информационного обеспечения производства электроники.
4. Субконтракт и Интернет.
5. Как заказать изготовление электронного изделия собственной разработки.

## 9. Литература

1. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры. Учебник для вузов. Под общ. Ред. В. А. Шахнова. М. Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005, 568с.
2. Ушаков Н.Н. технология производства ЭВМ. – М.: Высшая школа, 1991.
3. Единая система конструкторской документации: справочное пособие. – М.: Издательство стандартов, 1989.
4. Единая система технологической документации: Справочное пособие. – М.: Издательство стандартов, 1992.
5. Соболев С.Ф. Разработка технологических процессов сборки приборов оптоэлектромехатроники. Л. ЛИТМО, 1992.
6. Журнал «Живая электроника», 2007, отраслевой деловой ежегодник.
7. Журнал «Производство электроники», 2007, №№1-8.
8. Медведев А.И. Печатные платы. Конструкции и материалы. Серия «мир электроники», Издательство ФИЗМАТЛИТ, 2005.
9. Савельев М.В. Конструкторско-технологическое обеспечения производства ЭВМ. Изд-во Высшая школа, 2001.
10. Гусев А.М., Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника и микропроцессорная техника. Учебник для студентов вузов. Издательство Академический проект, Высшая школа, 2006, 799стр.
11. Правила устройства электроустановок. - СПб.: Издательство ДЕАН, 2001.-928 с.

## Оглавление

Введение.....	3
1. Основные положения .....	4
2. Методы обеспечения точности сборки, настройка, контроль, испытания, нормирование.....	11
3. Объемный монтаж .....	17
4. Типовые технологические процессы объемного монтажа.....	23
5. Печатный монтаж и типовые технологические процессы.....	34
6. Поверхностный монтаж.....	46
7. Типовые технологические процессы поверхностного монтажа.....	59
8. Производство электроники и информационное обеспечение электромонтажа.....	69
Литература .....	71



В 2007 году СПбГУ ИТМО стал победителем конкурса инновационных образовательных программ вузов России на 2007–2008 годы. Реализация инновационной образовательной программы «Инновационная система подготовки специалистов нового поколения в области информационных и оптических технологий» позволит выйти на качественно новый уровень подготовки выпускников и удовлетворить возрастающий спрос на специалистов в информационной, оптической и других высокотехнологичных отраслях экономики.

---

## **КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**

Кафедра технологии приборостроения относится к числу ведущих кафедр института со дня его основания в 1931 году. Тогда она называлась кафедрой механической технологии и возглавлялась известным ученым в области разработки инструмента профессором А.П. Знаменским. Позже она была переименована в кафедру технологии приборостроения.

За время своего существования кафедра выпустила из стен института более тысячи квалифицированных инженеров, более сотни кандидатов и докторов наук. В разные годы ее возглавляли известные ученые и педагоги профессора Николай Павлович Соболев и Сергей Петрович Митрофанов.

В настоящее время кафедра осуществляет выпуск специалистов по специальностям "Технология приборостроения" (инженер-технолог, инженер-технолог-менеджер, инженер-технолог по искусственному интеллекту в приборостроении) и "Системы автоматизированного проектирования" (инженер-системотехник). На кафедре ведется подготовка бакалавров, магистров, инженеров и аспирантов по названным специализациям силами семи профессоров и девяти доцентов.

Основными научными направлениями кафедры являются: научные основы организации группового производства (руководители: С.П. Митрофанов, Д.Д. Куликов, Б.С. Падун); автоматизация технологической подготовки производства (руководители: Д.Д. Куликов, Б.С. Падун, Е.И. Яблочников); регуляризация микрорельефа поверхностей деталей машин и приборов (руководители: Н.Д. Фролов, Ю.П. Кузьмин); управление функциональными свойствами поверхностного слоя деталей (руководитель: В.А. Валетов). Кафедра имеет тесные научные и учебные связи с Университетами Германии, Франции, Китая. Наиболее способные студенты и аспиранты проходят стажировку по интересующим их проблемам в Техническом университете г. Ильменау (Германия).

Соболев Сергей Федорович

В авторской редакции

Технология электромонтажа

Редакционно-издательский отдел Санкт-Петербургского государственного  
университета информационных технологий, механики и оптики  
Заведующая РИО Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати 12.03.2008  
Тираж 50 экз. Заказ № 1132  
Отпечатано на ризографе