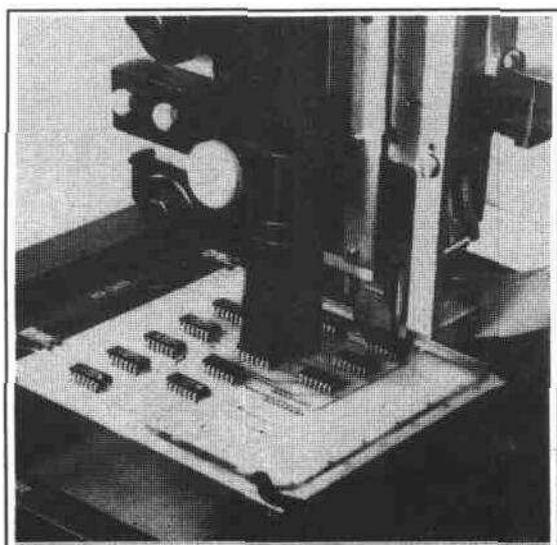


***В. А. Аанин***

# ТЕХНОЛОГИЯ

*сборки, монтажа и контроля в производстве  
электронной аппаратуры*



***Минск 1997***

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ  
Кафедра современных электронных технологий

В.Л. Ланин

ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ, МОНТАЖА И КОНТРОЛЯ В  
ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Рекомендовано Научно-методическим центром учебной книги  
и средств обучения Министерства образования Республики  
Беларусь в качестве учебно-методического пособия

для студентов специальностей

"Проектирование и производство РЭС"

"Проектирование и технология ЭВС"

"Электронно-оптическое аппаратостроение"

"Медицинская электроника

высших учебных заведений

Минск 1997

УДК 621.396.6.002

**Ланин В.Л.**

**Технология сборки, монтажа и контроля в производстве электронной аппаратуры / Бел. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Мн.: Инпредо, 1997. – 64 с.**

**ISBN 985-63-45-06-5**

Рассмотрены методы сборки и монтажа в производстве электронной аппаратуры, технологическое оборудование, гибкие производственные модули, а также методы контроля и диагностики электронных блоков.

Предназначено для студентов специальностей "Проектирование и производство РЭС", "Проектирование и технология ЭВС", "Электронно-оптическое аппаратостроение". "Медицинская электроника", а также может быть полезно студентам других специальностей и аспирантам при изучении вопросов сборки и монтажа электронной аппаратуры.

Ил. 46, табл. 15 . список лит. —9 назв.

Рецензенты: доктор технических наук Л.М. Лыньков  
кандидат технических наук В.А. Емельянов

**ISBN 985-63-45-06-5**

© Ланин В. Л., 1997  
© ООО «Инпредо», 1997

## ВВЕДЕНИЕ

В сборочно-монтажном производстве электронной аппаратуре (ЭА) задачи освоения новых технологий и автоматизации производства особенно актуальны, так как до сих пор ручной труд занимает значительную долю в производстве. Применение новых технологических процессов и средств автоматизации позволит до 10 раз увеличить производительность труда за счет снижения трудоемкости изготовления.

При функционально-блочном принципе конструирования ЭА основным элементом конструкции стали блоки на печатных платах (ПП), называемые типовыми элементами сборки (ТЭС). В процессе автоматизации и механизации производства ЭА можно отметить несколько этапов. Первым было внедрение в начале 60-х годов групповых способов пайки погружением и волной припоя в массовом производстве бытовой РЭА.

В конце 70-х годов появились светомонтажные столы, обеспечивающие программирование ручной сборки электрорадиоэлементов (ЭРЭ) и позволившие привлечь к выполнению сборочных операций малоквалифицированных рабочих. В дальнейшем были разработаны светолучевые головки с микропроцессорным управлением, новые типы накопителей, программные и аппаратные средства, что позволило расширить сферу применения светомонтажных столов, в том числе в условиях гибких производственных систем (ГПС). Параллельно с внедрением универсальных светомонтажных столов были разработаны комплексы специализированного автоматизированного оборудования для установки ЭРЭ и ИМС на ПП: «ТРАЛ», «ТРОФЕЙ», «ТРАССА» и другие. Для этого были созданы ЭРЭ со специальной маркировкой, обеспечена их вклейка в линковую ленту и т.д. Были разработаны полуавтоматы и автоматы для подготовки выводов, установки и пайки ИМС с планарными выводами: линии ПАЛМИС, «Прогресс», «Планар», «Универсал» и др.

В 80-ых годах получила развитие техника поверхностного монтажа, появление которой было обусловлено требованиями дальнейшего повышения плотности компоновки аппаратуры, улучшения схемотехнических, конструктивных и технологических характеристик изделий. Для этого потребовался выпуск широкой номенклатуры компонентов поверхностного монтажа (КПМ), а также разработка нового типа универсального оборудования - автоматов установки КПМ на ПП, установок оптического и теплового контроля, парофазной и ИК-пайки.

Автоматизация операций сборки и монтажа в значительной мере позволит увеличить производительность технологических процессов, повысить качество изделий, решить ряд социальных и экологических проблем.

## **1. СБОРКА ЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ НА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ**

### **1.1. СТРУКТУРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ**

Операции сборки и монтажа являются наиболее важными в технологическом процессе изготовления электронных блоков, поскольку они оказывают определяющее влияние на технические характеристики изделий и отличаются высокой трудоемкостью (до 50-60% от общей трудоемкости изготовления). При этом доля подготовки ИЭТ к монтажу составляет около 10%, установки ИЭТ на ПП - более 20%, пайки - 30%. Автоматизация и механизация этих групп операций дает наибольший эффект в снижении трудоемкости изготовления изделия, основными путями которых являются: применение автоматизированного оборудования, групповой обработки ИЭТ, внедрение новой элементной базы, например, поверхностного монтажа.

Технологический процесс автоматизированной сборки состоит из:

- подачи компонентов и деталей к месту установки,
- ориентации выводов относительно монтажных отверстий или контактных площадок,
- фиксации элементов на печатной плате.

В зависимости от характера производства сборка может выполняться:

- вручную с индексацией и без индексации адреса;
- механизировано на пантографе;
- автоматизировано параллельной на автоукладчиках и последовательной на автоматах или автоматических линиях с управлением от ЭВМ.

Подача элементов к месту установки при автоматизированной сборке осуществляется путем загрузки кассет с ИЭТ и платами в магазин и накопители автомата, захвата ИЭТ установочной головкой и позиционирования. Как правило, загрузка кассет осуществляется вручную, и только в ГАП эта операция выполняется с помощью автоматических транспортных средств. Остальные операции на сборочном автомате без участия оператора.

Печатные платы со смонтированными ИЭТ снимаются с автомата вручную или автоматически и направляются на полимеризацию клея. Далее плата поступает на светомонтажный или обычный сборочный стол, где устанавливаются ИЭТ малой применяемости. После пайки, отмывки остатков флюса и исправления дефектов собранная плата проходит внутрисхемный и функциональный контроль. Заключительной операцией процесса сборки является нанесение влагозащитного покрытия и его сушка.

Применение ручной сборки экономически выгодно при изготовлении изделий с программой выпуска не более 15-20 тыс.шт в год партиями по 100 шт. При этом на каждой плате может быть расположено не более 100 элементов, в том числе до 20 ИМС.

Достоинствами ручной сборки являются:

- высокая гибкость при смене объектов производства,
- возможность постоянного визуального контроля, что позволяет своевременно обнаруживать дефекты плат или компонентов и устранять причины брака.

Недостатками являются: невысокая производительность, высокая трудоемкость технологического процесса, применение достаточно квалифицированного рабочего персонала (3-4 разряды).

При объемах выпуска изделий порядка 100-500 тыс.шт в год, где плотность достигает 500 элементов на плате, экономически целесообразно использовать механизированную сборку с пантографами и укладочными головками. При этом сочетается высокая гибкость с большей, чем при ручной сборке, производительностью.

В условиях массового выпуска однотипных изделий бытовой электронной аппаратуры (500 тыс.-5 млн.шт в год) целесообразно использовать автоматизированное оборудование (автоматы) или автоматические линии с управлением от ЭВМ. Структура технологического процесса сборки блоков электронной аппаратуры (ЭА) приведена на рис. 1.1.

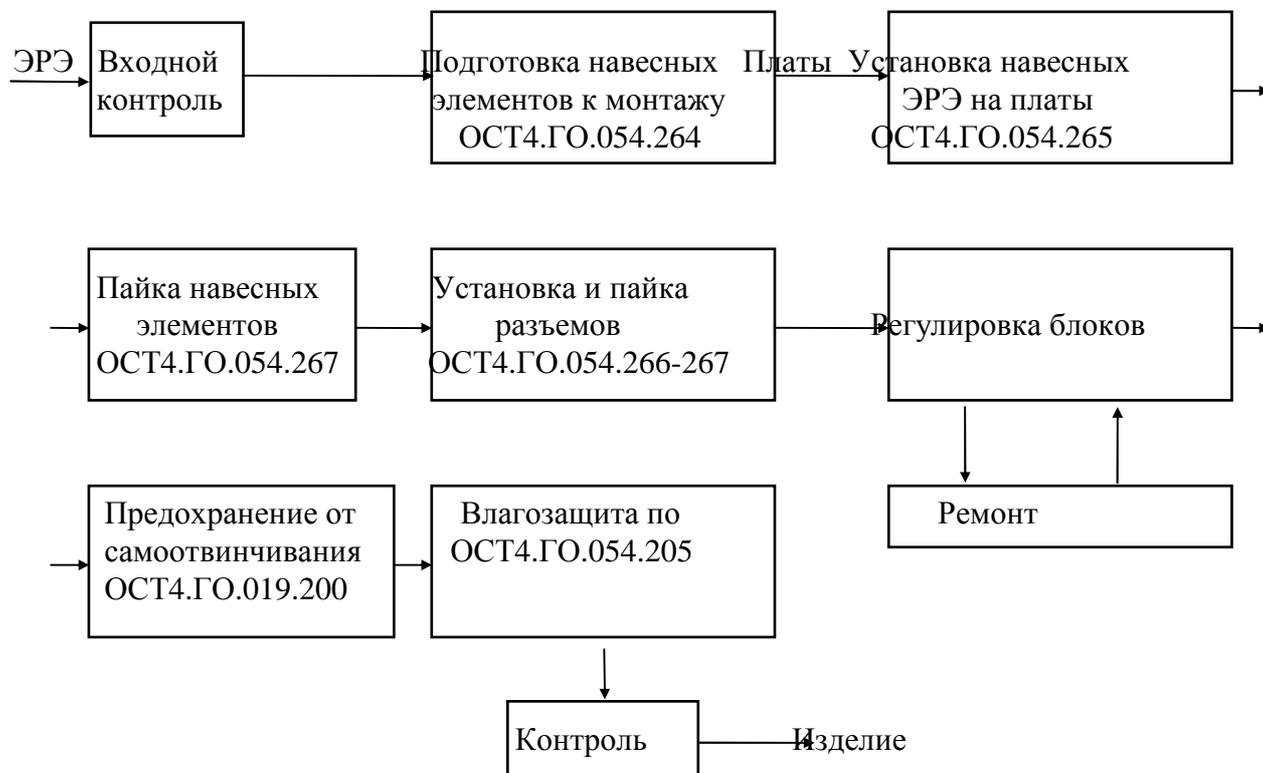


Рис.1.1. Схема типового технологического процесса сборки блоков ЭА

## 1.2. ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ И ЕГО ОПТИМИЗАЦИЯ

В производстве ЭА получили распространение следующие виды контроля (ГОСТ16504-70):

1) входной контроль - дополнительная проверка элементов по параметрам, определяющим их работоспособность и надежность с целью исключения дефектных элементов в следствии ошибок поставщика, продолжительного хранения на складе, повреждений во время транспортирования и т.д.,

2) операционный контроль - контроль продукции после завершения какой-либо операции,

3) приемочный контроль - контроль готовой продукции после окончания всех технологических операций.

Перечисленные виды контроля могут быть сплошными (100 %) или выборочными.

Необходимость входного контроля вызвана значительным браком комплектующих электронных изделий. Так по данным конца 80-х годов, в СССР- брак по ИМС достигал 50-60%, ППП - 40-65%, диодов - 20%, кинескопов - 10%.

При входном контроле ЭРЭ подвергаются как визуальной, так и электрической проверке. При визуальной проверке обращают внимание на наличие на элементе отчетливо видимой надписи, типа, номинала, допуска, клейма приемки ОТК, а также на отсутствие царапин, сколов, трещин, вмятин и коррозии.

При электрической проверке проверяют соответствие электрических параметров ЭРЭ, данным, указанным в ТУ или ГОСТах.

Объем выборки определяется по формуле:

$$n = \frac{t_p \sigma^2}{\varepsilon}, \quad (1.1)$$

где  $t_p$  - коэффициент зависящий от принятой вероятности Р, определяемый по табл.1.1.,  $\sigma$  - среднеквадратическое отклонение исследуемой величины, равно:

1) для нормального распределения 
$$\sigma = \frac{\Delta A}{6} = \frac{\delta}{3}, \quad (1.2)$$

2) для равновероятностного распределения 
$$\sigma = \frac{\Delta A}{2\sqrt{3}}, \quad (1.3)$$

3) для дельта распределения 
$$\sigma = \frac{\Delta A}{2}, \quad (1.4)$$

$\varepsilon$  - заданная точность определения математического ожидания;

$\Delta A$  - разность между верхней и нижней границами исследуемого входного параметра по ТУ.

Таблица 1.1

Значения коэффициента  $t_p$

P	$t_p$
0.80	1.382
0.85	1.439
0.90	1.643
0.95	1.960
0.999	4.200

Пример.

Для партии резисторов МЛТ - 0,125 10 кОм  $\pm$  10% при вероятности контроля  $p = 0,95$  и заданной точностью  $\varepsilon = 5\%$  объём выборки составит:  $n = \frac{1.96 \cdot 10^2}{5 \cdot 3^2} = 4.35\%$ .

Правило контроля.

Если при выборочной проверке в партии окажутся бракованные изделия, то проверке подлежит удвоенное количество изделий. В случае выявления при проверке удвоенного количества изделий хотя бы одного бракованного, проверке подвергают 100% изделий полученной партии.

Входной контроль может быть ручным или автоматическим.

Надежность входного контроля N будет различной в зависимости от метода и характера контроля. В общем случае вероятность ошибки контроля:

$$P_n = P_0(V, T), \quad (1.5)$$

где  $V = n/t$  - скорость испытаний,

$n$  - число испытываемых изделий,

$t$  - время контроля,

$T$  - срок службы контрольного оборудования.

Графически зависимость вероятности ошибки контроля при ручном (1) и автоматическом контроле (2) в зависимости от времени  $T$  показана на рис.1.2.

Начальный период контроля  $T_1$  характеризуется большой вероятностью ошибок, которая объясняется пусковым периодом для автоматического контроля и освоением процесса контроля оператором для ручного метода.

Основной период контроля  $T_2$  для автоматического метода характеризуется постоянной вероятностью ошибки и для ручного возрастающей вероятностью ошибки.

Заключительный период контроля  $T_3$  характеризуется резким нарастанием вероятности ошибки из-за выработки срока службы контрольной аппаратуры и утомляемости оператора (по времени эти периоды несравнимы).

При 100% контроле надежность контроля равна:

$$H_n = 1 - P_n = 1 - \int_0^N P_0(v, T) dn, \quad (1.6)$$

где  $N$  - количество изделий контролируемой партии.

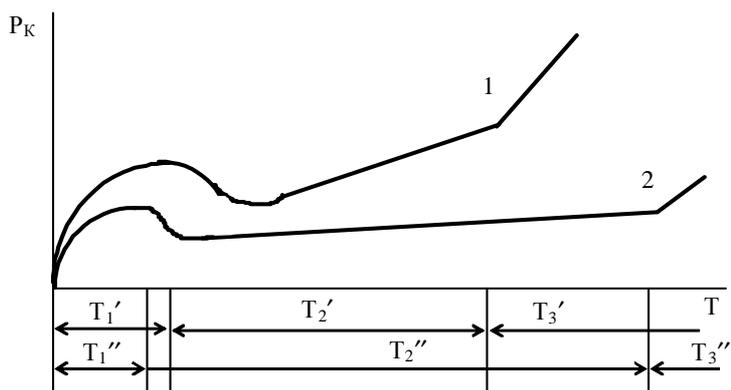


Рис. 1.2. Зависимость вероятности ошибки контроля от времени

Надежность выборочного контроля определяется соотношением:

$$H_{nv} = H_n * H_v' = (1 - P_n) * (1 - P_v'), \quad (1.7)$$

где  $H_v'$  - надежность методики выборочного контроля,

$H_n$  - надежность контроля непосредственно выборки,

$P_v'$  - вероятность брака при заданной методике контроля,

$P_n$  - вероятность брака в выборке.

Исходя из условия, что  $P_n \ll 1$ ;  $P_v' \ll 1$ , для уравнения (1.7) получим:

$$H_{nv} \approx 1 - P_n - P_v', \quad (1.8)$$

Для автоматического контроля на горизонтальном участке кривой  $P=f(T)$  имеем место:

$$P_0(v, T) = \text{const} = P_0, \quad (1.9)$$

При 100% контроле выражение надежности имеет вид:

$$H_n = 1 - P_0 * N, \quad (1.10)$$

Для ручного контроля:

$$P(n) = v * n, \quad (1.11)$$

где  $v$  - коэффициент, характеризующий наклон кривой для ручного контроля на участке  $T_2$ :

$$v = k / Tm, \quad (1.12)$$

где  $K$  - число ошибок контроля за последний промежуток времени,  
 $m$  - общее число ошибок контроля за время  $T$ .

Тогда для ручного контроля:

$$H_n = 1 - (v \cdot N^2 / 2), \quad (1.13)$$

Зоны надежности, справедливые как для автоматического, так и для ручного контроля, при выборочном (1) и 100% (2) показаны на рис.1.3.

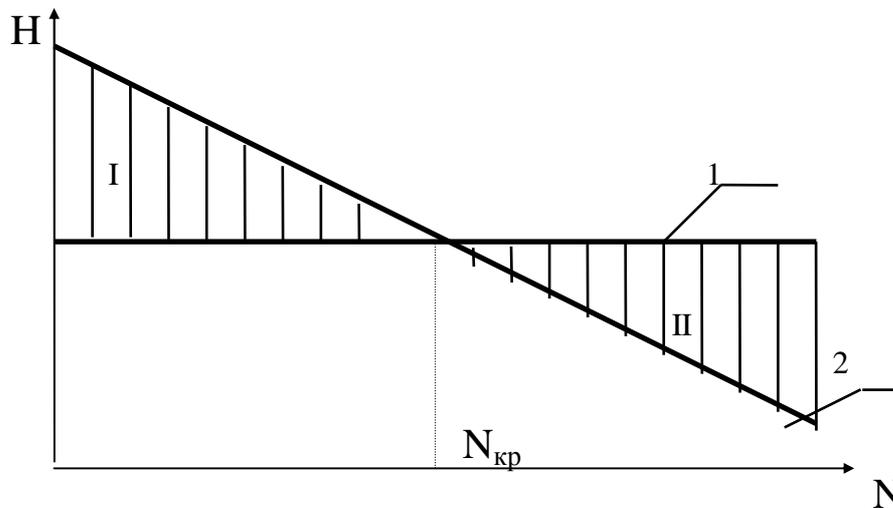


Рис.1.3. Надежность выборочного (1) и 100% (2) контроля

На рис.1.3 имеется характерная зона I, где большей надежностью обладает 100% контроль и зона II, где - выборочный контроль.

Для определения  $N_{кр}$  воспользуемся условием:

$$H_{n \max} = H_n. \quad (1.14)$$

Для автоматического метода контроля:

$$N_{кр} = 2 \frac{\sqrt{aP_{во}}}{P_0}. \quad (1.15)$$

Для ручного метода контроля:

$$N_{кр} = 3 \sqrt{a/v}, \quad (1.16)$$

где  $a=0.25-1.0$  в зависимости от выбранной надежности испытаний;

$P_{во}$ - вероятность брака при данной методике испытаний, которая является функцией от величины выборки.

Используют следующие статистические методы выборочного контроля:

1) метод однократной выборки, когда из партии выбирается  $n$  изделий. По ТУ для каждой выборки  $n$  имеется норматив бракования  $C$ . Если число бракования  $m > C$ , то партия бракуется. При  $m > C$ , партия признается годной.

2) метод двукратной выборки. Проверяется выборка из  $n_1$  изделий. При этом оказывается  $m_1$  бракованных. Если  $m_1/n_1 \leq C_1$ , то партия бракуется. При  $C_1 \leq m_1/n_1 \leq C_2$  - проводятся повторные испытания. Берется партия изделий  $n_2$  и определяется количество бракованных  $m_2$ . Если  $\frac{m_1 + m_2}{n_1 + n_2} \leq C_3$  партия принимается, а при  $\frac{m_1 + m_2}{n_1 + n_2} > C_3$  - бракуется.

3) метод последовательного анализа. После испытания партии изделий строится график зависимости числа бракованных изделий от числа проверенных изделий, на который наносят зоны: приемки, браковки, продолжения испытаний. В соответствии с координатами точки  $(m, n)$  принимают решение о приемке или браковке партии.

Экономическая оценка входного контроля дает возможность решить вопрос о целесообразности применения того или иного вида входного контроля.

Под полной стоимостью будем понимать сумму затрат на входной контроль и устранение бракованных элементов в аппаратуре.

1) Отсутствие входного контроля.

$$C'_0 = P N C_p, \quad (1.17)$$

где  $C'_0$  - полная стоимость равна работе по устранению бракованных элементов,

$P$  - вероятность брака,

$N$  - общее число деталей,

$C_p$  - затраты на замену 1 детали.

2) 100% контроль.

Полная стоимость равна сумме затрат на контроль и замену бракованных деталей.

$$C''_0 = N C_k + K_1 P N C_p, \quad (1.18)$$

где  $C_k$  - стоимость контроля 1-ой детали,

$K_1$  - доля брака, пропущенного при 100% контроле.

3) Выборочный контроль.

Полная стоимость состоит из стоимости приемки и стоимости отбракованной партии:

$$C'''_0 = P_A [C_k + (N - n) P C_p + n K_2 P C_p] + (n C_k (1 - P_A)) / P_A, \quad (1.19)$$

где  $n C_k$  - стоимость контроля выборки из  $n$  элементов,

$(N - n) P C_p$  - стоимость замены бракованных изделий из непроверяемой части партии,

$n K_2 P C_p$  - стоимость замены бракованных деталей из проверяемой части партии, пропущенных контролером,

$P_A$  - вероятность приемки партии,

$1 - P_A$  - вероятность отбраковки.

Пользуясь уравнениями (1.17), (1.18) и (1.19) построим графики полной стоимости контроля в зависимости от доли брака (рис. 1.4).

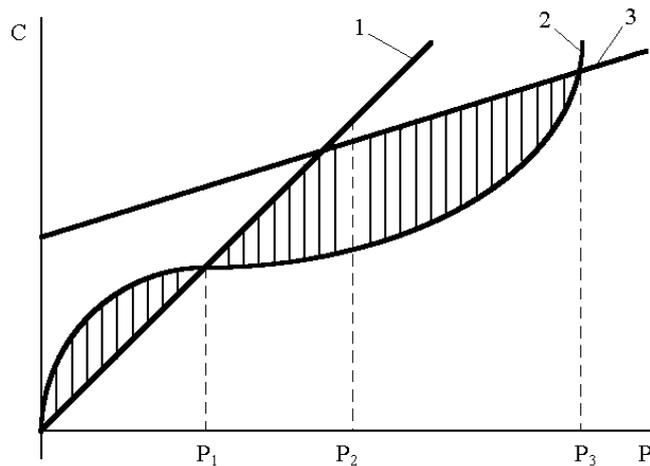


Рис.1.4. Зависимости полной стоимости различных методов контроля от доли брака:  
1 - отсутствие входного контроля; 2 - выборочный контроль; 3 - 100% контроль

По графикам полной стоимости можно найти оптимальный по стоимости вариант контроля. Доля брака  $P$  обычно неизвестна до проверки партии и поэтому следует при оценке этой величины ориентироваться ранее.

Критическая точка  $P_1$  пересечения кривых полной стоимости при отсутствии контроля и выборочном контроле определяется из уравнения:

$$C''_0 = C'''_0, \quad (1.20)$$

$$P_1 = \frac{n C_K}{C_p [N - P_A (N - n - n K_2)]}. \quad (1.21)$$

Критическая точка  $P_2$  - пересечение кривых при отсутствии контроля и полной стоимости:

$$P_2 = \frac{C_K}{C_p (1 - K_1)}. \quad (1.22)$$

Критическая точка  $P_3$  - пересечение кривых 100% контроля и выборочного контроля:

$$P_3 = \frac{P_A C_K [N - P_A n + n] - n C_P}{P_A^2 C_P [(N - n) + K_2 n] - P_A C_P K_1 N}. \quad (1.23)$$

Если заданная доля брака  $P \leq P_3$ , то экономичным будет выборочный контроль, при  $P > P_3$  - 100% контроль.

### 1.3. ПОДГОТОВКА ЭРЭ И ИМС К МОНТАЖУ

Подготовка навесных элементов к монтажу включает операции: распаковку элементов, входной контроль, рихтовку, формовку, обрезку, лужение выводов и размещение элементов в технологической таре.

Изготовитель ЭРЭ должен обеспечить сохранение паяемости в течении установленного срока. Однако на практике только в Японии с ее малыми расстояниями и высокой дисциплиной поставок монтажу “с колес” подлежат не более 70% ЭРЭ, в нашей стране сроки поставки и хранения могут перекрывать гарантийные.

С завода-изготовителя ЭРЭ поступают в разнообразной таре. Большая часть ее рассчитана на загрузочные устройства сборочных автоматов, однако часть элементов, в том числе ИМС, поставляется в индивидуальной таре-спутнике, изготавливаемой из антистатического термостойкого материала.

Для распаковки ИМС в корпусах типа 4 используются автоматы моделей 141-411 или АД-901 и АД-902, технические данные которых приведены в табл. 1.2. Распаковка тары заключается в снятии с корпуса тонкой пластмассовой крышки путем ее поперечного сжатия с помощью 2-х стержней, которые входят в контакт с краями крышки и, сближаясь друг с другом, изгибают ее и выводят из зацепления с корпусом. Освобожденная крышка уносится в сборную емкость струей сжатого воздуха, а ИМС по направляющей соскальзывает в приемную кассету. Автомат 141-411 загружает ИМС этажерочные кассеты, а автомат АД-901 и АД-902 - в прямоточные.

Этажерочные и прямоточные кассеты используют для внутривозвратной транспортировки ИМС с планарными выводами. В первых ИМС лежат перпендикулярно продольной оси кассеты, каждая в своем отсеке, удерживаясь выводами. Выдача ИМС осуществляется с помощью толкателя сборочного автомата.

Таблица 1.2

Характеристики автоматов распаковки ИМС

Параметры	Модель 141-411	Модель АД-901	Модель АД-902
Тип корпуса ИМС	401.14-	401.14-	402.16
Производительность, шт/час	1200	1800	1800
Число кассет	18	12	12
Число ИМС в кассете	50	30	26
Потребляемая мощность, Вт	500	120	120
Габаритные размеры, мм	990x450x1600	600x685x1700	600x685x1700
Масса, кг	300	200	200

Во вторых ИМС лежат продольно оси, одна за другой. Кассеты устанавливаются на сборочный автомат вертикально, и выгрузка ИМС происходит под действием силы тяжести и электромагнитного отсекающего механизма поштучной выдачи.

Резисторы и конденсаторы с осевыми выводами поставляют клееными в 2-х рядную липкую ленту на тканевой основе (ТУ 38-105836-76). Вклейку в ленту производят на специальных автоматах с соблюдением полярности элементов. Катушка диаметром 245-400мм, шириной 70...90мм содержит до 1-5 тыс. ЭРЭ. Во избежание сцепления соседних витков намотку ведут с межслойной прокладочной лентой из кабельной бумаги.

С появлением “безвыводных” ИЭТ предложены ленточные носители с внутренними гнездами. Ширина носителя 8, 12 и 16мм. Гнезда герметизируются полиэфирной пленкой предварительно нагретым инструментом (рис. 1.5).

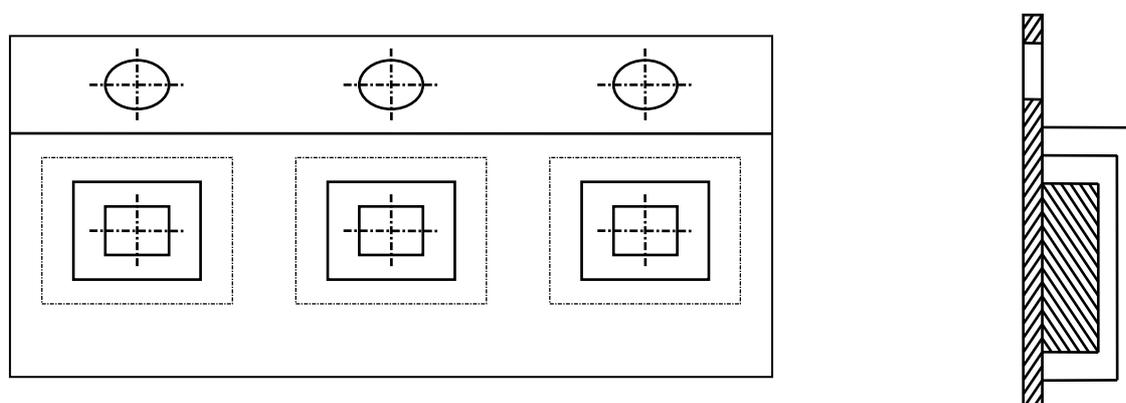


Рис. 1.5. Ленточные носители безвыводных элементов

Основным способом формовки выводов является гибка, которая механизмуется путем применения специальных пневматических приспособлений или полуавтоматов, в которых рабочая часть пуансонов и матриц соответствует форме выводов.

Варианты формовки выводов ЭРЭ и установки на платы должны соответствовать ГОСТ 29137 - 91 (таблица 1). Вариант Ia применяется для установки элементов на ОПП при значительных механических нагрузках. При этом используется П-образная формовка выводов элементов. Вариант Па применяют для ОПП, ДПП и МПП. Ему соответствует “Зиг”-формовка выводов.

При формовке выводов ИЭТ размером от корпуса ИЭТ до места изгиба вывода  $L_0$  считают размер от корпуса ИЭТ и до центра окружности изгиба вывода, как указано на Рис. 1.6.

При установке ИЭТ на печатные платы размером от корпуса до места пайки вывода считают размер от корпуса ИЭТ вдоль оси вывода до места приложения паяльника или зеркала припоя (размер, определяющий расстояние между точками а и в вдоль оси вывода, как указано на рис. 1.6.), в том числе при пайке вывода в металлизированное отверстие.

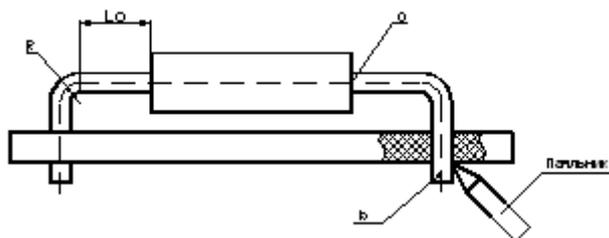


Рис. 1.6. П-образная формовка выводов ИЭТ

Минимальный размер от корпуса ИЭТ до места изгиба при формовке выводов Ю мм,:

для резисторов, конденсаторов . . . . .	0,5
для микросхем и других ИЭТ в корпусах типа 4	
по ГОСТ 17467 . . . . .	1,0
для полупроводниковых приборов . . . . .	2,0
для дросселей . . . . .	3,5

Минимальный внутренний радиус изгиба выводов R, мм,:

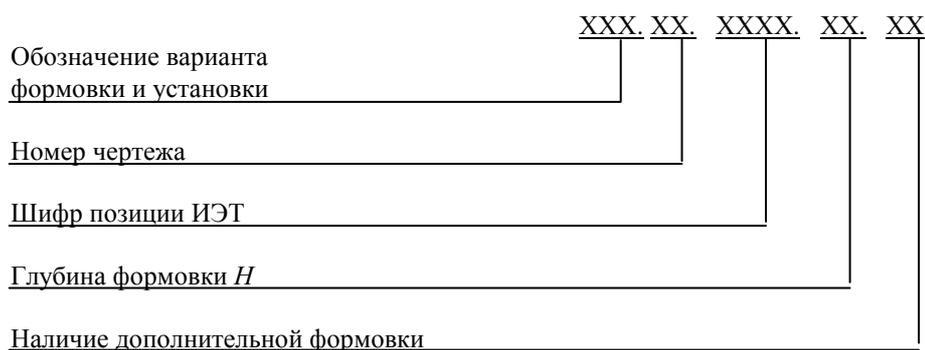
для выводов диаметром или толщиной до 0,5	
включительно . . . . .	0,5
для выводов диаметром или толщиной свыше 0,5 до	
1,0 мм включительно . . . . .	1,0
для выводов диаметром или толщиной свыше 1,0 мм	1,5

В технически обоснованных случаях допускается уменьшать внутренний радиус изгиба выводов до 0,3 мм. Минимальный размер от корпуса ИЭТ до места пайки – 2,5 мм. Допускается уменьшение указанного размера при условии обеспечения теплоотвода в процессе пайки.

Предельные отклонения размеров между осями двух любых выводов ИЭТ, устанавливаемых в монтажные отверстия, –  $\pm 0,2$  мм, а на контактные площадки –  $\pm 0,1$  мм. Остальные размеры формовки выводов ИЭТ, приведенные в настоящем стандарте без указания предельных отклонений, не контролируются и должны быть обеспечены инструментом.

Установочные размеры для ИЭТ, устанавливаемых в отверстия печатных плат, следует выбирать кратным шагу координатной сетки 2,5 мм или 1,25 мм в соответствии с ГОСТ 10317.

Для обозначения варианта формовки выводов и установки ИЭТ на печатные платы устанавливают следующую структуру условных обозначений.



Пример условного обозначения варианта формовки выводов и установки резистора, соответствующего исполнению 14 с длиной корпуса 10,8 мм при использовании зиг-замка:

140.02.0203.00.02

Пример записи вариантов формовки выводов и установки ИЭТ, имеющих согласно спецификации поз. 1, 2, 3:

Установку производить по ГОСТ 29137-91: поз. 1 – вариант 140.02.0203.00.02, поз. 2 – вариант 071.04.0602.12.00, поз. 3 – вариант 301.14.0000.00.00.

Минимальный установочный размер ( $l_y$ ) в миллиметрах для ИЭТ исполнений 1, 4 – 6, 14 – 16 (рис. 1.7.) следует рассчитывать по формуле

$$l_y = L + 2l_0 + 2R + d \quad (1.24)$$

Где  $L$  – максимальная длина корпуса, мм;

$l_0$  – минимальный размер до места изгиба вывода, мм;

$R$  – радиус изгиба вывода, мм;

$d$  – номинальный диаметр вывода ИЭТ, мм.

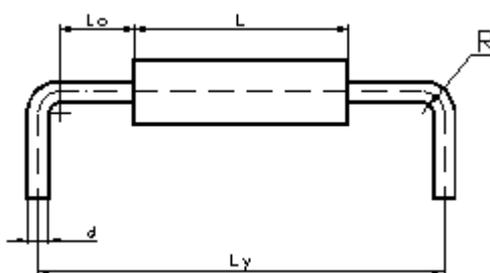


Рис. 1.7. Установочный размер ИЭТ

Минимальные установочные размеры ( $l_y$ ) в миллиметрах для ИЭТ исполнения 22 (рис. 1.8.) следует рассчитывать по формуле

$$l_y = \frac{D + d}{2} + 0,5, \quad (1.25)$$

где  $D$  – максимальный диаметр (толщина) корпуса, мм;  
 $d$  – максимальный диаметр вывода, мм.

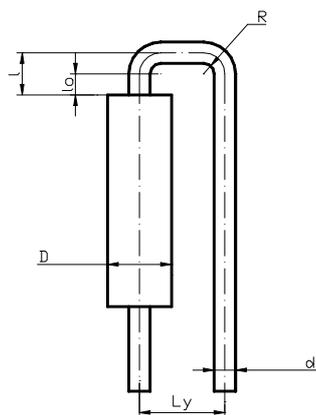


Рис. 1.8. Установочный размер при вертикальной установке ИЭТ

Формовочные размеры ( $l$ ) в миллиметрах следует рассчитывать по формуле

$$l = l_0 + R + \frac{d}{2}, \quad (1.26)$$

Минимальные размеры формовки ( $l$ ) в миллиметрах для ИЭТ исполнений 7, 10, 11, 13 (рис. 1.9.) следует рассчитывать по формуле

$$l = L + 2l_0 + 2l_K, \quad (1.27)$$

где  $l_K$  – постоянная унифицированная длина отформованной части вывода, мм.

Постоянную унифицированную длину отформованной части отформованной части вывода ( $l_K$ ) в миллиметрах следует рассчитывать по формуле

$$l_K = 2R + d + K + 0,1, \quad (1.28)$$

где  $K$  – горизонтальная часть отформованного вывода, прилегающая к монтажной площадке, мм ( $K_{min} = 1$ );

0,1 – гарантированный зазор в штампе, мм.

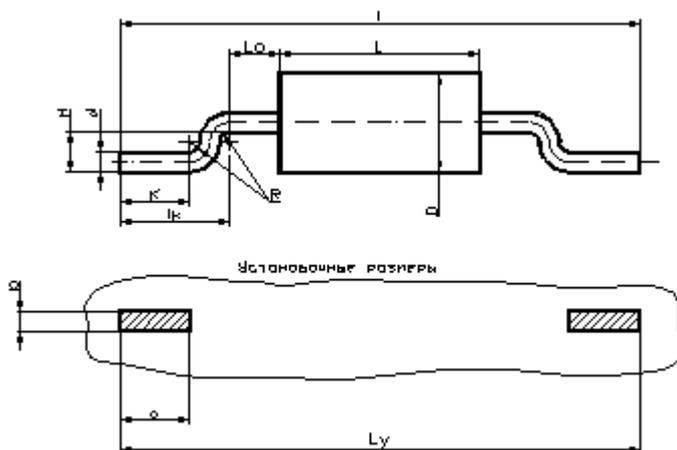
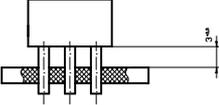
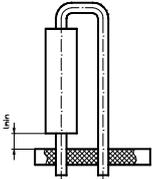
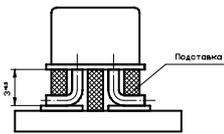
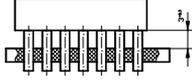
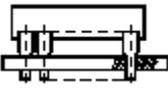
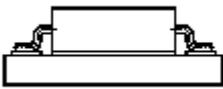


Рис. 1.9. Формовка планарных выводов микросхем

Таблица 1.3.

## Варианты установки ЭРЭ и п/п приборов на платы

Типовое конструктивно исполнение	Обозначение варианта формовки и установки	Номер чертежа	Шифр позиции ИЭТ	Характеристика ИЭТ
	010	2	0201 – 0221	Резисторы, конденсаторы, диоды, дроссели в цилиндрических и прямоугольных корпусах с двумя осевыми выводами
	011		0301 – 0341	
	140	2	0201 – 0221 0301 – 0341	Резисторы, конденсаторы, диоды, дроссели в цилиндрических и прямоугольных корпусах с двумя осевыми выводами
	190	-	-	Транзисторы в прямоугольных и цилиндрических корпусах с тремя – однонаправленными выводами
	220	3	0401 – 0407	Резисторы, конденсаторы, диоды, дроссели в цилиндрических и прямоугольных корпусах с двумя осевыми выводами
	270	11	-	Транзисторы в цилиндрических корпусах с однонаправленными выводами
	271			
	320	-	-	Микросхемы и другие ИЭТ в корпусах типа 1 по ГОСТ 17467
	330	-	-	Микросхемы и другие ИЭТ в корпусах типа 2 по ГОСТ 17467
	360	18	1101 - 1113	Микросхемы и другие ИЭТ в корпусах типа 4 по ГОСТ 17467

Усилие формовки- гибки планарных выводов:

$$P=1.25 \cdot k \cdot b \cdot \delta \cdot \sigma_v + P_{пр}, \quad (1.29)$$

где  $b$  - ширина вывода,

$\delta$  - толщина вывода, мм,

$\sigma_v$  - предел прочности вывода, МПа,

$k$  – коэффициент, определяющий состояние поверхностей пуансона и матрицы (1-1.2),

$P_{пр}$  - усилие прижима выводов, составляет 0.25-0.3 от усилия  $P$ ; для корпусов типа 4 -  $15 \pm 1.5$  Н на вывод.

Автомат АКПМ-927 предназначен для подготовки к монтажу ИМС в корпусах 401.14-3(4). Выполняет полный комплекс операций: выгрузку ИМС из технологической тары; формовку и обрезку выводов, лужение, напрессовку припоя ПОС 61 диаметром 0.4 мм на выводы, укладку ИМС в технологические кассеты.

''Зиг'' формовка выводов осуществляется по следующей схеме (рис. 1.10).

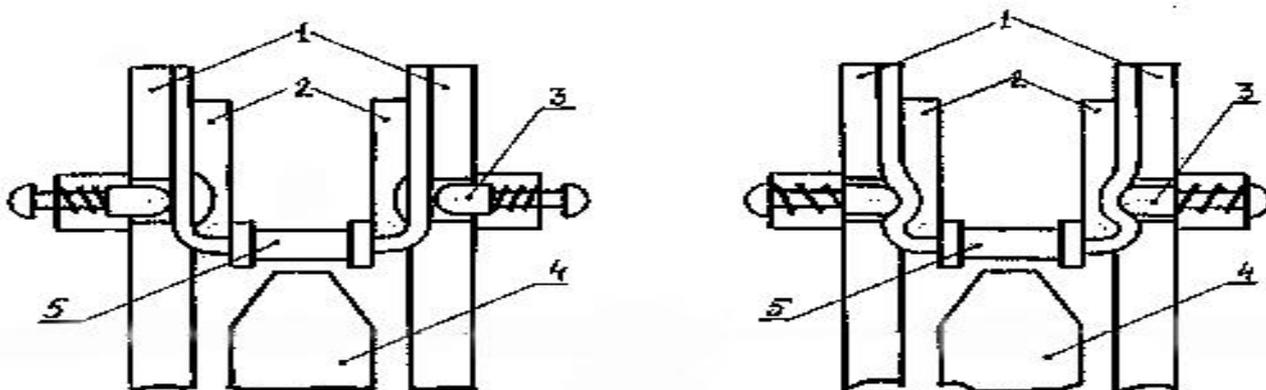


Рис. 1.10. Схема действия автомата для ''зиг'' формовки выводов радиоэлементов:

1- подающие диски, 2 - неподвижные формообразующие,

2- пуансоны, 4- кулачок, 5 - радиоэлементы

В подающих дисках 1 имеются канавки, в которые элементы подаются неподвижными формообразующими 2. Подающие диски получают непрерывное вращение. В диски встроены подпружиненные пуансоны 3, которые при набегании на рычаги, получают поступательное движение и образуют ''зиг'' на выводах. Кулачок 4 выталкивает элемент 5 из пазов диска в тару.

Размер ''зига''  $C$  рассчитывается по формуле:

$$C = (d_0 + d_B) / 2 + 0.5, \quad (1.30)$$

где  $d_0$ ,  $d_B$  - диаметры отверстия и вывода соответственно

Механизация процесса подготовки выводов к монтажу осуществляется путем применения технологических приспособлений, полуавтоматов и автоматов, выбираемых в зависимости от конструкции ЭРЭ, типа производства в соответствии с ОСТ 4 ГО.052.211 “ОСТПП, Сборочно-монтажное производство, технологическое оснащение”, ред. 1978.

Полуавтомат (рис. 1.11) предназначенный для подготовки выводов ЭРЭ с осевыми проволочными выводами и цилиндрической формой корпуса, выполняет следующие операции:

- 1) рихтовку выводов;

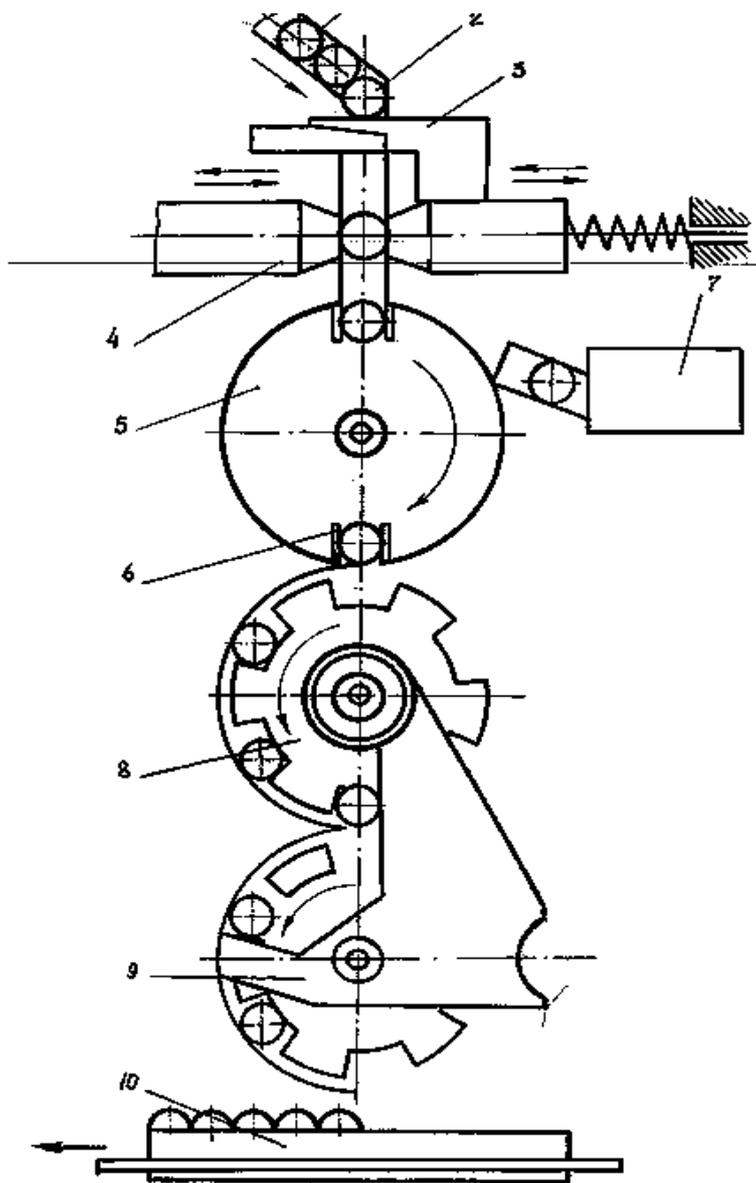


Рис. 1.11. Полуавтомат для подготовки выводов радиоэлементов

- 2) контроль ЭРЭ по электрическим параметрам с разбраковкой “годен”, “не годен”;
- 3) зачистку выводов;
- 4) подрезку выводов;
- 5) укладку ЭРЭ в технологические кассеты.

Радиоэлементы 1 загружаются вручную в направляющие 2, из которых с помощью отсекающего 3 подаются в механизм рихтовки 4 по одной штуке, затем в зажимы 6 механизма контроля 5.

Рихтовка выводов осуществляется с помощью подпружиненных пуасонов. Контроль и разбраковка по электрическим параметрам производится прибором, подключенным к зажимам 6. При наличии негодного элемента прибор подает сигнал в механизм отсечки брака 7 и деталь сбрасывается с ротора. Годные ЭРЭ поступают в механизм зачистки 8, где зачистка осуществляется металлическими щетками. Далее ЭРЭ подаются в механизм обрезки 9, после чего загружаются в технологическую кассету 10.

Рихтовку выводов в мелкосерийном производстве осуществляют либо вручную с помощью пинцета и плоскогубцев, либо на приспособлении для рихтовки выводов ЭРЭ модель ГГ 1422-4101 (количество одновременно рихтуемых резисторов -20, n=500 шт/ч, габариты 220x100x150). Для подготовки ЭРЭ и ИМС к сборке используются различные типы оборудования (табл.1.4)

Таблица 1.4

Техническая характеристика оборудования

Наименование	Тип	Тип ЭРЭ, ИМС	Производительность, шт/год	Привод	Мощность, Вт	Габариты
Полуавтомат для подготовки резисторов и диодов	ГГ-2420	МЛТ-0.125;0.25;0.5; 1.0 2Д503,509	3000	электро-механический	50	600x500x 800
Установка для рихтовки и обрезки выводов транзисторов	ГГ-2293	МП42,МП416, ГТ309	300	электро-магнитный	80	295x215x 275
Автомат для П-образной формовки выводов ЭРЭ	ГГ-1611	МЛТ-0.125;0.25;0.5	3600	электро-механический	180	330x380x 405
Автомат для формовки выводов микросхем	ГГ-2629	101 МС 14-1 404.14-3	1200	электро-механ. пневмат.	500	900x400x 1500
Полуавтомат формовки	АРСМ 2.230.000	КМ вар. III, IV	1500	---\ ----	800	2200x1000x1500

Для подготовки к сборке ИМС в круглых корпусах 301.12-1; 301.8-1,2 и 401.14.3 используются полуавтоматы моделей ГГ-2122 и ГГ-2125, технические характеристики которых приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5.

Техническая характеристика полуавтоматов подготовки к сборке ИМС

Параметр	ГГ-2122	ГГ-2125
Производительность ИМС/час	200	300
Привод	Электромеханический	----//----
Потребляемая мощность, кВт	0.18	0.1
Высота обрезки, мм	5.9; 6.4	5.4
Габаритные размеры, мм	450x510x335	335x300x305
Масса, кг	21	28

Лужение выводов может осуществляться как до, так и после формовки путем погружения в расплавленный припой. Для флюсового и горячего лужения выводов ИМС (корпус 401.14-3) используется автомат лужения модели ГГ-2630. Производительность: 900 шт/час, пределы регулирования температуры припоя 200-280 °С с точностью  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Для лужения выводов ЭРЭ групповым способом используется установка механизированного лужения ГГ М2.339.002. Производительность 400 касет/час, время выдержки касет во флюсе и припое - 1.5-3 с.

Напрессовка припоя - это один из способов закрепления на выводах ИМС строго дозированного количества проволочного припоя путем его глубокой пластической деформации. Припой удерживается на выводах благодаря механическому заклиниванию выдавленных в пространство между соседними выводами выступов (рис. 1.12). Обычно для выводов сечением 0.3x0.1 мм (корпуса 401.14 и др.) используют проволоку припоя диаметром 0.3-0.4 мм, либо трубчатый припой с флюсовой сердцевинкой диаметром 0.5 мм.

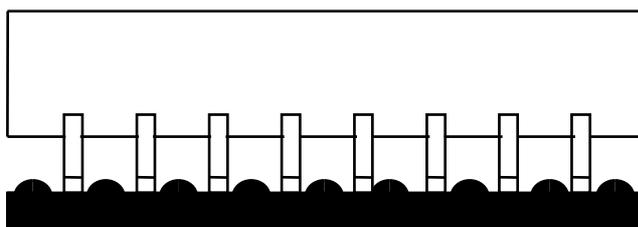


Рис. 1.12. Напрессовка припоя на выводы ИМС

Размещение дискретных ЭРЭ в технологической паре позволяет повысить производительность сборки ТЭЗ и механизировать установку элементов на платы. Тарой служит липкая лента, в которую клеивают ЭРЭ преимущественно с осевыми выводами по программе заготовки. Вклейка осуществляется на установке ГГ-1740. В технологические кассеты ЭРЭ загружаются в накопители, откуда по программе подаются на транспортное устройство, двигаясь по которому попадают в зону вклейки. Производительность 2400 шт/г; шаг 9 мм, количество элементов в одной программе 2-12 шт, привод электромеханический.

Шаг вклейки  $S$  кратен 5мм. Ширина ленты 6 или 9 мм. Полярные ИЭТ клеиваются в ленту в однозначно ориентированном положении (рис. 1.13).

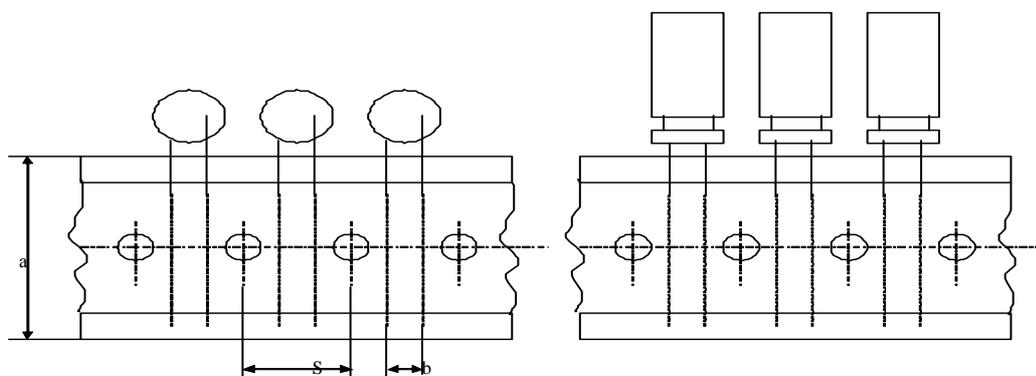


Рис. 1.13. Упаковка ИЭТ в однорядную ленту

Элементы 3, 4 и 8 групп (с однонаправленными выводами) клеиваются вклеиваются в однорядную перфорированную ленту шириной 18мм. Шаг вклейки  $S$  15мм, расстояние между выводами в 2,5 или 5мм.

ИЭТ 5,6,7, и 9 групп (транзисторы типа КТ, ТО, ИМС) поставляются в специальных прямоточных одноручьевых технологических кассетах (рис. 1.14.).

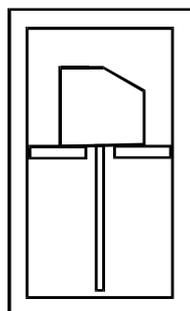


Рис. 1.14. Форма одноручьевой прямоточной кассеты для ИЭТ

В крупносерийном производстве для программной вклейки элементов в ленту с шагом 5 мм применяют автоматическую линию ТРАЛ (рис. 1.15) с производительностью 16300 шт/час. Количество бобин с элементами – 60. Габаритные размеры: 6450x940x1890 мм.

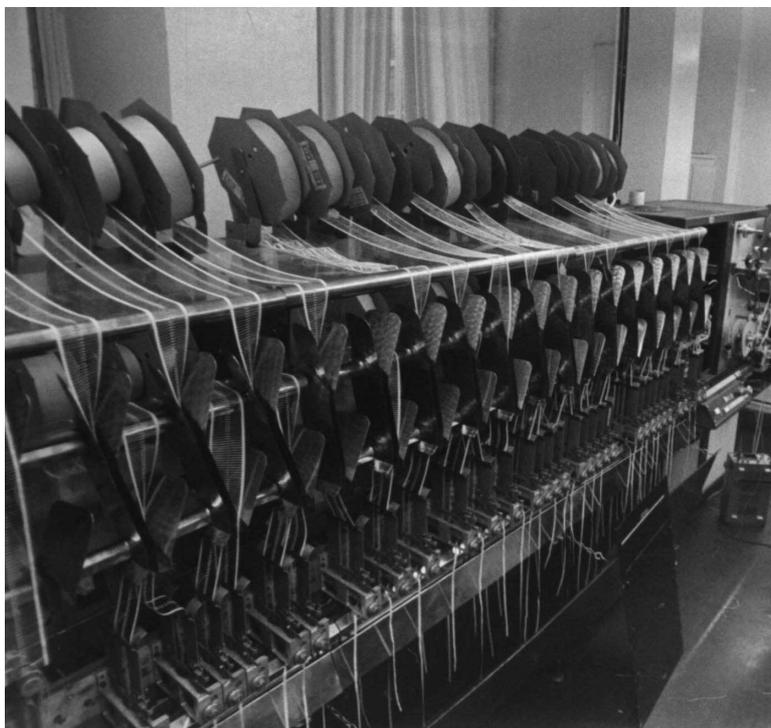


Рис. 1. 15. Автоматическая линия ТРАЛ

#### **1.4. УСТАНОВКА ЭРЭ И МИКРОСХЕМ НА ПЛАТЫ**

Установка ЭРЭ на платы является первым этапом монтажа, и дефекты данной операции неблагоприятно отразятся на качестве монтажных соединений.

По технической реализации различают ручную и механизированную сборку печатных плат, причем в качестве критерия выбирается исполнение выводов - штыревые, планарные.

Оптимальное выполнение операции установки ЭРЭ на платы требует выполнения следующих условий:

- согласования допусков на выводы и на диаметры отверстий,
- выбор наиболее приемлемого метода фиксации компонента,
- определение оптимального варианта расположения ЭРЭ и ИМС на плате.

Из анализа этих положений определяют технические требования, которые должны выполняться при сборке печатных и многослойных плат.

Технические требования к сборочным единицам на ПП и МПП, применяемым для автоматизированной сборки ЭРЭ и ИМС заключаются в следующем:

- для повышения технологичности сборочных единиц рекомендуют использовать минимальное число разнотипных ЭРЭ, типоразмеров ЭРЭ и ИМС;

- корпусные ИМС размещают на ПП рядами или в шахматном порядке с шагом установки 2.5 мм, корпуса с планарными выводами допускается размещать с шагом 1.25 мм, зазоры между корпусами ИМС должны быть не менее 1.5 мм,

- ИМС со штырьковыми выводами устанавливают только с одной стороны ПП, а ИМС с планарными - с 2-х сторон.

Положение компонентов, полученное при сборке не должно изменяться до момента контактирования, т.е. формирования монтажного соединения. Поэтому компоненты должны быть зафиксированы на печатной плате.

Оптимальная фиксация должна удовлетворять следующим требованиям:

- легкостью исполнения,
- не допускать применения дополнительных элементов,
- выдерживать собственный вес элементов,
- осуществляться при обратном ходе рабочего инструмента технологического оборудования.

Существуют различные методы фиксации выводов элементов в отверстиях плат: загибка, расплющивание, деформация, пружинящие выводы, трением (рис. 1.16).

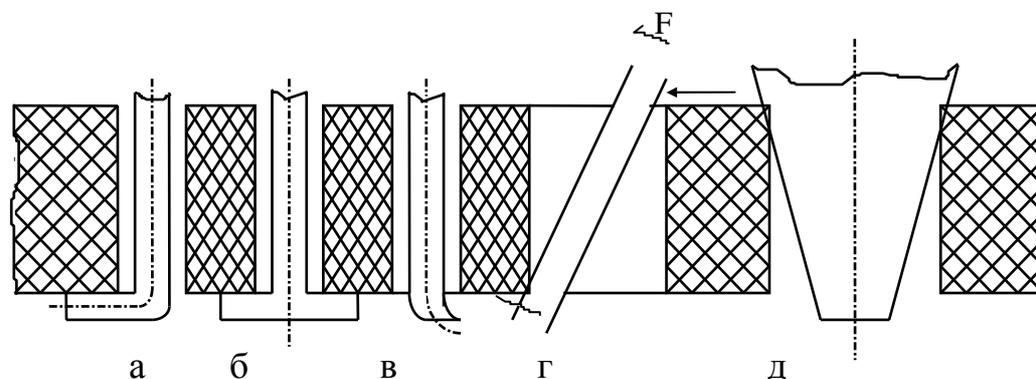


Рис. 1.16. Методы фиксации компонентов со штырьковыми выводами:

- а - загибка, б - расплющивание, в - деформация выводов, г - пружинящие выводы,  
д - трение

Загибка создает большую опасность замыканий с близлежащими проводниками, чем расплющивание. ИМС с пружинящими выводами не требуют загибки, т.к. фиксация происходит за счет трения о внутренние стенки отверстий. Для фиксации ИМС с планарными выводами применяют их предварительное приклеивание к плате.

Установка ЭРЭ и ИМС на платы производится разными способами или с помощью полуавтоматов и автоматов. Для повышения производительности ручной сборки применяют держатели плат, печатание с обратной стороны платы способом шелкографии позиционного обозначения ЭРЭ.

В мелкосерийном производстве применяют сборочные столы, на которых обслуживающему персоналу выдается информация о порядке и последовательности сборки. Информация подается с диапозитивов или перфоленты. На основе этой информации на краях платы загораются координатные лампы, определяющие точку пересечения координат, вращается тарельчатый магазин 1, подавая в лоток 2 нужную деталь (рис. 1.17).

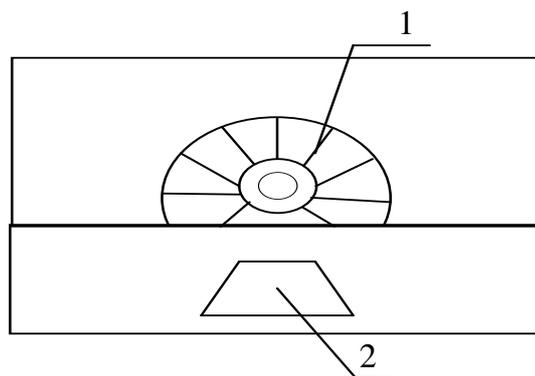


Рис. 1.17. Вращающийся тарельчатый магазин сборочного стола

Программирование осуществляется подсветкой с применением светодиодов и стекловолоконных световодов, подключаемых к платам. По мере исполнения программы световоды высвечивают те позиции, которые должны быть заполнены элементом из очередной ячейки. Производительность установки 500 элементов в час.

При механизированной установке элементов основную роль играет сборочная головка, которая выполняет следующие функции:

- принимает компонент из подающего устройства;
- ориентирует компонент;
- рихтует и обрезает выводы;
- вводит вывод в соответствующие отверстие или совмещает его с контактной площадкой.

Принцип механизированной установки ЭРЭ сборочными машинами приведён рис. 1.18.

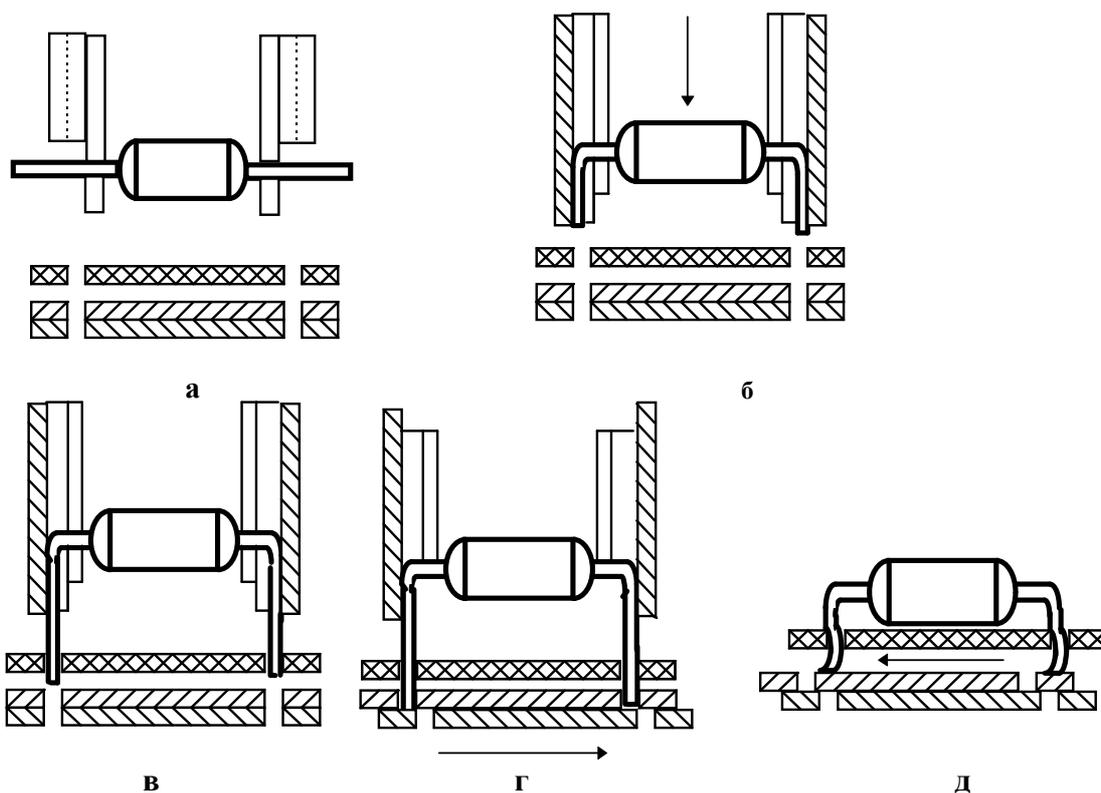


Рис. 1.18. Принцип механизированной установки дискретных ЭРЭ:

а - захват элемента головкой, б - изгиб выводов, в - совмещение выводов с отверстиями, г - обрезка выводов, д - загибка выводов

Варианты позиционирования элементов сборочными головками приведены на рис. 1.19).

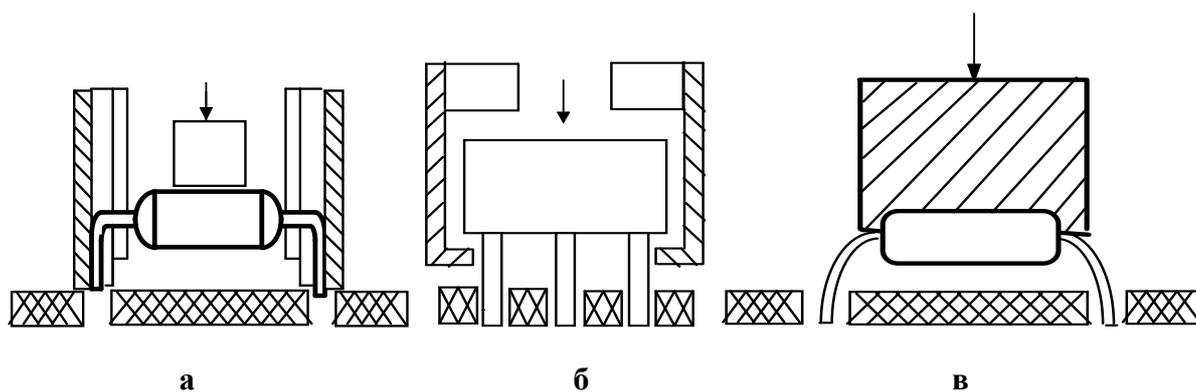


Рис. 1.19. Варианты позиционирования ЭРЭ сборочными машинами.

а - по 2-м выводам, б - по 3-м выводам, в - по корпусу

1) Компонент с боковыми выводами (резистор) - позиционирование осуществляется по всем выводам, подводят элемент под легким внешним воздействием к плате.

2) Компонент с несколькими штыревыми выводами (транзистор). В этом случае применяют не прямые направляющие, а позиционируют несколько выводов, что требует больших допусков на отверстия платы.

3) Выводы точно установлены по отношению к корпусу и не формируются. Тогда устанавливают элемент, удерживая его за корпус. Этот метод является менее надежным.

На надежную работу установочной головки значительное влияние оказывают допуски всех элементов. При установке компонентов со штыревыми выводами на эффективное отклонение конца вывода влияют следующие факторы (рис. 1.20).

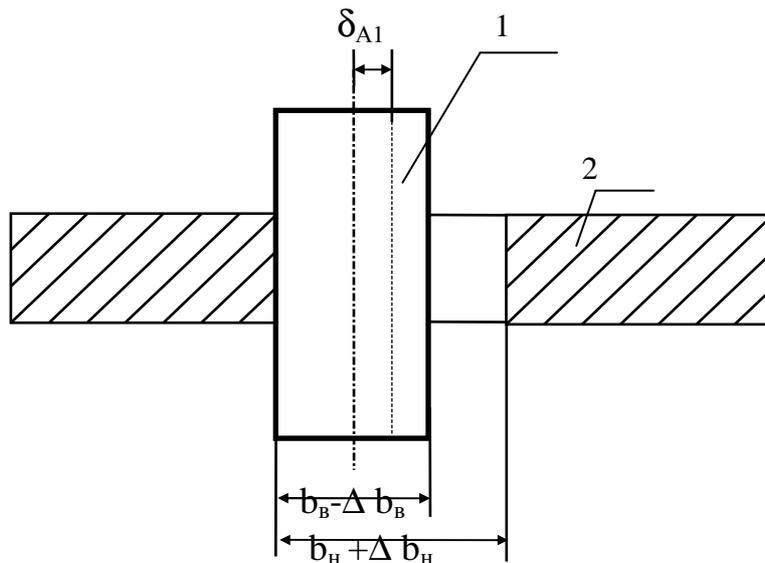


Рис. 1.120. Позиционирование вывода относительно направляющей:

1-вывод, 2 - направляющая

В соответствии с рисунком при условии, если минимальная ширина направляющей  $b_H$  одинакова с максимальной шириной вывода (нет заклинивания вывода в направляющей). Из результирующей цепочки допусков получается сдвиг середины вывода компонента от идеального шага  $\delta_{A1}$  в направлении х:

$$\delta_{A1} = \delta_{A2} + \delta_{A3} + \delta_{A4} + \Delta b_H + \Delta b_B. \quad (1.31)$$

Эффективные допуски при механизированной установке интегральных микросхем с двухрядным расположением выводов определяется из табл. 1.6.

Таблица 1.6

## Допуски на механизированную установку ИМС

Вид допуска	Обозначение	Значение, мм
На ширину вывода	$\Delta_{B_B}$	$\pm 0.05$
На ширину направляющей	$\Delta_{B_H}$	$\pm 0.01$
На положение направляющей	$\delta_{A2}$	$\pm 0.02$
На колебания машины	$\delta_{A3}$	$\pm 0.02$
На возвратно-поступательное движение при установке	$\delta_{A4}$	$\pm 0.025$
На позиционирование	$\delta_{A5}$	$\pm 0.01$
На положение монтажного отверстия	$\delta_{01}$	$\pm 0.1$
На установку на устройстве позиционирования	$\delta_{уст}$	$\pm 0.1$

В допуск  $\delta_{уст}$  входят следующие составляющие:

$$\delta_{уст} = \delta_{01} + \delta_{A5} + \delta_{A1} + \delta_{A1y}. \quad (1.32)$$

Так как для направляющей в направлении  $y$  не может быть заклинивания, то:

$$\delta_{A1y} = \delta_{A2} + \delta_{A3} + \delta_{A5} + 1/2(\Delta b_H + \Delta b_B). \quad (1.33)$$

Допуск на отклонение направляющей  $\delta_{A1x}$ ,  $\delta_{A1y}$ , а также допуск на позиционирование  $\delta_{A4}$  и допуск на положение монтажного отверстия позволяют рассчитать необходимый диаметр монтажного отверстия:

$$d_{01} = 2\sqrt{\delta_{Ax1} + \delta_{01} + \delta_{A4} + \frac{1}{2}(\Delta b_{Hx} + \Delta b_{Bx})^2} + \sqrt{\delta_{A1y} + \delta_{A1} + \delta_{A4} + \frac{1}{2}(\Delta b_y + \Delta b)^2}. \quad (1.29)$$

Пример:

Рассчитать необходимый диаметр отверстия в плате для автоматизированной установки вывода ИМС с размером  $0.3 \times 0.5$  мм. Получим  $d = 1.2 - 1.4$  мм.

Исходя из рассчитанного допуска  $\delta_{уст}$  находят минимальный диаметр монтажного отверстия, обеспечивающий механизированную установку ИМС.

## 2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ЭРЭ, СБОРКИ И МОНТАЖА

### 2.1. СВЕТОМОНТАЖНЫЕ СТОЛЫ

В условиях многономенклатурного и мелкосерийного производства РЭС применение специализированных автоматов и полуавтоматов экономически невыгодно, поэтому за последние 15 лет получило развитие новое направление в технологии монтажа - программируемая ручная сборка на светомонтажных столах. Светомонтажный стол подает ЭРЭ монтажнику или индицирует ячейку неподвижного накопителя и указывает световыми средствами участок ПП, где нужно установить элемент. Это значительно повышает производительность сборки и уменьшает количество ошибок.

Вручную без специальных средств обычный темп сборки до 200 элементов/час, на светомонтажном столе он может достигать 500-600 шт/час.

Светомонтажный стол - довольно сложное устройство, в котором могут применяться различные принципы подачи ИЭТ, указания мест расположения на ПП, управление устройства (рис.2.1).

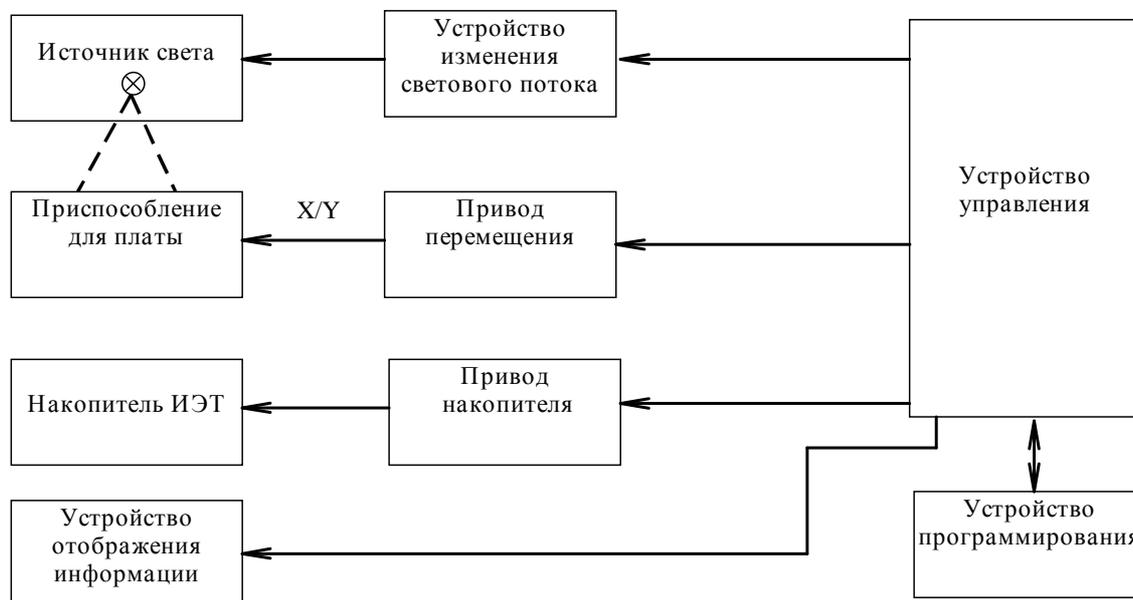


Рис. 2.1. Схема светомонтажного стола

Указание посадочных мест может быть выполнено путём проецирования со слайдов, либо использованием световодов. либо “световой указкой”, (рис. 2.2, 2.3).

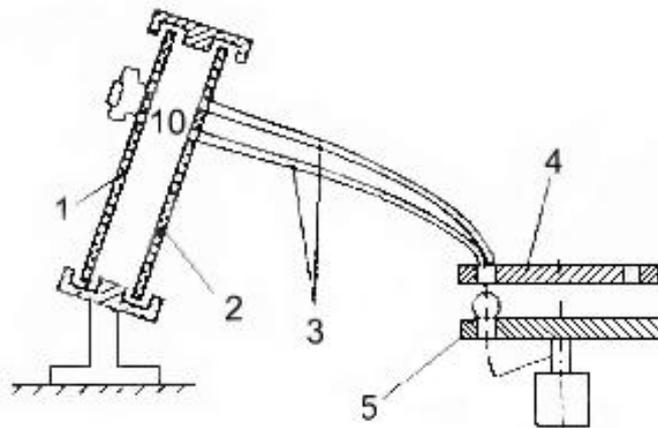


Рис. 2.2. Схема проецирования изображения через световод:  
 1 - плата, 2 - шаблон, 3 - световод, 4 - программная панель,  
 5 - осветитель

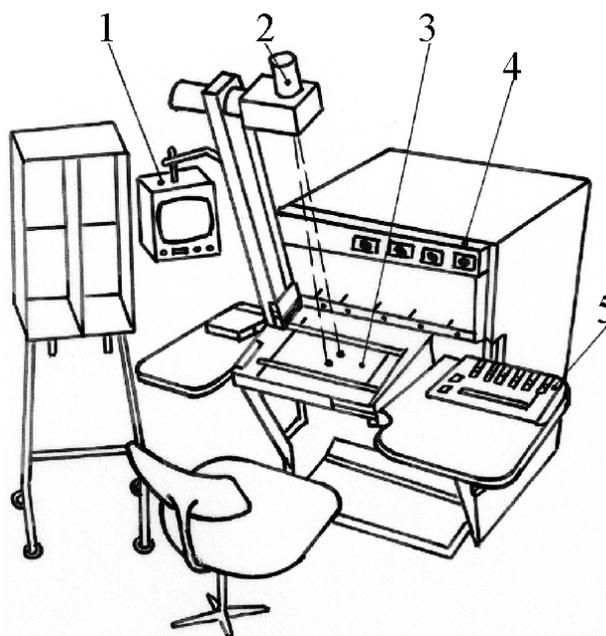


Рис. 2.3. Стол с гибкой программой сборки:  
 1- дисплей, 2- проектор, 3- панель, 4- кассетница, 5 - микроЭВМ

В первых светомонтажных столах модели УПСП - 904 (СССР) и фирмы Streckfuss (Германия) указания посадочных мест осуществлялось проектированием со слайдов в диапроекторе, закреплённым под столом. Число и расположение пятен света на ПП зависело от расположения отверстий в носителе информации - латунной фольге или киноплёнке толщиной 0,1 мм, вставленной в рамку слайда.

Недостатками являлись высокая трудоёмкость подготовки программ, низкий темп сборки.

Указание с помощью световодов путём подсветки отверстий в ПП с низду использование в установках "Свет" и "Цвет". Полярность элементов индицировалась миганием. Недостатками являлись значительная трудоёмкость подготовки программ (до 2 часов на 50 ЭРЭ), ограниченные возможности передачи дополнительных символов и интеграции.

Более гибкой является система с использованием "световой указки", пятно светового луча от проектора перемещается по ПП со скоростью 300 ... 400 мм/с с разрешением 0,15...0,3 мм. Луч может формировать разные символы, указывать направление на место установки (рис. 2.4).

Характеристики светомонтажных столов приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1.

Светомонтажные столы программной сборки

Модель	Устройство управления	Емкость ОЗУ	Средства отображения	Тип внешних ОЗУ
ПМПП-902	МП-901	16 К	Табло	НМЛ
Polytronik 3D-TS	Z-80	32 К	3-х знаковое Табло	НГМД 64 К
Logpoint (Англия)	Z-80	32-х знаковое 64 К	Дисплей	НГМД 64 К

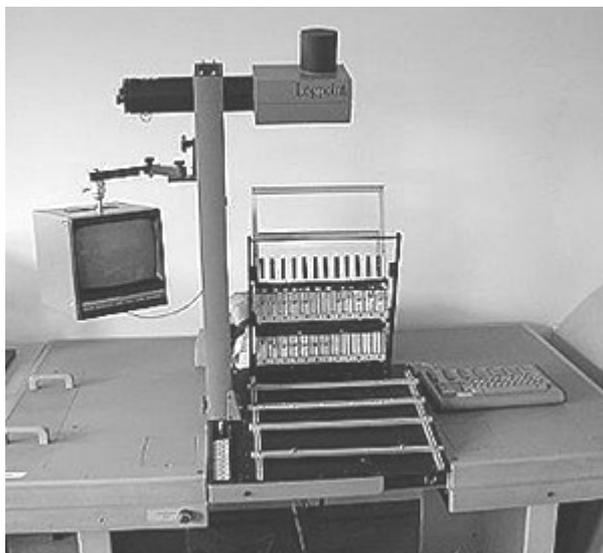


Рис. 2.4. Светомонтажный стол Logpoint

## 2.2. ПОЛУАВТОМАТЫ И АВТОМАТЫ УСТАНОВКИ ЭЛЕМЕНТОВ

Сборочные автоматы, выполняющие основную технологическую операцию установки ИЭТ на печатную или керамическую плату, отражают более высокий по сравнению со светомонтажными столами уровень автоматизации сборочно-монтажных работ. Их применение становится оправданным в условиях серийного производства, либо при сборке ИЭТ массового применения в любом производстве.

Они могут быть узкоспециализированными, рассчитанными на установку одного типа ИЭТ или гибкими универсальными автоматами. В последних одна и та же головка способна собирать на ПП разнообразные ИЭТ.

Применяемые в промышленности сборочные автоматы отличаются выполняемыми технологическими операциями и переходами, возможностями установки определенной номенклатуры ИЭТ (по исполнению или номиналам), степенью автоматизации, применяемыми дополнительными средствами и т.д.

За последнее время появился ряд сборочных автоматов, в которых операции подачи ЭРЭ на сборку в заданном программой порядке выполняется без предварительной переклейки в липкую ленту.

Сборочные головки могут выполнять в автоматическом цикле одну или несколько технологических операций: 1) извлечение ИЭТ из накопителя или носителя, 2) поворот ИЭТ по ключу или оси координат, 3) формовка выводов ИЭТ, 4) перенос ИЭТ, 5) центровка ИЭТ, 6) установка ИЭТ на ПП. Один из вариантов сборочной головки показан на рис. 2.5.

Сборка на полуавтоматах ведется с помощью пантографа. Перемещение платы в направлении осей  $x$  и  $y$  производится персоналом вручную, пантограф работает в основном масштабе 1:1, поэтому в качестве образца используют просверленную печатную плату.

Пантограф имеет копирный щуп с конусной головкой, которая вставляется в отверстие шаблона или несмонтированной печатной платы. Установочная головка при этом выполняет следующие действия: захватывает элемент, изгибает выводы, вставляет выводы в отверстия, обрезает и фиксирует выводы.

С помощью копирного щупа пантографа можно позиционировать одновременно много держателей печатных плат, что повышает производительность до 2000 элем./час. Полуавтомат для установки ИМС в корпусах DIP с одновременной групповой подрезкой выводов ГГ-2482 имеет время цикла укладки 3 с, производительность 1200 шт/ч (рис.2.6).

Преимуществом полуавтоматов с пантографами является высокая производительность, возможность быстрой переналадки на другие изделия. Недостаток - более жесткие допуски на монтажные отверстия.

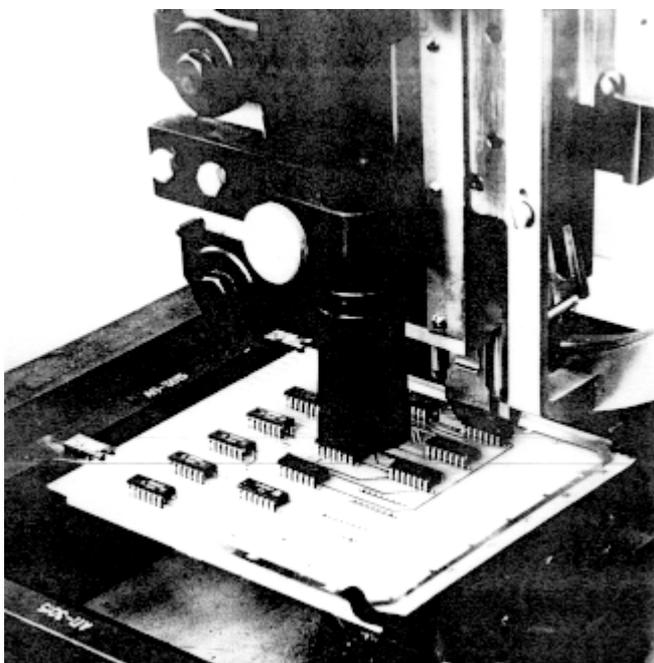


Рис. 2.5. Сборочная головка



Рис. 2.6. Установка ИМС на полуавтомате с пантографом

Установки для параллельной сборки используют принцип ударного монтажа фирмы PHILIPS. Установка параллельной сборки имеет неподвижный держатель печатных плат, на котором закрепляется плата 1, установочные головки 2 и магазин компонентов 3. При параллельной установке во времени компонентов используют одновременно до 10 установочных головок, которые вращаются в аксиальном направлении на  $180^{\circ}$ . (рис. 2.7).

Фиксация выводов происходит посредством загибки их в нужном направлении с помощью специального устройства. Чтобы установочные головки не мешали друг другу, они располагаются вокруг печатной платы. Вследствие одновременной установки достигается высокая производительность (до 2500-3000 шт/час), однако перестройка установки на другой тип плат требует много времени, поэтому метод пригоден для крупносерийного и массового производства.

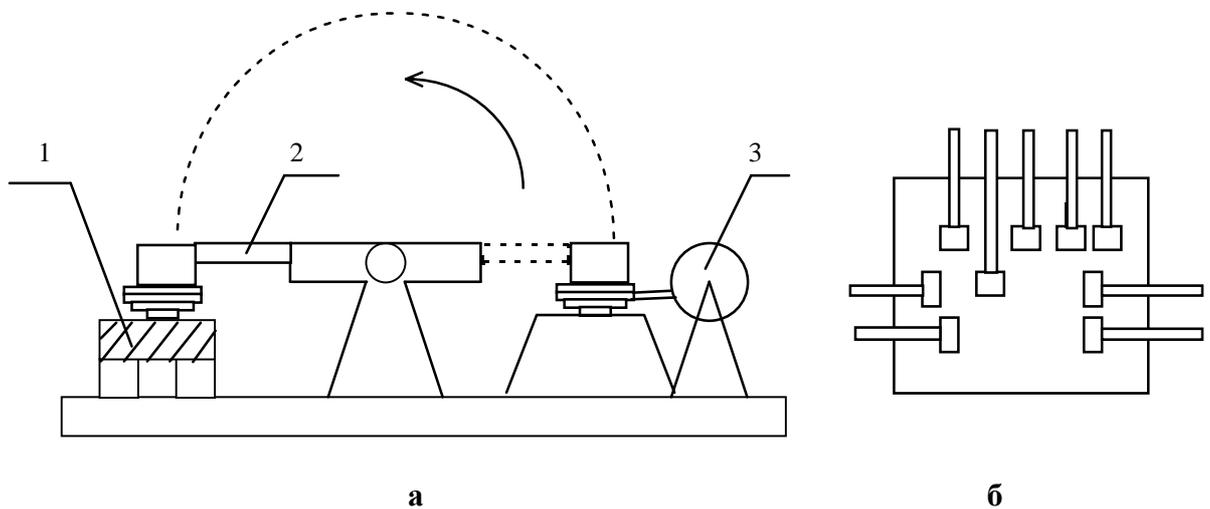


Рис. 2.7. Принцип ударного монтажа:

а - принцип работы, б - расположение сборочных головок,

1 - плата ,2 - головка, 3 - питатель

При изготовлении электронно-вычислительной аппаратуры, характеризующейся большим числом однотипных сборочных единиц - типовых элементов замены (ТЭЗ) применяют сборочные машины с цифровым управлением. Информация, необходимая для управления машиной, считывается из носителя данных: магнитного диска.

К позиционированию стола предъявляют повышенные требования, т.е. необходимая точность составляет  $\pm 0.025$  мм. Параллельно во времени при позиционировании печатной платы происходит выборка компонентов и их транспортирование к сборочной головке. Чис-

ло магазинов должно быть достаточно большим от 20 до 40 для выполнения сменного задания.

Автомат установки на печатные платы ЭРЭ с осевыми выводами и перемычек, вклеенных в ленту в программной последовательности типа “Трофей” (рис.2.8), управляемый с помощью мини-ЭВМ “Электроника-60” имеет техническую характеристику, приведенную в табл. 2.2.

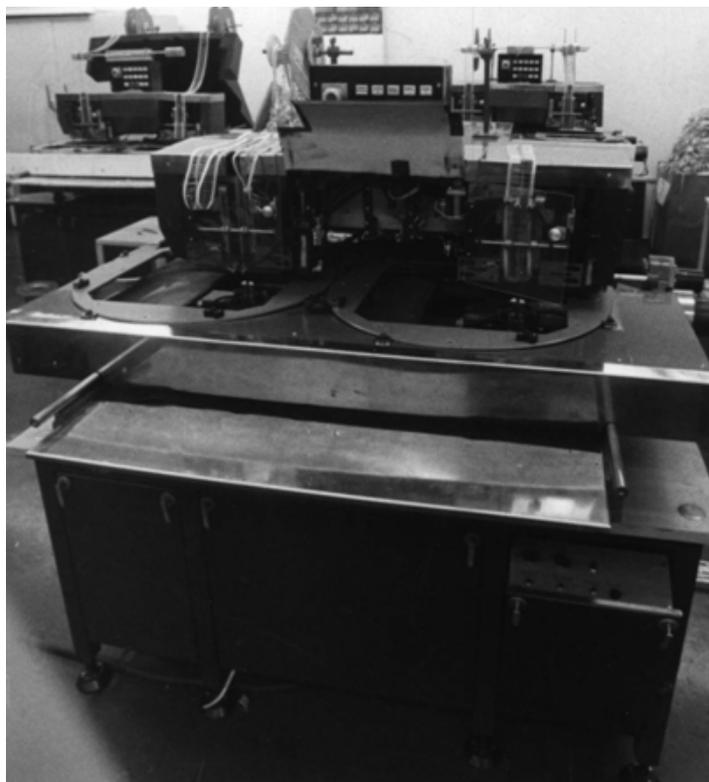


Рис. 2.8. Автомат установки Трофей

Автомат ГГМ 1.149.002 предназначен для сборки ЭРЭ с осевыми выводами - резисторов МЛТ, диодов Д9, Д18, Д223 и др., вклеенных в липкую ленту. Сборочная головка выполняет операции вырезки ЭРЭ из ленты, формовки выводов и установки элементов на ПП с подгибкой выводов.

Координатный стол имеет привод на двигателе постоянного тока СД-75Д с максимальной скоростью позиционирования 0.1 м/с и минимальным шагом 0.02 мм.

Управление автоматов осуществляется от стойки ЧПУ, программноноситель - 8-дорожечная перфолента.

Таблица 2.2

## Техническая характеристика автоматов для установки ЭРЭ

Параметры	“Трофей” СССР	ГГМ 1.149.002 СССР	ГГМ 1.149.007 СССР	NM-2050 Япония
Производительность, шт/час	9000	6000	2000	14000
Габаритные размеры плат, мм	380x380	320x320	360x360	330x250
Размеры корпусов элементов, мм	2.2-9.0	2.0-4.0	4x4; 6x6; 8x8	-
Установочные размеры, мм	10-32.5		7.5-15	5-12.5
Типы выводов и элементов	осевые выводы МЛТ, Д18, перемычки		однонаправ- ленные, КМ	20 типов ЭРЭ
Количество сборочных головок	2	2	1	2
Электропитание, кВт	1.0	1.5	1.0	1.5
Пневмопитание, МПа	0.5	0.5	-	-
Габариты, мм	1650x 1500x1500	1600x 1200x1680	1600x 1200x1630	4660x 1455x1400
Масса, кг	1000	500	500	2800

Для автоматизированной сборки и пайки выводов ИМС с планарными выводами в корпусе типа 401.14 и др. применяют автоматы с числовым программным управлением типов АРПМ, АУП-007, УСПА-1 (СССР) (табл. 2.3).

Автомат сборки плат АСП-902П может устанавливать корпуса ИМС 4-х типоразмеров с 14 и 16 выводами (рис.2.9).

Перед сборкой ПП закрепляются в пакетах, которые пакетом в 5-10 шт устанавливаются на транспортно-накопительном модуле. Кассеты с микросхемами закрепляются на платформах вибрационных питателей.

Таблица 2.3.

## Технические характеристики автоматов сборки для ИМС с планарными выводами

Параметр	АРПМ	АУП-007	АСП-902П
Производительность, шт/час	400	300	800
Габаритные размеры ПП, мм	250x250	250x250	200x270
Емкость накопителя ИМС, шт	1500	1500	1500
Пайка ИМС: вид время, с	точечная 9	точечная 12	групповая 4
Мощность, кВт	1.0	3.0	2.5
Габариты, мм	1400x850x1020	1950x1200x1650	1950x1930x1630
Масса, кг	170	600	1000

Клей наносится двумя методами: на печатную плату дозатором (универсальный метод) или на дно микросхемы с помощью ванночек с клеем (более производительный метод).

По программе палета с платой из накопителя подается в рабочую зону, сборочная головка меняет хват, вакуумной присоской захватывает из кассеты микросхему, устанавливает ее на плату и производит пайку выводов групповым паяльником. После сборки палета с платой подается в накопитель. Загрузка кассет ИМС в 14-ти выводном корпусе обеспечивает непрерывную работу автомата в течение часа.

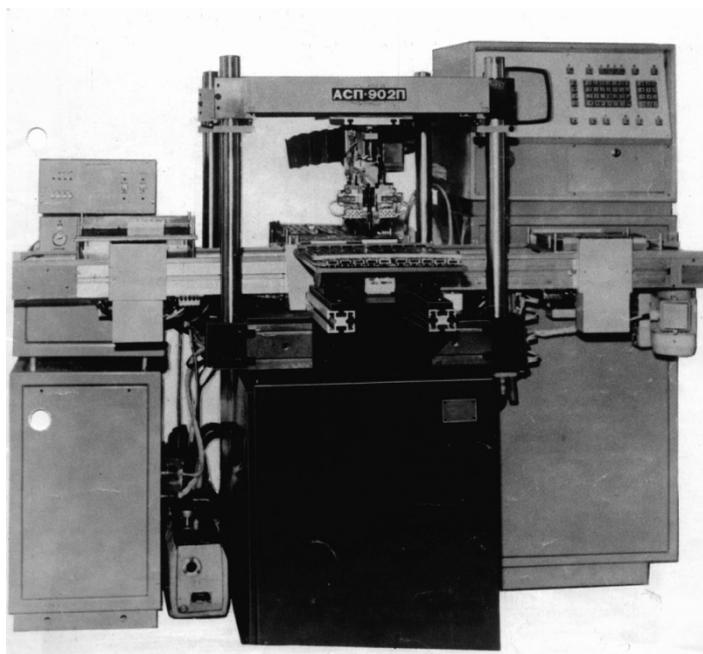


Рис. 2.9. Автомат сборки плат АСП-902П

Автоматизированная система TBR 2100 (рис. 2.10.), управляемая компьютером, предназначенная для монтажа электронных компонентов на гибридных тонкопленочных и толстопленочных схемах и печатных платах, включает:

- захват для подложки, который автоматически снабжает установку;
- систему транспортировки подложки к модульному транспортеру, снабженному кареткой;
- 4 робота, которые можно запрограммировать с целью подъема компонентов с конвейерных систем и установку их на подложку;
- систему для транспортировки подложки с компонентами, смонтированными на каретках в печь повторного отжига.

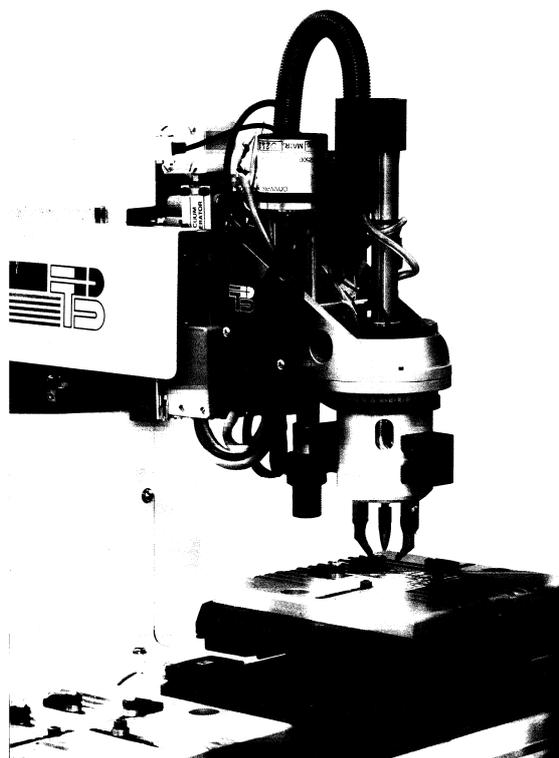


Рис. 2.10. Автоматизированная система TBR 2100

Модульный транспортер перемещает каретки посредством 2-х постоянно движущихся лент, на которые свободно установлены каретки. Он включает модули длиной 2 м, длину которых можно увеличивать до 50 м. Вследствие высокой гибкости, основная модель может быть модифицирована и адаптирована к новым условиям с минимальными потерями времени. Технические данные: длина – 7 м; ширина – 0,5 м; длина ленты – 12 м/мин; роботизированные посты – 4; размеры кареток: 160x160 мм.

### 2.3. ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ МОДУЛИ СБОРКИ И МОНТАЖА

Трудоемкость сборочно-монтажных работ составляет 40-60% общей трудоемкости изготовления ЭА, поэтому повышение производительности труда на этих операциях за счет автоматизации ТП, может осуществляться за счет внедрения ГПС.

Основными составными частями ГПС являются ГПМ и РТК.

ГПМ- это единица технологического оборудования, автономно функционирующая с программным управлением и имеющая возможность встраивания в ГПС.

РТК - это совокупность единицы технологического оборудования, промышленного робота и средств оснащения, автономно функционирующих по заданной программе.

Для организации ГПМ сборки и монтажа предъявляются следующие требования к ИЭТ:

1) наличие четко выраженного и конструктивно оформленного ключа в виде скоса, выступа, выемки и т.д. на корпусе элемента в зоне первого вывода. Нумерация остальных выводов ведется слева направо или по часовой стрелке.

2) Упаковка ИЭТ в тару, допускающую машинную обработку, например, элементы 1-ой и 2-ой групп (неполярные ИЭТ- резисторы, конденсаторы, полярные ИЭТ- диоды, конденсаторы) с осевыми выводами должны поставляться вклеенными в 2-х рядную липкую (бумажную) ленту.

3) Конструкция ИЭТ должна обеспечивать стойкость к технологически воздействиям:

- 3-х кратной пайке без теплоотводов при 265 С в течение не более 3с;

-выводы должны иметь хорошую паяемость с используемым ФКСП без дополнительного подогрева в течение 12 месяцев с момента изготовления;

- виброотмывке в спирто - бензиновой смеси 1:1 с частотой 50+5 Гц и амплитудой колебаний до 1мм в течение 4 мин.

-УЗ очистки в диапазоне частот 18-22 Кгц с интенсивностью 0,4-0,6 Вт/см<sup>2</sup> (амплитуда 4-6 мкм) в течение 2 мин (кроме ППП и ИМС).

4) Печатные платы должны быть прямоугольными с соотношением сторон не более чем 1:2, для обеспечения их достаточной жесткости при воздействии автоматической укладочной головки.

5) Для фиксации ПП на координатном столе сборочного автомата в конструкции ПП должны быть предусмотрены базовые фиксирующие отверстия с точностью расположения не хуже 0,05мм.

б) Платы должны иметь зоны, свободные от ИЭТ для фиксации их в направляющих координатного стола, накопителях, транспортной таре. Эти зоны располагаются, как правило, вдоль длинных краев ПП на расстоянии 5мм для бытовой, 2,5мм для специальной аппаратуры.

ГПМ установки ИМС в корпусах типа 2 на ПП и, при необходимости крепления на ней подгибкой двух выводов ИС в корпусах типа 2, уложенных в технологических кассетах приведен на (рис. 2.11).

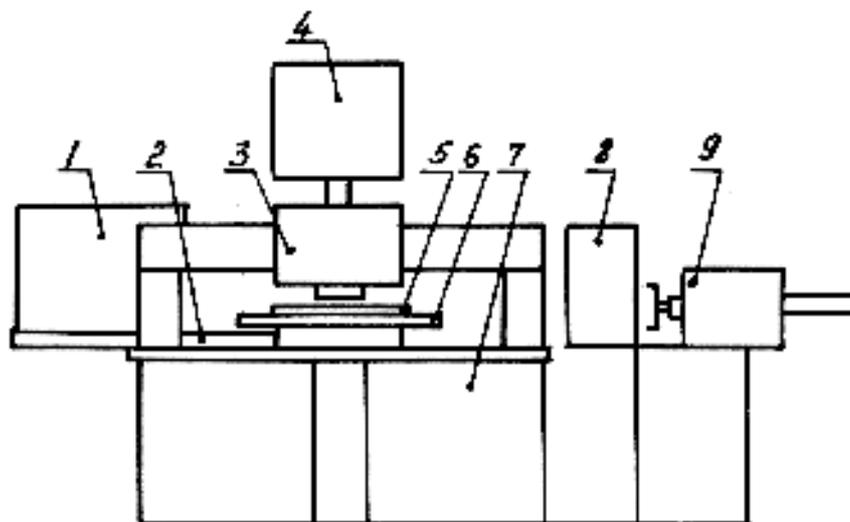


Рис. 2.711. ГПМ установки ПП ИМС в корпусе типа 2

Процесс функционирования ГПМ следующий. ПП из накопителя 8 подается устройством загрузки-выгрузки к координатному столу 6 сборочного автомата и фиксируется в нем с помощью фиксирующего устройства 5. Координатный стол при этом выводится в нулевое положение. После фиксации ПП координатный стол перемещается к укладочной головке 3, которая в соответствии с заданной программой производит выбор нужного типа ИС из накопителя (линейного 1 или роторного 4), установку ИС выводами в отверстия ПП. При необходимости, подгибочная головка может осуществить подгибку выводов двух выводов с целью дополнительного крепления ИС на ПП. Для ИС с числом выводов 14 и более в дополнительном креплении необходимости нет. - ИС держится на ПП за счет пружинения выводов, вставленных в отверстия.

Технические характеристики ГПМ установки на ПП ИМС в корпусе типа 2 (DIP) приведена в табл. 2.4.

ГПМ установки на ПП ИМС в корпусе типа 2 (DIP)

Параметры	Модель	
	ГГМ1.149.015	DIPG «Dynapert» (США)
Производительность, шт/ч	2500	4500
Размер рабочего поля, мм	260x260	457x457
Ёмкость накопителя ПП, шт	10; 20	15; 90
Ёмкость накопителя ИМС, шт	900	1200
Тип кассеты	этажерочный	прямоточная
Габаритные размеры установки, мм	1400x1000	2450x1650
Масса, кг	480	650

Автоматическая линия фирмы Fuji (Япония) для установки элементов с осевыми выводами состоит из сборочного центра, автоматического питателя, терминала управления и устройства ввода цифровой информации (рис.2.12). Сборочный центр имеет поворотную планшайбу с 8-ю рабочими головками, которые поочередно осуществляют захват элементов и установку на печатной плате в определенном программой месте. Печатные платы размещаются в магазине-накопителе горизонтально по 25 штук, откуда они подаются на рабочий стол и базируются на два штифта и опорные поверхности.

Рабочий стол по программе перемещается по двум координатам и имеет угловой поворот. Бобины и пеналы-кассеты с лентами элементов устанавливаются в сменные накопители. Ленту заправляют в подающее и формующее устройство в накопителе, который устанавливают на поворотную карусель. Обеспечивается автоматическая последовательность в поиске необходимого элемента, шаговая подача ленты, извлечение элемента из ленты, формовка его выводов и передача элемента на перегрузочный механизм, откуда он будет захвачен рабочей головкой и установлен на плату.

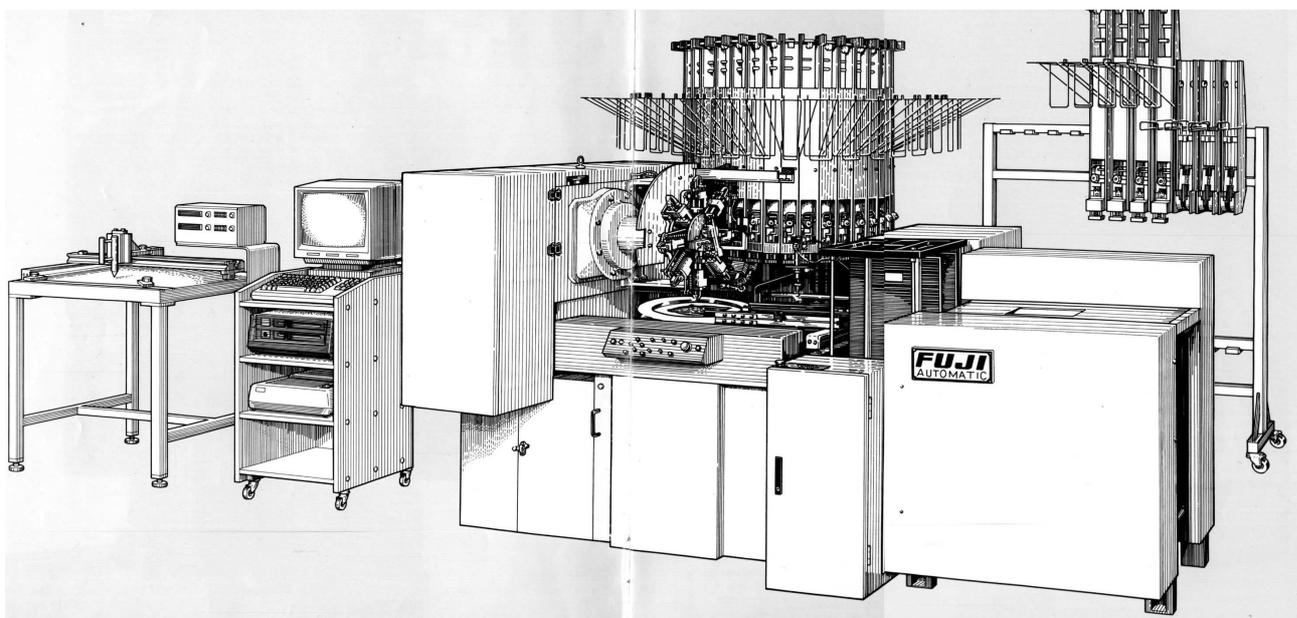


Рис. 2.12 Автомат фирмы Fuji для установки элементов с осевыми выводами

РТК пайки ПП волной припоя предназначен для выполнения монтажных соединений на ПП способом пайки за счет автоматического выполнения операций загрузки-разгрузки, флюсования, подогрева, пайки и удаления излишков припоя (рис. 2.13).

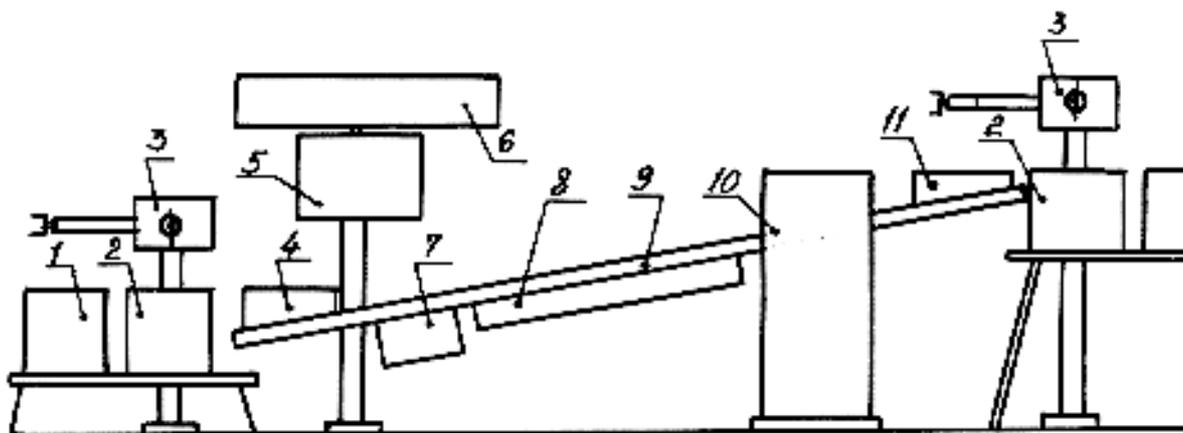


Рис. 2.13. ГПМ пайки волной припоя

Печатная плата с установленными на ней ИЭТ извлекается роботом 3 из накопителя 1, устанавливается на специальную кассету и через устройство загрузки 4 передается на транспортер 9 линии пайки. Транспортер (цепной конвейер) последовательно перемещает ПП через агрегаты линии пайки. В агрегате флюсования 7 поверхность монтажных элементов, подлежащих пайке, смачивается флюсом, подающимся в виде пены к нижней поверхности ПП.

В агрегате подогрева 8 происходит испарение жидкости, используемой в качестве растворителя флюса, необходимого для предотвращения разбрызгивания расплавленного припоя при попадании на него капелек жидкого флюса с поверхности ПП, а также подогрев ПП до 75-125 С с целью уменьшения термоудара при погружении ПП в волну расплавленного припоя при температуре 260<sup>0</sup>С. Способ нагрева - терморрадиационный. Температура должна быть максимальной, но не выше той, которую допускают ИЭТ, установленные на ПП. Техническая характеристика ГПМ приведена в табл. 2.5.

Таблица 2.5.

ГПМ волновой пайки

Параметры	Модели	
	Kirsten (Швейцария)	ЛПМ-300
Ширина и высота волны, мм	330x20	300x12
Скорость транспортёра, м/мин	0.3-3.0	0.8-3.0
Угол наклона, град	0-12	0-12
Потребляемая мощность, кВт	12	15
Тип нагнетателя припоя	электромагнитный	механический
Габаритные размеры, мм	3600x900x850	2500x850x1500
Управление	МПУ, дисплей	пульт

### 3. ТЕХНОЛОГИЯ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

#### 3.1. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Контрольно-диагностические работы являются неотъемлемой частью технологического процесса производства ЭА. Технология контроля представляет собой совокупность контрольных операций, включаемых в технологический процесс. Контрольные операции назначаются после:

- 1) наиболее важных технологических операций, обеспечивающих выполнение основных размеров и параметров изделия ;
- 2) операции, при которых возможно появление брака (сложность обработки, строгие ограничения в режимах обработки) ;
- 3) финишных (заключительных) операций.

Контрольные операции оснащаются средствами контроля: инструментом, приспособлениями, приборами и заносятся в карты технологического процесса.

Виды контроля классифицируют по объекту, цели, охвату, срокам и методам реализации (рис. 3.1).

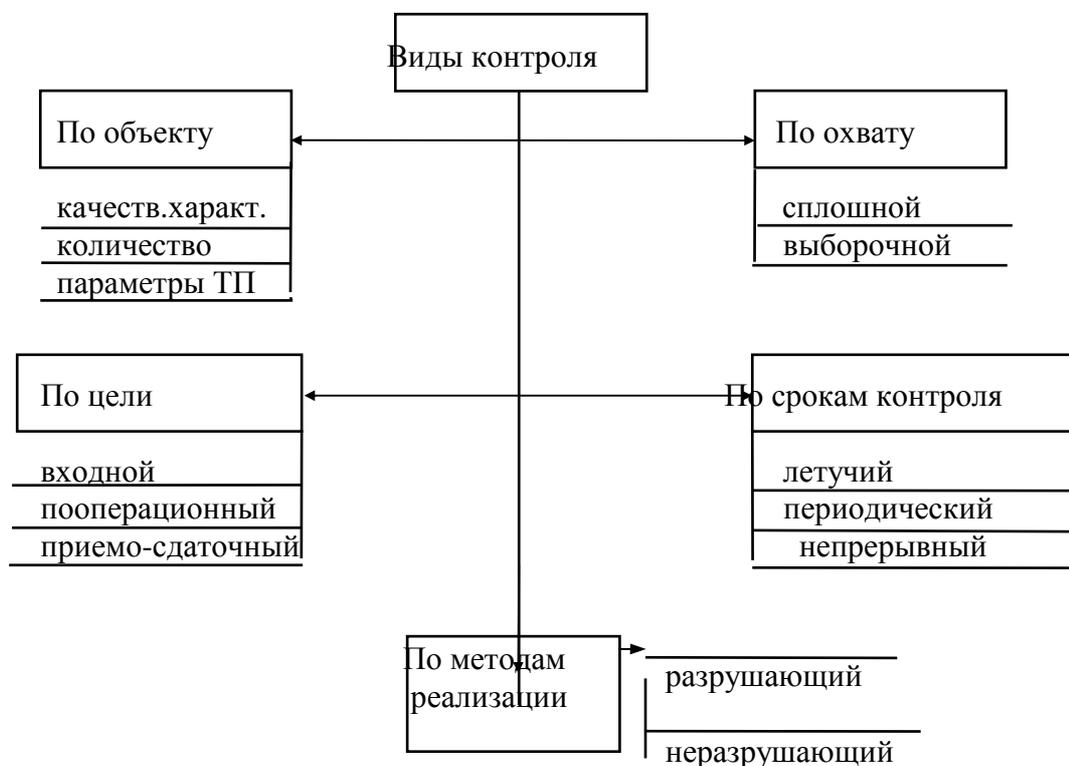


Рис. 3.1. Классификация видов контроля

Применяют следующие виды контроля:

1) Рабочий контроль (РК), предусматривающий проверку качества деталей, сборочных единиц самим рабочим в конце работы. Записывается в ТД в виде перехода, является сплошным или выборочным.

2) Профилактический контроль (ПК), проводимый мастерами и технологами цеха в сроки, предусмотренные графиком, в целях проверки наблюдения технологической дисциплины производства. Этот вид контроля в технологических картах не оговаривается, однако его проведение является обязательным для сборочных цехов.

3) Контроль наладки (КН), предусматривающий контроль качества изделий при наладке оборудования. После наладки оборудования наладчик обязан изготовить не менее 3-х деталей и сборочных единиц и предъявить их контролеру ОТК. После проверки на соответствие ТУ одна деталь возвращается наладчику, вторая передается мастеру участка как эталон, дающий право проводить работу, третья деталь остается у контролера. Контроль наладки указывается в технологическом процессе специальной операцией.

4) Выборочный контроль (ВК) предусматривает отбор из каждой партии пробы в размере 2% от партии, но не менее 3 шт., и не более 100 шт., контроль качества деталей и сборочных единиц. Если в пробе после ВК обнаружены детали с дефектами в количестве не больше 1%, то партия возвращается в цех мастеру на разбраковку. При повторном предъявлении контролер ОТК отбирает пробу в удвоенном количестве. При повторном браке принимается решение подвергать 100% изделий контролю в течение определенного срока, устанавливаемого начальником ОТК предприятия. ВК указывается в технологических документах специальной операцией с размерами и параметрами, подлежащими контролю, и средствами контроля.

5) Статистический контроль (Ст.К) предусматривает контроль качества выпускаемой продукции систематическими проверками изделия в процессе изготовления. Через определенные промежутки времени контролер обходит рабочие места и производит контрольные замеры, делает соответствующие отметки в контрольной карте. Если отметки приближаются к границам полей допусков, то контролер делает предупреждение рабочему и наладчику о необходимости переналадки оборудования. При обнаружении брака работа прекращается.

6) Контроль режимов (КР) осуществляется в соответствии с технологическими инструкциями и предусматривает проверку параметров технологического процесса, рабочих составов материалов. В ТИ указываются сроки контроля составов и взятия проб для анализа в химической лаборатории предприятия.

7) Специальный контроль (Сп.К) предусматривает контроль качества по специально разработанной технологии, оснащенной комплексом приспособлений, приборов, инструмента, отражающей требования карт технологического контроля.

Обязательными контрольными операциями после сборки и монтажа РЭС являются визуальный и электрический контроль. Визуальным контролем проверяют:

- 1) внешнее соответствие изделия чертежу, образцу;
- 2) качество крепления деталей, сборочных единиц (совмещается с операцией стопорения резьбовых соединений);
- 3) качество паяных и сварных соединений;
- 4) отсутствие внешних дефектов (трещин, вмятин, следов коррозии и т.д.);
- 5) качество отделки поверхности в сравнении с эталоном или образцами;
- 6) маркировку изделий и отдельных сборочных единиц.

Наружный осмотр проводят как невооруженным глазом, так и с помощью лупы (x4), микроскопа бинокулярного типа МБС-9 с увеличением x50 или специальных приборов и приспособлений.

Дефекты при сборке сборочных единиц возникают в результате неправильного программирования, технических отказов или субъективных факторов. Поэтому целесообразно проверить качество и правильность сборки до монтажа.

Принцип практической проверки проведенной сборки основан на оптическом сравнении смонтированной печатной платы с эталонной (рис. 3.2).

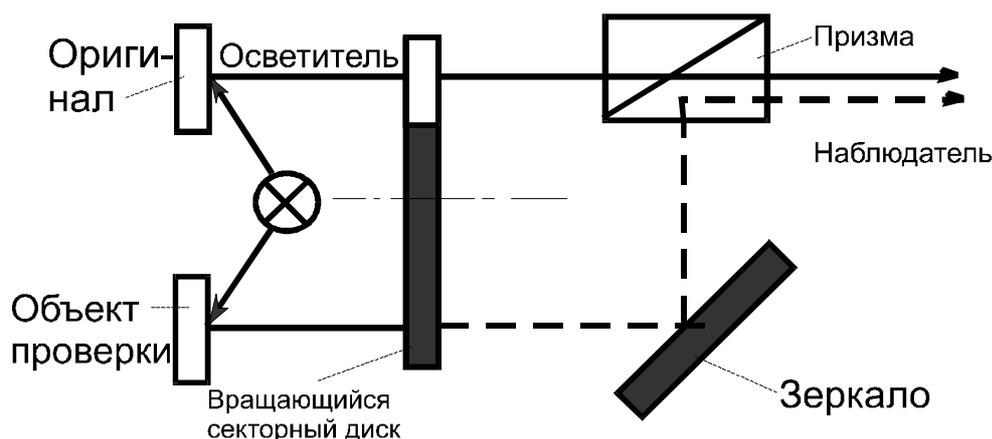


Рис. 3.2. Метод оптического сравнения

Вращением секторного диска с частотой несколько Гц добиваются, чтобы наблюдатель при полном соответствии плат имел впечатление постоянного рисунка, если есть различия, то появляются мерцания.

Применение систем технического зрения (СТЗ) становится предпосылкой создания систем адаптивного управления, которые приобретают такие положительные качества, как универсальность и гибкость динамической перестройки.

Основой СТЗ являются телевизионные вычислительные системы, работающие на времяимпульсной базе, в которой  $f(L)=f1(T1)$ . При перемещении сканирующего луча в направлении оси времени края измеряемого объекта будут последовательно пересекаться в точках  $x_1$  и  $x_2$  в момент времени  $t_1$  и  $t_2$ , т.е. каждому размеру будет соответствовать видеоимпульс определенной длительности. Сравнивая его с контрольным, можно измерять размеры объекта с точностью до 0,1% (рис. 3.3).

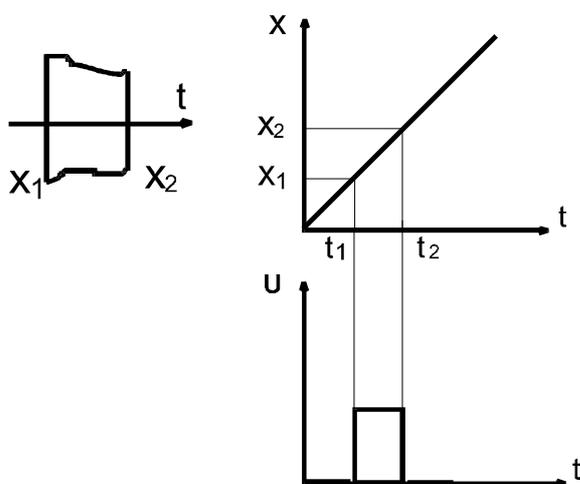


Рис. 3.3. Принцип времяимпульсной системы

В современных СТЗ зрительная информация, преобразованная в матричный массив цифровых данных, обрабатывается на ЭВМ по определенным алгоритмам.

Структурная схема СТЗ включает:

- телевизионный преобразователь (видикон), преобразующий световое изображение наблюдаемого объекта в видеосигнал;
- устройство обработки видеосигнала, осуществляющее преобразование видеoinформацию в соответствующий массив цифровых данных;
- ЭВМ, осуществляющую обработку информации по алгоритмам распознавания и выделения объекта (рис. 3.4).

Фотоэлектрические преобразователи, применяемые в СТЗ, разделяют на две группы: вакуумные телевизионные трубки (видиконы) и приборы с зарядовой связью (ПЗС). С открытием в 1969 г. ПЗС открылись принципиально новые возможности для СТЗ. Чувствительность ПЗС составляет несколько тысяч телевизионных линий (трубка - 750), отсутст-

вие инерционности, потребляемая мощность снижается в 10 раз, масса - в 10 раз, долговечность - в 30 раз.

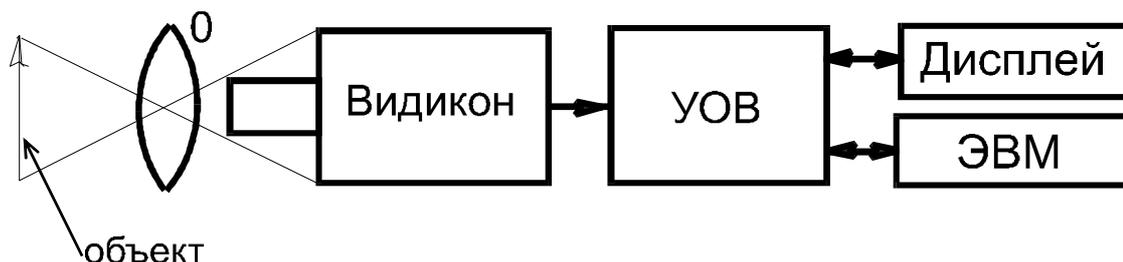


Рис. 3.4. Обобщенная структурная схема СТЗ: О - оптика

Дополнительные достоинства фотоприемников на основе ПЗС заключаются в использовании разнообразных полупроводниковых материалов, что позволяет перекрыть широкую область электромагнитного спектра, включая и ИК- область.

Примером использования СТЗ в целях контроля является установка контроля микрообъектов УКМ-1 (рис. 3.5), которая применяется при выполнении сборочных операций в производстве ИМС и других элементов РЭА. Установка состоит из видеокамеры, закрепленной на штативе, предметного столика, блока питания и ВКУ. Технические характеристики установок контроля с СТЗ приведены в табл. 3.1.

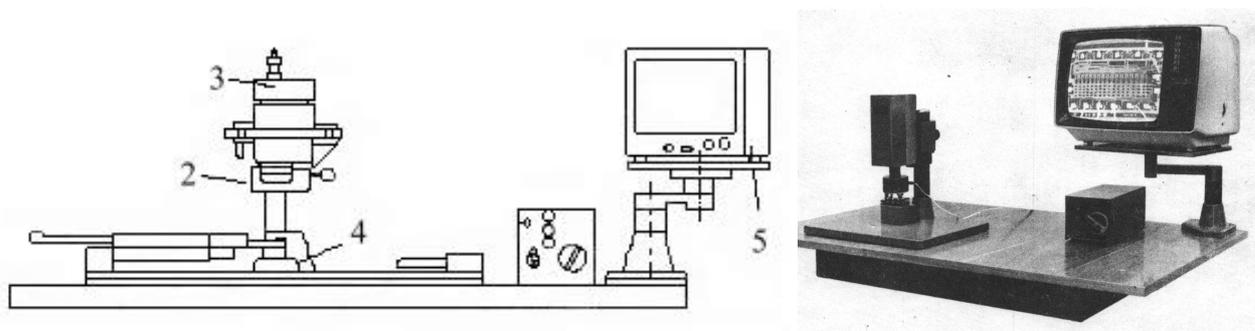


Рис. 3.5. Установка контроля микрообъектов УКМ-1

Микроструктурный анализатор MSA - это бесконтактный оптический контрольно-измерительный прибор для распознавания структурных признаков, позиционирования и измерения геометрических величин (рис. 3.6). Он обеспечивает возможность распределения элементов по критериям отбора при контроле в производственном процессе, что сокращает брак при больших допусках.

Таблица 3.1.

## Установки контроля с СТЗ

Параметры	Модель	
	Увеличение телесистемы	УКМ-1 (Россия) 100 + 5
Разрешающая способность, лин/мм	не менее 63; 100	
Поле зрения, мм	2,6x2,0; 1,2x0,9	60x48 мкм; 60x48 мкм
Габаритные размеры, мм	1200x1080x1250	1500x800x600
Масса, кг	100	200



Рис. 3.6. Микроструктурный анализатор MSA

Изображение воспринимают двумя методами: теньвым и отраженным. По теньвому - объект располагается между источником света и камерой, зона качественного изображения меньше зависит от освещенности ( $0,5 - 1 \times 10^3$  Лк). Но отраженный метод позволяет лучше распознавать объекты (читать маркировку элементов), хотя и требует большей освещенности (до  $2 \times 10^3$  лк).

Значение яркости в каждой точке изображения  $R$  выражается формулой:

$$R = I \xi \cos \alpha, \quad (3.1)$$

где  $I$  - интенсивность падающего света,

$\xi$  - отражательная способность,

$\cos \alpha$  - угол падения луча к нормали к поверхности.

С точки зрения спектральной области анализа изображений разделяют 4 физических принципа организации СТЗ:

- в видимом диапазоне (0,38-0,78 мкм) - 80% ;

- лазерное сканирование (1,06 мкм) - 10% ;
- в ИК диапазоне (0,78-3,0 мкм) - 5% ;
- в рентгеновском диапазоне (менее 0,28 мкм) - 5%.

Производительность контроля СТЗ достигает 60 фрагментов/мин при подсчете количества элементов и 120 при сортировке по изображению.

Типичные задачи СТЗ в производстве ЭА по видам работ:

- Контроль качества пайки блоков - 12%.
- Контроль качества навесного монтажа - 13%.
- Контроль качества проводников ПП - 8%.
- Контроль качества сборки гибридных ИМС - 10%.
- Контроль качества подложек - 4%.
- Томографическое тестирование - 4%.
- Другие задачи - остальное

Способом измерения (СИ) проверяют:

- 1) линейные размеры, массу;
- 2) физические параметры (давление, вязкость, твердость);
- 3) электрические параметры;
- 4) правильность монтажных соединений и др.

Для измерения линейных размеров используются штангенциркули, микрометры, индикаторы малых перемещений. Фирма “Mauser” (ГЕРМАНИЯ) предлагает эти инструменты с цифровым отсчетом.

Контроль правильности электрических соединений является необходимой операцией, предшествующей настройке. Эту операцию осуществляют, используя электромонтажные схемы изделия. Автоматизация контроля достигается применением установок, работающих по принципу неуравновешенного моста.

Схема автоматизации контроля применяется двух видов. Первая (рис. 3.7) предназначена для контроля цепей с короткозамыкающими перемычками, замыканиями на корпус и индуктивностями с малым омическим сопротивлением, а вторая - для проверки цепей с омическими сопротивлениями.

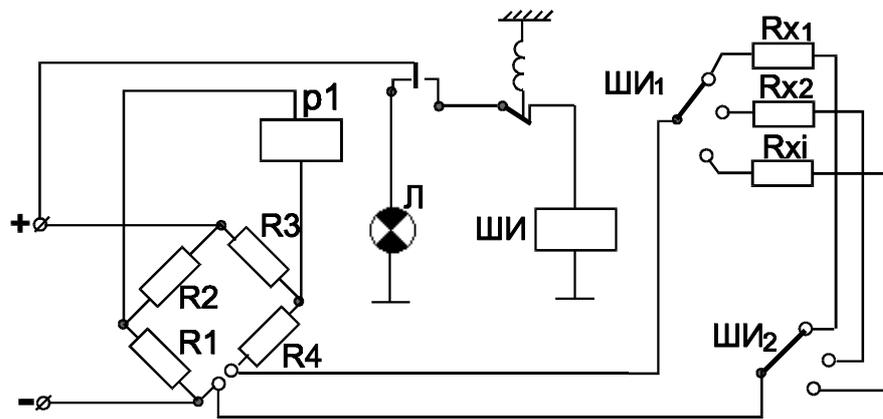


Рис. 3.7. Схема электрического контроля малых сопротивлений

На резисторах R1-R4 собран мост постоянного тока, в точках 1 и 2 шаговым искателем периодически подключаются цепи проверяемого монтажа. При ошибочной установке резистора в проверяемую цепь ток разбаланса будет достаточен для срабатывания реле, включенного в диагональ моста. Контакты реле, через которые замыкается цепь питания шагового искателя, размыкаются, последний прекращает работу, на табло загорается контрольная лампочка номера цепи.

Вторая схема автомата (рис. 3.8) посредством этого же шагового искателя в плечи моста включает проверяемые резисторы Rx и соответствующие им эталонные резисторы Rэ. В одну из диагоналей моста включен усилитель постоянного тока УПТ, нагрузкой которого является электромагнитное реле. Коэффициент усиления УПТ выбран таким образом, что если проверяемое сопротивление резистора лежит вне пределов допуска, реле срабатывает и разрывает цепь питания шагового искателя.

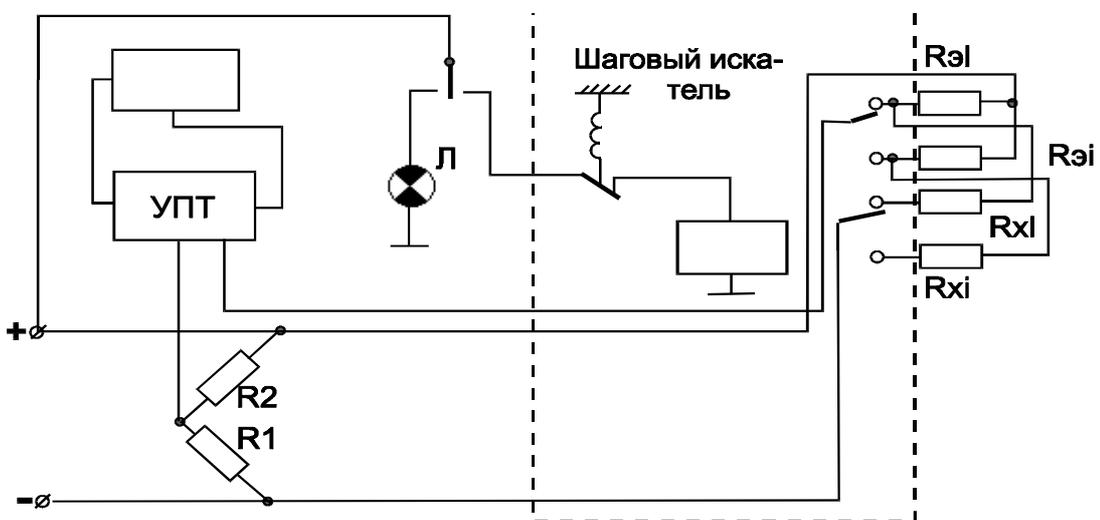


Рис. 3.8. Схема электрического контроля резисторов

Прибор технической диагностики для проверки резисторов, диодов, наличия х-з перемычек на плате видеоканала телевизора "Горизонт" имеет контактное устройство для одновременного подключения контролируемых цепей. Проверка производится последовательным способом с отражением результатов на табло. Время проверки всей платы не более 20 с.

Система технологическая 1013 предназначена для автоматизированного внутрисхемного контроля аналоговых, цифровых или цифро-аналоговых печатных блоков.

Технические характеристики:

Максимальное количество каналов контроля	760
Максимальный размер блоков, мм	240x360
Шаг контактов, мм	2,5
Производительность контроля:	
параметров ЭРЭ	15-17 шт/с
цифровых ИС	5-12 шт/с
топологии	150 пров./с
Масса, кг	750
Габариты, мм	1985x2250x1300
Потребляемая мощность, кВт	2,0
Площадь, кв.м	3,5
Состав обслуживающего персонала:	оператор, механик, инженер

Виды контроля:

- параметры ЭРЭ (диоды, резисторы, катушки реле, стабилитроны, конденсаторы, транзисторы (биполярные, полевые));
- параметры аналоговых и цифровых ИС;
- контроль топологии (короткие замыкания, обрывы печатных проводников);
- контроль токов и напряжений.

Подключение блоков к адаптеру с помощью игольчатых контактов.

Внутрисистемное тестирование предполагает возможность доступа к внутренним электрическим контактам и компонентам блока и сборочной единицы. Для обеспечения доступа к внутренним контактам приборы технической диагностики (автоматические тестеры) имеют матрицу подпружиненных штифтов (рис. 3.9), состоящую из фиксированной и подвижной плат, контактных игл, установленных с заданным шагом, средств фиксации изделия.

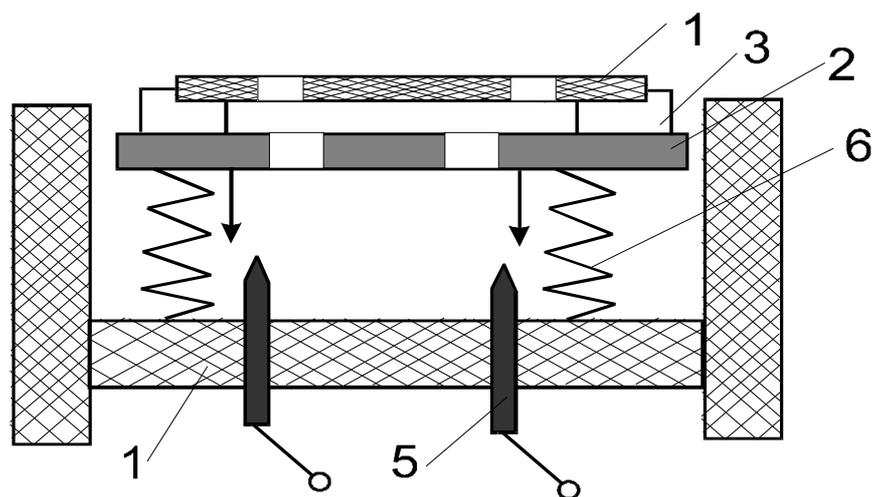


Рис. 3.9. Матрица подпружиненных штифтов:

1- неподвижное основание, 2- подвижная плата, 3- уплотнение, 4- изделие,  
 2- 5- контактная игла, 6- пружина

### 3.2. ДИАГНОСТИКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Под технической диагностикой отказов понимают комплекс мероприятий, направленных на изучение отказов в процессе проектирования, производства и эксплуатации аппаратуры и разработку возможных методов повышения надежности изделий.

Техническая диагностика включает проведение испытаний ЭА:

- 1) на функционирование, которые устанавливают соответствие характеристик изделия требованиям ТУ при работе в течение относительно короткого времени;
- 2) на воздействие окружающих условий, обычно при максимальных значениях температуры, ударных нагрузок, вибраций;
- 3) на надежность, в ходе которых устанавливают соответствие характеристик изделия требованиям ТУ при работе в течение всего заданного интервала времени.

Для диагностики отказов ЭА создаются системы анализа отказов (САО), которые предусматривают определенный порядок проведения анализа, его информационное, методическое и техническое обеспечение.

Порядок проведения анализа заключается в изучении и анализе сопроводительной документации на изделие, составление и проведение программ анализа брака, составление актов, протоколов или отчетов в установленном порядке заинтересованным организациям отчетов по анализу брака.

Информационное обеспечение базируется на регламентирующих документах различного уровня (межотраслевых, отраслевых и предприятия), информационных массивах (банках), хранимых в ЭВМ.

Система анализа отказов ЭА (рис. 3.10) состоит из следующих элементов:

- 1) устройства диагностирования, производящего контроль работоспособности подсистемы изделия и поиск отказавшей подсистемы;
- 2) устройства оценки достоверности анализа;
- 3) устройства априорной информации, включающие блоки памяти о вероятностях отказов подсистемы в зависимости от условий их работы;
- 4) устройство принятия решения, по результатам действия которого принимается решение либо о достаточной достоверности анализа отказа и перехода к следующей подсистеме, либо о повторении анализа на том же уровне с применением дополнительной априорной информации.

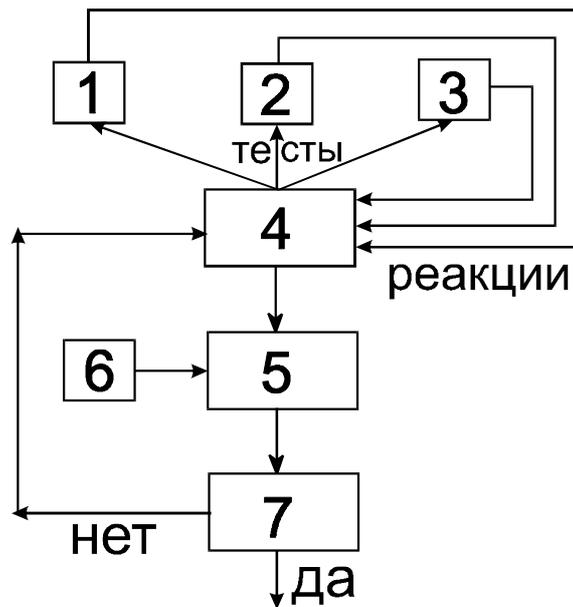


Рис. 3.10. Схема анализа отказов : 1, 2, 3, - блоки,  
4 - устройство диагностирования, 5-устройство достоверности анализа,  
6 - банк априорной информации, 7 - устройство принятия решения

При реализации САО должны выполняться следующие принципы технической диагностики:

- 1) рекуррентности,
- 2) неповреждаемости,
- 3) метрологической совместимости,
- 4) производительности.

Согласно принципу рекуррентности, на каждом следующем уровне (блоки, комплектующие изделия и их элементы) схема САО должна повторяться, только ее элементы будут иметь свое содержание в зависимости от используемых методов и технических средств.

Неповреждаемость состоит не только в смысле создания физических дефектов и разрушений, но и условий для протекания деградиационных или информационных процессов.

Принцип метрологической совместимости состоит в обеспечении соответствия метрологических характеристик методов и средств анализа отказов.

Принцип производительности заключается в обеспечении возможности анализа за требуемое время всех отказавших изделий, а в них - всех дефектов, т.е. обеспечить необходимый уровень оперативности и глубины анализа.

При анализе отказов ЭА методика технического диагностирования включает следующие этапы (табл. 3.1).

Таблица 3.1.

## Последовательность, цели и методы анализа отказов ЭА

Основные цели	Методы анализа отказов
1. Диагностирование блока или системы	
Локализация отказавшей сборочной единицы	Программный и тестовый контроль
2. Первичный анализ сборочной единицы, ТЭЗ	
Локализация отказавшего элемента (ЭРЭ,МС)	Измерение электрических параметров. Методы неразрушающего анализа: оптические, радиационные, тепловые и др.
3. Углубленный физико-химический анализ вскрытого элемента.	
1. Оптико- топологическое определение дефектных мест, размеров и формы дефектов	Методы микроскопии: оптической в УФ ИК свете, растровой электронной, протонной, рентгеновской, телевизионной
2. Анализ элементного и фазового состава примесей, загрязнения, коррозионных слоев с распределением по глубине и поверхности	Методы спектроскопии: оптической, абсорбционной, акустоэмиссионной, рентгеновской флюоресцентной, инфракрасной, электронной, ионной ОЖЕ, ядерной гамма-резонансной
3. Анализ структурных дефектов по глубине и поверхности, определение текстуры и направлений осей в кристаллах	Методы интерферометрии: оптической, голографической. Методы анализа: рентгеноструктурного, термогравиметрического, радиационнохимического, микроавтордиографического.
4. Исследование физико-химических свойств, механизмов диэлектрических потерь, проницаемости, поляризации фазовых и магнитных превращений, диффузии	Методы анализа: химического, нейтронноактивационного, газовой хроматографии
4. Моделирование отказов.	
1. Подтверждение результатов и повышение достоверности результатов углубленного анализа	Методы многофакторного физического моделирования внешних воздействий и деградационных или разрушающих дефектов. Методы аналогового, цифрового и имитационного моделирования внешних воздействий и дефектов.

Локализованный ЭРЭ подвергается первичному анализу, который осуществляется без вскрытия корпуса и предназначен для подтверждения факта отказа по результатам измерения параметров. Первым этапом углубленного анализа является вскрытие изделия путем механического или химического удаления корпуса и проведение оптико-топологического наблюдения дефектных мест. Для установления причины и механизма отказа элемента анализируются элементный и фазовый состав, определяются радиационные и структурные дефекты, исследуются физико-химические свойства материала дефектной зоны. Если результаты этих этапов не позволили однозначно определить причины и механизмы дефекта, то производится моделирование отказа и диагностические испытания.

### 3.3. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Первая группа методов диагностики основана на измерении функциональных параметров: электрических, теплофизических и др. Существуют две группы методов: контактные и бесконтактные способы измерения электрических параметров.

При контактном способе измерительные приборы подключаются с помощью специальных контактов: игольчатых, зажимных и ленточных.

Недостатки: возможность повреждения элементов, плат, невысокая производительность.

Бесконтактные способы применяются для диагностики цифровых ИМС.

При работе ИМС в импульсном режиме переменное магнитное поле вокруг схемы может регистрироваться с помощью индуктивного зонда (миниатюрной катушки индуктивности), переменное электрическое поле - с помощью емкостного зонда (медный штырь в электрическом экране) (рис. 3.10).

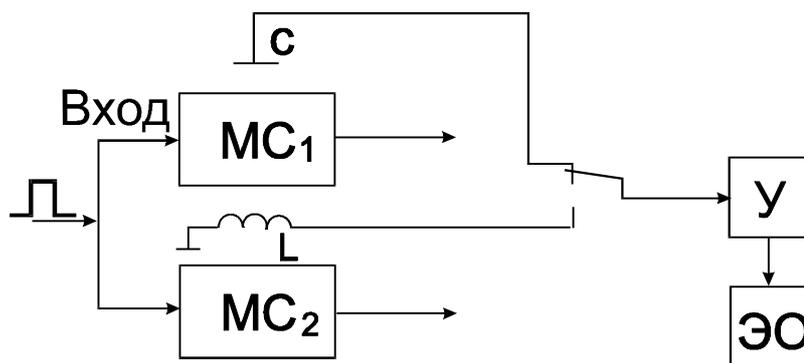


Рис. 3.11. Бесконтактные методы контроля

Вторая группа методов основана на измерении откликов на выходе блоков, ИМС на определенные входные воздействия (методы переходного счета, сигнатурного анализа).

В основе метода переходного счета лежит подсчет числа переходов двоичных символов в противоположные при нулевом состоянии счетчика. Это наиболее простой метод диагностирования цифровых блоков ЭА.

Вероятность пропуска ошибок:

$$q = N_{но} + N_{ош}, \quad (3.2)$$

где  $N_{но}$  - число необнаруженных ошибок,  $N_{ош}$  - число ошибок.

Метод сигнатурного анализа - основан на прослеживании сигналов с учетом их динамики. Для этого к схеме изделия подключают сигнатурный анализатор, который преобразует длинные последовательности двоичных сигналов, поступающие от испытываемого изделия в короткие четырехзначные шестнадцатеричные ключевые коды - "сигнатуры", которые сравниваются с эталонными. Выявляемая ошибка в двоичной последовательности прослеживается по схеме обратным ходом путем просмотра запоминающих элементов и ключей, пока не обнаружится элемент с ошибочным выходным сигналом.

Сигнатурный анализ предназначен для поиска неисправностей в цифровых устройствах с длинными входными и выходными последовательностями (метод компактного тестирования). Метод предполагает программное или аппаратное преобразование каждой выходной последовательности в более короткую - сигнатуру. Результаты преобразования могут представлять собой число единичных значений сигналов (типа 1, 0). Аппаратно это решается при помощи сдвигового регистра с обратными связями и сумматором по модулю на входе. На вход  $x_1$  сумматора поступает двоичная последовательность  $Q$ , которая должна быть преобразована в 16-разрядную сигнатуру. На входы  $a_1, \dots, a_4$  - поступают сигналы с 16, 12, 9 и 7-го разрядов регистра  $D_2$ . Вход "сброс" служит для начальной установки регистра  $D_2$  перед поступлением последовательности  $Q$ . На вход "синхронизация" поступают тактовые сигналы, синхронизирующие работу регистра. Установившиеся значения разрядов регистра после подачи последовательности  $Q$  определяют сигнатуру данной последовательности.

Аналитически функция сумматора  $z = x_1 + a_1 + a_2 + a_3 + a_4$ . Для диагностирования цифровых устройств и приборов с точностью до компонента используется анализатор сигнатурный типа АС-817, работа которого основана на преобразовании (сжатии) входных последовательных двоичных потоков с помощью заторможенного генератора последовательности максимальной длины, который представляет собой регистр сдвига с обратными связями по модулю два. Начало и конец обработки (окна измерения) определяются внешними управляющими сигналами ПУСК и СТОП. Входная двоичная последовательность поступает по входу ДАННЫЕ на регистр сдвига с обратными связями синхронно с управляющим сигналом ТАКТ, также снимаемым с проверяемой схемы (рис. 3.12).

Результирующий двоичный код, получаемый в регистре после прихода сигнала СТОП, дает сигнатуру, которая индуцируется в шестнадцатеричном коде. Упрощенная структурная схема анализатора приведена на рис. 3.13.

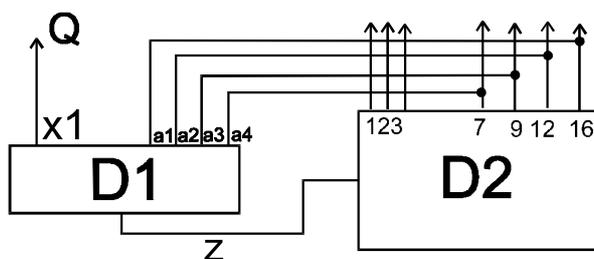


Рис. 3.12. 16-разрядный сигнатурный генератор

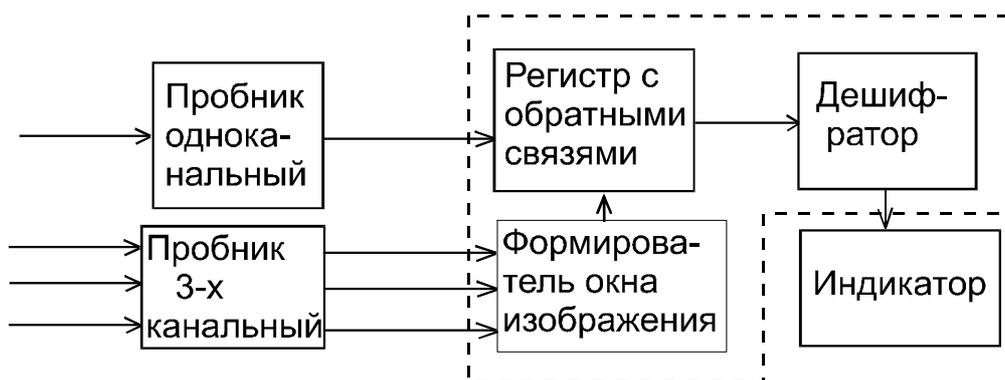


Рис. 3.13. Упрощенная структурная схема анализатора

Выносные пробники обеспечивают возможность подключения к проверяемой схеме для подачи на анализатор управляющих сигналов ПУСК, СТОП, ТАКТ и сигнала ДАННЫЕ.

Вероятность правильного диагностирования 99,998%. Максимальная частота входных управляющих сигналов 10 МГц, минимальная длительность импульсов сигналов 10 нс.

Среди физических методов диагностики и неразрушающего контроля ЭА особая роль принадлежит рентгеновским, являющимся основой систем анализа твердотельных изделий и основанных на использовании информации, полученной в результате взаимодействия рентгеновских излучений с веществом.

Рентгеновские теньевые методы основаны на поглощении излучения веществом и позволяют наблюдать изображение внутренней структуры просвечиваемого изделия благодаря различному коэффициенту поглощения. Эти методы классифицируются по способу регистрации информации на следующие: рентгенографические, рентгеноскопические, рентгенотелевизионные, рентгеностробоскопические.

Рентгеноскопические методы позволяют фиксировать теньевую картину на рентгеночувствительной пленке, обладающей высоким разрешением и чувствительностью, что позволяет документировать результаты анализа.

Рентгенотелевизионная микроскопия основана на том, что изображение попадает на мишень рентгеночувствительного видикона, а для наблюдения получаемых изображений используется телевизионная система. Это позволяет обеспечить возможность наблюдения скрытых микродефектов, высокую производительность, оперативность и безопасность контроля. Технические характеристики отечественных рентгенотелевизионных микроскопов типа МТР-3 и МТР-6 следующие (табл. 3.2):

Таблица 3.2

Рентгенотелевизионные микроскопы

Параметры	Модель	
	МТР-3	МТР-6
Разрешающая способность, линий / мм	20пар	100 пар
Диапазон увеличения	15-35	15-100
Контролируемая чувствительность, %	1,5	1,5-3
Размеры контролируемых объектов, мм	5-150	0,01-100
Максимальное напряжение на рентгеновской трубке, кВ	150	50

С использованием рентгенотелевизионного метода выявляются следующие дефекты:

- неточности сборки полупроводниковых приборов и ИМС,
- нарушение сплошности паяных и сварных соединений, поры, трещины, расслоений в материалах,
- измерения внутренней геометрии изделий и разрушения механических связей и деталей приборов после вибрационных, ударных и тепловых воздействий.

Примером применения рентгенотелевизионной микроскопии является контроль сплошности паянного шва при посадке микрополосковых плат на основание корпуса (96 - 98% сая), а также геометричности паянного шва интегральных схем.

Метод рентгенотелевизионной микроскопии как средство неразрушающего контроля отличается высокой оперативностью и эффективностью контроля, высокой контрастной чувствительностью (1,5%), разрешение до 100 пар линий / мм.

Тепловые (ИК) методы применяются для контроля тепловых режимов, обнаружения зон локального перегрева, выявления областей повышенного или пониженного сопротивления. Тепловые контактные методы основаны на контактной регистрации температуры или её распределения по поверхности изделия с помощью жидких кристаллов, термокрасок, термобумаги, термоэлектрических датчиков (термопар, полупроводниковых терморезисто-

ров, термотранзисторов и др.). Разработанные в настоящее время термоиндикаторы позволяют измерять температуру в диапазоне 36 - 250 °С с погрешностью  $\pm 1 - 2$  °С.

Тепловые бесконтактные методы основаны на регистрации собственного излучения элементов в диапазоне электромагнитных волн с длиной 0.5 - 1000 мкм с помощью оптико-электронных приборов.

Инфракрасные приборы: пирометры, ИК - радиометры и тепловизоры обычно состоят из оптической системы, работающей в ИК - диапазоне сканирующего устройства, ИК - приёмника и фиксирующего устройства. В пирометрах используют фоторезисторы типа СФИ-1 с размерами чувствительной площадки 1 мм<sup>2</sup> и пороговой чувствительностью  $2 \cdot 10^{-10}$  Вт. Модулятор, приводимый в движение электродвигателем с частотой вращения 300 с<sup>-1</sup>, а следовательно частотой модуляции порядка 3600 Гц, периодически прерывает поток излучения. В этот момент на преобразователь подается опорный сигнал и пирометр генерирует электрический сигнал, пропорциональный разности падающего потока излучения от опорного сигнала. Для наведения пирометра на объект и контроля на нем температуры применяют лазерную указку ЛГ-78.

Пирометры типа «Смотрич» (НПО «Термоприбор», Украина) имеют диапазоны измерения температуры от 100 до 3500 °С, основную погрешность до 2.5 %, инерционность - 1 с, рабочее расстояние 0.35-10.0 м. Пирометр Thermopoint (Швеция) обеспечивает измерение температуры движущихся объектов при управлении технологическими процессами изготовления кремниевых интегральных схем, групповой пайки электронных модулей в интервале температур 30- 3500 С с точностью  $\pm 1$  С.



Рис. 3.15. Пирометр Thermopoint

Тепловизоры преобразуют тепловое излучение в видимое на экране, что позволяет качественно и количественно с помощью контрольных точек оценить тепловой режим работы отдельных участков изделия. Основные технические характеристики приборов теплового контроля приведены в табл. 3.3.

В тепловизорах с оптико-механическим сканированием осуществляется последовательное преобразование ИК-излучения в видимое за счёт пространственной развёртки наблюдаемого изображения путём движения оптических элементов: зеркал, призм и др. Такие тепловизоры обладают высокой чувствительностью, достигающей сотые доли градуса, однако имеют плохое разрешение вследствие малого количества строк в кадре и малой частоты строк. Тепловизоры с электронным сканированием с использованием ИК-видиконов имеют температурный порог чувствительности десятые доли градуса, разрешающая способность - 2, аппаратную погрешность измерения температуры 0,5 - 1%.

Формируемый ТВК стандартный видеосигнал несет информацию о тепловом распределении на поверхности контролируемого объекта. Для точного измерения температуры в любой точке обнаружения имеются две подвижные метки: измерительный и опорный маркеры, которые формируются в ГМ и управляют работой АЗУ. Вычитание осуществляется для исключения теплового тока видикона. АЦП преобразует сигнал в цифровой код, который с помощью ЗГ выводится на экран ВКУ (рис. 3.15). Внешний вид тепловизора ИИ-42 ТМ представлен на рис. 3.16.

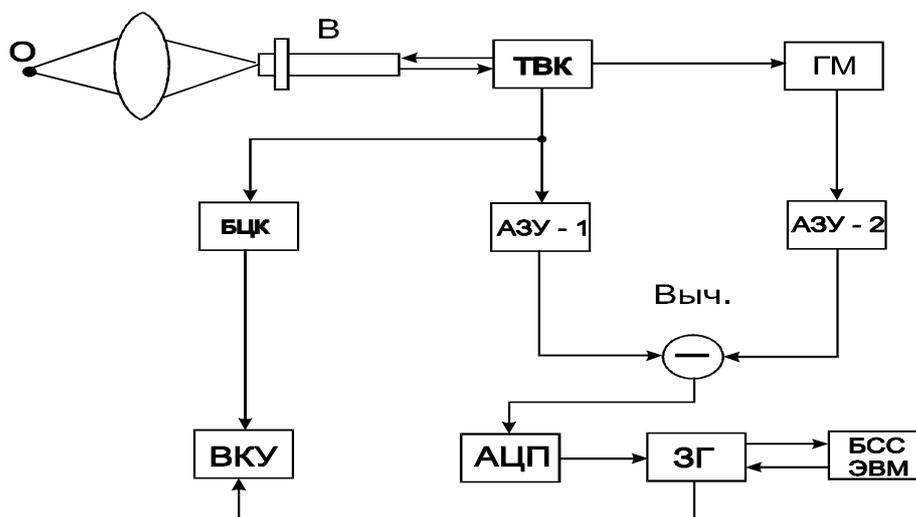


Рис. 3.15. Структурная схема тепловизора: О - объектив, В - видикон, ТВК - телевизионная камера, ГМ - генератор маркеров, АЗУ - аналоговое запоминающее устройство, АЦП - аналого-цифровой преобразователь, ЗГ - знакогенератор, БЦК - блок цветного кодирования, ВКУ - видеоконтрольное устройство



Рис. 3.16. Тепловизор ИИ-42ТМ БГУИР

Тепловизионная система Thermovision 880 фирмы AGEMA, Швеция представляет собой длинноволновый инфракрасный (в диапазоне длин волн 8 – 12 мкм) сканирующий тепловизор, формирующей изображения в реальном времени. Предназначен для контроля распределения температуры по поверхности микро (от 20 x 20 мкм<sup>2</sup>) и макрообъектов. В состав тепловизора входит инфракрасный сканер (временная развертка 25 кадров в сек.) с набором объективов, дисплей с принадлежностями, обрабатывающая ЭВМ, портативный комплект для измерений на местности или у заказчика, а также микроприставка для контроля микрообъектов (рис. 3.17).



Рис.3.17. Тепловизионная система Thermovision 880

Тепловизор может использоваться как в стационарном варианте с одновременной обработкой результатов, так и в мобильном энергонезависимом варианте с записью термоизображений на видеоконтрольное устройство и последующей обработкой на ЭВМ. Диапазон контролируемых температур от  $-20$  до  $+1500$  °С с разрешением  $0.1$  °С и погрешностью  $\pm 2$  °С при измерении температуры до  $100$  °С и  $\pm 2\%$  при измерении температуры выше  $100$  °С.

Таблица 3.3.

Технические характеристики приборов теплового контроля

Тип прибора	Диапазон измеряемых температур, °С	Разрешение			Примечание
		температура, °С	угловое, град.	линейное, мкм	
Тепловизор ТВ-03 СССР	+20...-200	0.2	4.5	-	Контроль тепловых полей
Микрорадиометр ИКР-2 СССР	20-200	0.5-3.0	45	20-60	Измерение температуры на поверхности ИМС, транзисторов
Тепловизор АГА-680 Швеция	20-200	0.3	1.3	10-100	Контроль тепловых полей миниатюрных объектов
Микротермоскоп Германия	20-500	1	-	2.5-7.5	Измерение температуры ИМС, ПП, ЭРЭ
ИК- термометр США	0-500	0.5	-	5000	Дистанционное измерение температур
Термовизионная система ИИ-42ТМ, БГУИР	500-1200	1.0	2.0	0.5-1.8	Тепловые поля в цветном изображении. Управление: РС ХТ/АТ

Физическую основу электронно-микроскопических методов составляют явления взаимодействия пучка электронов с веществом (просвечивающая и растровая микроскопия, электрография) или явления испускания электронов под воздействием тепла, света, ионного или электронного потока (эмиссионные и ОЖЕ-спектрометрические методы).

Характерной особенностью электронно-микроскопического метода, ограничивающего его использование при анализе дефектов, является необходимость работы с очень тонкими образцами материалов толщиной около  $0,05$  мкм (репликами). Поэтому в настоящее время в качестве основного метода анализа поверхности изделий без их разрушений используют электронные растровые микроскопы (РЭМ). Варьируя энергию электронов луча и из-

деляя тем самым глубину их проникновения, определяют пространственный рельеф залегания p-n переходов в многослойной структуре, распределение потенциалов на пленочных сопротивлениях, качество микросварных соединений.

Просвечивающий электронный микроскоп H-800 фирмы Hitachi (Япония) с энергетическим спектрометром AN 10000 фирмы. Link Analytical (Англия). Электронный микроскоп H-800 с энергетическим спектрометром AN 10000 позволяет выполнять:

- исследования структурных и топологических свойств, особенностей межфазных границ раздела твердофазных материалов и их многослойных композиций в горизонтальном и вертикальном сечениях;
- анализ кристаллического состояния и фазового состава тонких пленок;
- локальный элементный анализ;
- компьютерный анализ изображения с последующей обработкой полученных результатов.

Основные технические характеристики:

- ускоряющее напряжение до 200 кВ,
- разрешение до 0.2 нм,
- увеличение до 1 000 000<sup>X</sup>,
- режим дифракции электронов имеется,
- качественный локальный элементный анализ от В до U,
- программное обеспечение для анализа изображения и обработки полученных данных.

Для препарирования образцов, обеспечивающих возможность исследования как горизонтальных, так и вертикальных сечений, имеется специальный комплект приборов известных фирм Malvern, Ion Tech, Gatan, Balzers, включающих разнообразные прецизионные механические обработки и финишное утонение до 100 нм с применением ионных пучков.

Электроннограммы структуры пленок, нанесенных термовакuumным испарением, приведены на рис.3.18.

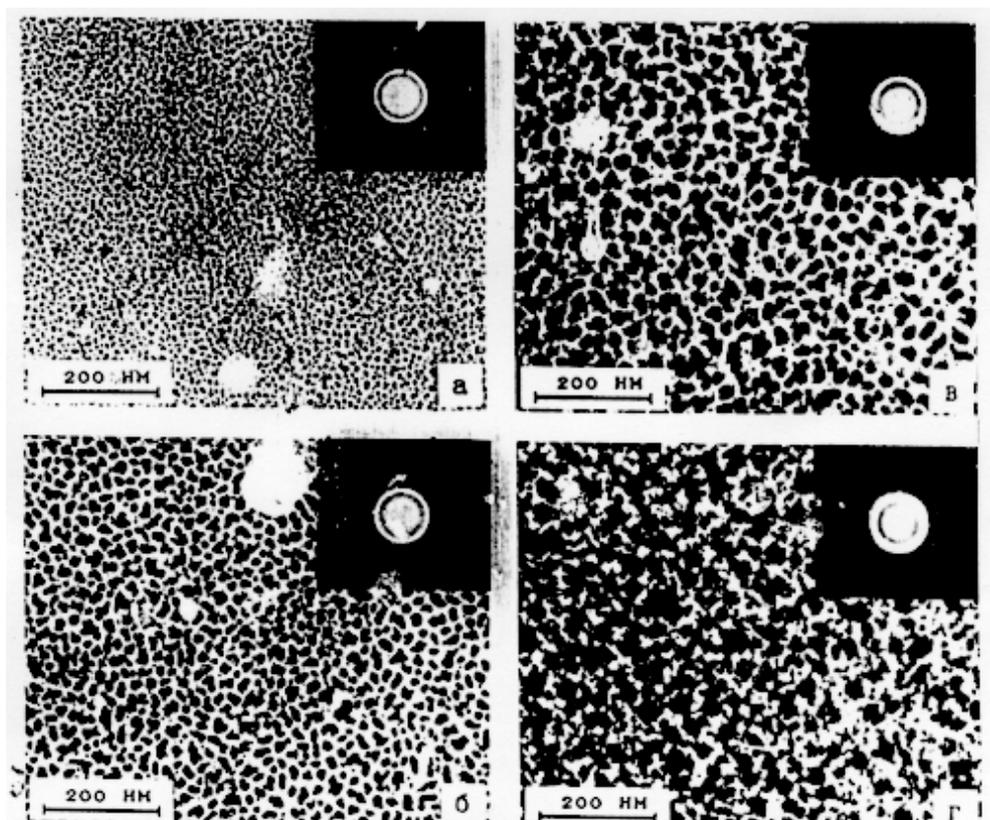


Рис. 3.18. Электроннограммы структуры

Диагностические возможности электронных методов анализа приведены в табл.3.4.

Таблица 3.4

Диагностические возможности и основные характеристики  
электронных методов анализа

1. Просвечивающая электронная микроскопия		
Преломление, отражение, поглощение, дифракция электронов, взаимодействие с атомами вещества.	Структурный и фазовый анализ, выявление нарушений кристаллической структуры, дислокаций, определение толщины пленок.	Разрешающая способность до $5 \times 10$ мкм. Увеличение 100000х Толщина просвечиваемых объектов не более 0.1 мкм. Погрешность определения толщины 5-10%.
2. Растровая электронная микроскопия		
Телевизионная развертка тонкого пучка электронов на поверхности образца и взаимодействие луча с образцом.	Наблюдение топографии и морфологии поверхности ИМС и ЭРЭ, качества микросварных соединений, магнитных и электрических полей, количественный элементный анализ по поверхности объекта.	Разрешающая способность до $5 \times 10$ мкм. Увеличение 200000х Глубина анализируемого слоя до 0.1 мкм
3. Микроструктурный анализатор фирмы "ОПТОН"		
	Распознавание. Позиционирование, измерение объектов.	
4. Эмиссионная электронная микроскопия		

Эмиссия электронов с образца под действием нагрева, облучения светом, ионами, электронами.	Изучение локальных параметров р-п-переходов термокатодов. Наблюдение быстропеременных процессов в полупроводниковых приборах, измерение магнитных и электрических полей.	Разрешающая способность 0.1-0.5 мкм. Точность изоляции микрополей 10-20%.
5. ОЖЕ-микроскопия, спектроскопия		
Эмиссия электронов с надповерхностного слоя под действием электронов или ионов.	Наблюдение распределения материала по поверхности объекта, послойный анализ состава.	Малогобаритный спектрометр ЭПР-СГ-3 Толщина анализируемого материала 10-20мкм. Точность определения состава вещества 10%.

Растровая (или сканирующая) микроскопия в настоящее время приобрела очень широкое применение. Растровый электронный микроскоп (РЭМ), как и традиционный, имеет линзовую систему, но функция этой системы состоит в том, чтобы получить пучок электронов предельно малого сечения (зонд), обеспечивающий достаточно большую интенсивность ответного сигнала от участка объекта, на который попадает пучок. Размер участка определяется сечением зонда, который может достигать 10-100 ангстрем.

Для получения информации о микроструктуре достаточно большой области зонд заставляет обегать (сканировать) заданную площадь объема по программе (строчки, образующие квадрат, круг и т.д.).

Яркость электронного луча катодно-лучевой (телевизионной) трубки модулируется сигналом от приемника сигналов (например, коллектора вторичных электронов), усиленного видеоусилителем. Масштаб изображения на экране определяется отношением размера сканирования на поверхности объекта и размера изображения (растра) на экране. Уменьшение размера участка сканирования приводит к увеличению изображения. Предельные увеличения в современных конструкциях РЭМ достигают 150-200 тыс. раз. Достоинством является чрезвычайно большая глубина резкости вследствие практической параллельности электрического зонда. Глубина резкого изображения практически не меньше размеров изображаемого участка в плоскости.

Большая глубина резкости изображения в РЭМ снимает одно очень важное ограничение анализа микроструктуры в светооптическом микроскопе - необходимость подготовки плоскости шлифа. Это открывает широкие возможности для микроскопического исследования естественных поверхностей объектов, что важно для микроэлектронных приборов. При исследовании непроводящих материалов наносят металлический проводящий слой (например, золота, серебра) на исследуемую поверхность путем напыления в вакууме.

Растровый электронный микроскоп Stereoscan-360 фирмы Cambridge Instruments Ltd. (Англия) со встроенным энергетическим спектрометром фирмы Link Analytical (Англия) (рис.3.19) позволяет:

- проводить анализ микрорельефа поверхности твердотельных образцов;
- получать изображение объекта во вторичных и отраженных электронах;
- проводить линейно-угловые измерения;
- эффективно проводить обработку видеосигнала;
- получать псевдоцветное изображение;
- проводить микрофотосъемку изображений;
- проводить качественный и количественный аналитический анализ атомарного состава материалов;
- снимать распределения химических элементов по выбранному участку поверхности и вдоль линии сканирования;
- проводить статистическую обработку размеров частиц с одновременной классификацией по химическому составу дисперсных образцов.

Технические характеристики прибора:

- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| - разрешение электронно-оптической системы микроскопа | 50 нм;                           |
| - диапазон увеличений                                 | 10 – 100000 <sup>X</sup> ;       |
| - диапазон ускоряющих напряжений                      | 0.2 – 40 кВ;                     |
| - максимальный размер образцов                        | 150 x 150 x 10 мм <sup>3</sup> ; |
| - диапазон контролируемых размеров                    | 0.5 мкм – 10 мм;                 |
| - погрешность измерений линейных размеров             | ± 5%;                            |
| - диапазон анализируемых элементов                    | от В до U;                       |
| - локальность анализа                                 | 1 мкм (в диаметре);              |
| - чувствительность метода                             | 0.5 – 1.0% атом.                 |

Растровый акустический микроскоп Elsam фирмы Leica (Германия) содержит акустический и оптический блоки, ЭВМ для обработки результатов и предназначен для качественного анализа скрытых дефектов оптически прозрачных и непрозрачных материалов: микро-трещин, механических напряжений, адгезии слоев, скорости акустических волн в материалах, объемной плотности материалов, структуры биологических объектов. Может эффективно использоваться для анализа объектов микроэлектроники, металлургии, материаловедения, биологии, медицины. Увеличение акустического блока до 2000<sup>X</sup>, разрешение 0,6 мкм, диапазон частот 0.1 – 2.0 ГГц.

Пример: Определение степени обжатия проволочного вывода толщиной 27-35 мкм при монтаже кристаллов ИС УЗ микросваркой и качества микросварного соединения (увеличение  $\times 1000$  раз, малогабаритный микроскоп МРЭМ - 200 (СССР)) (рис.3.20).



Рис. 3.19. Растровый электронный микроскоп Stereoscan-360

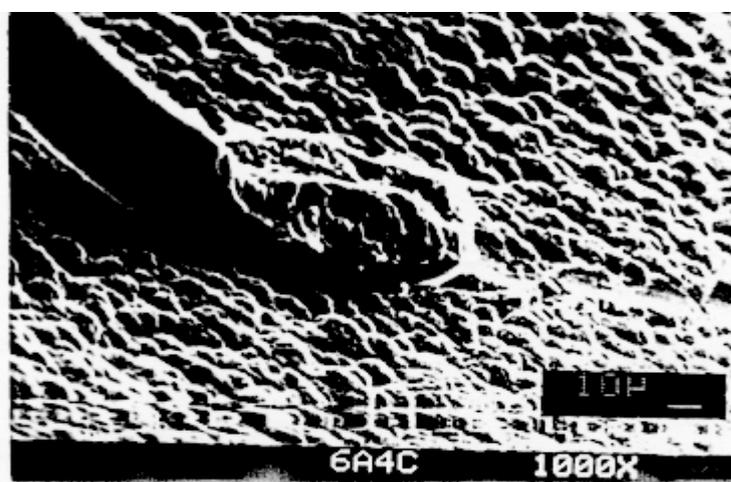


Рис. 3.20. Внешний вид микросварного соединения (  $\times 1000$  )

Современная аппаратура, предназначенная для рентгеноспектрального анализа в микроскопически малых объемах, рентгеновские микроанализаторы (МАР) позволяют с высокой локальностью (0,5-5 мкм по поверхности и 0,01-5 мкм по глубине), чувствительностью (0,01-0,5%) определить химический состав и характер распределения элементов в микрообъемах материала.

Микроанализатор состоит из электронно-оптической системы для получения узкого пучка электронов (электронная пушка и две электромагнитные линзы), одного или более рентгеновских спектрометров для анализа излучения по длинам волн и интенсивностям, светового микроскопа для выбора участка исследования, устройства для получения растрового изображения объекта (рис. 3.21).

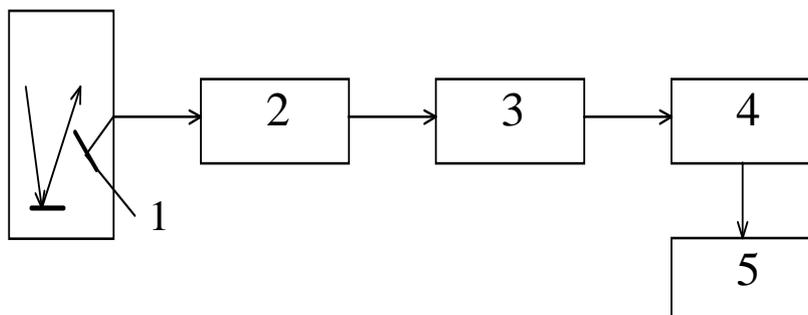


Рис. 3.21. Схема рентгеновского микроанализатора

Полупроводниковые детекторы (1) имеют значительно лучшие по сравнению с пропорциональными счетчиками разрешение и могут работать без кристаллов-анализаторов. Сигнал с предусилителя (2) подается в многоканальный амплитудный анализатор (3) (снабженный ЭВМ (4) и видеомонитором (5)), который разделяет сигналы с разной энергией.

Происхождение Оже-электрона связано с возбуждением атомов мишени на одной из внутренних электронных оболочек. Для атомов легких металлов относительная вероятность Оже-переходов составляет 95 %, для тяжелых ( $z > 10$ ) - около 10 %.

Обычно Оже-спектр представляют как первую производную кривой распределения вторичных электронов по энергиям. Оже-спектры могут быть использованы для определения химического состава веществ и типа химической связи на поверхности.

Метод Оже-спектроскопии - уникальный метод анализа химического состава и распределения химических элементов в самых тонких слоях, примыкающих к поверхности. Однако Оже-спектрометры требуют для работы высокого вакуума («сверхвакуума» до  $10^{-6}$  Па.)

Новым направлением в области дефектоскопии и технической диагностики является использование звуковидения, основанного на получении изображения с помощью акустических волн, длина которых по крайней мере на порядок меньше размеров объекта.

Развитие звуковидения как самостоятельной области науки стало возможным благодаря исследованиям Ланжевена, который в 1918 году предложил использовать пьезоэлектрический эффект для генерации в воде УЗ колебаний высокой частоты для обнаружения германских подводных лодок.

В 30-х годах советский физик-акустик С.Я.Соколов создал первый акустооптический преобразователь, так называемый ультразвуковой видикон. В начале 70-х годов был разработан жидкокристаллический акустооптический преобразователь, с помощью которого удалось получить ультразвуковые голограммы.

Акустические микроскопы на основе линзовых систем используют электронную фокусировку, по конструкции они близки к сканирующим электронным, только в них движется исследуемый объект, а не сканирующий луч. Схема акустического микроскопа показана на рис. 3.22. В фокальной плоскости электрически управляемого преобразователя помещается механически сканируемый объект, облучаемый акустическими волнами с обратной стороны.

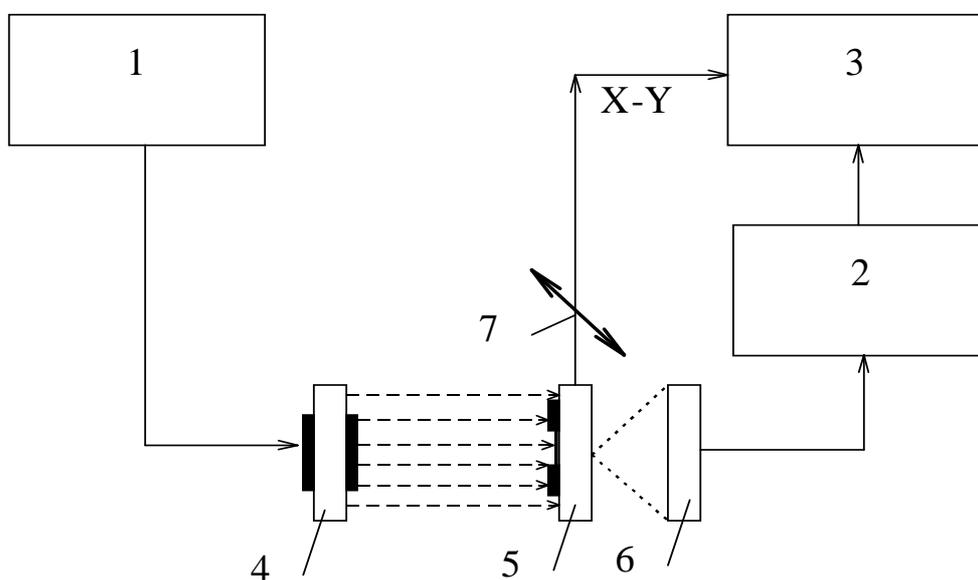


Рис. 3.22. Схема акустического микроскопа

- 1 - УЗ генератор, 2 - система преобразования в видеосигнал, 3 - дисплей,  
 4 - излучатель акустической волны, 5 - объект, 6 - приемный элемент,  
 7 - сканирующее устройство

Механическое сканирование синхронизировано со строчной разверткой дисплея, и луч электронно-лучевой трубки модулируется по яркости сигналом, пропорциональным интенсивности звуковой волны, прошедшей через образец. При этом на экране дисплея визуализируется изображение, представляющее собой распределение акустической прозрачности объекта. На экране получается трехмерное изометрическое изображение. Применяют УЗ колебания частотой от 10 до 500 МГц, достигнутое разрешение составляет примерно 10 мкм.

Применяют для проверки геометрических размеров и качества микросварных и паяных соединений в интегральных схемах (рис.3.23). В отличие от электронного сканирующего микроскопа не требуется электрическое соединение всех наблюдаемых участков, что часто невозможно в работающем приборе.

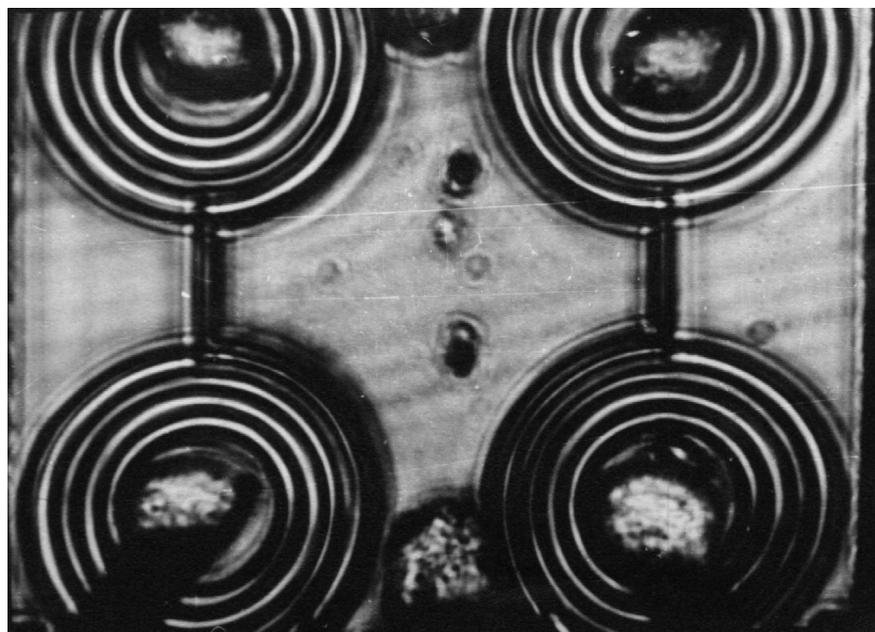


Рис. 3.23. Акустические изображения микросварных соединений

## ЛИТЕРАТУРА

1. Технология и автоматизация производства радиоэлектронной аппаратуры. /И.П. Бушминский, О.Ш. Даутов, А.П. Достанко и др.; Под ред. А.П. Достанко, Ш.М. Чабдарова. - М.: Радио и связь, 1989. - 624 с.
2. Автоматизация и механизация сборки и монтажа узлов на печатных платах / А.В. Егунов, Б.Л. Жоржолиани, В.Г. Журавский, В.В. Жуков; Под ред. В.Г. Журавского. - М.: Радио и связь, 1988. - 280 с.
3. Гусев В.П. Технология радиоаппаратостроения. - М.: Высшая школа, 1972. -496 с.
4. Ханке Х.-И., Фабиан Х. Технология производства радиоэлектронной аппаратуры. - М.: Энергия, 1980. - 464 с.
5. Гибкие производственные системы / Н.П. Меткин, .С.Лапин и др. - М.: Издательство стандартов,1989. – С..145-168.
6. Вальков В.М. Контроль в ГАП. - Л.: Машиностроение, 1986. -232 с.
7. Рабодзей Н.В. Применение ренгенотелевизионной микроскопии в производстве ИЭТ. -Электрон. Промышленность, 1979, вып. 1(73) - (74), с. 133-140
8. Лопухин В.А., Гурылев А.С. Автоматизация визуального технологического контроля в электронном приборостроении. - Л.: Машиностроение, 1987. - 287с.
9. Мэнгин И.Г., Макклелланд С. Технология поверхностного монтажа. Пер. с англ. - М.: Мир, 1990. - 276 с.