

Московский государственный технический университет
им. Н. Э. Баумана.

Ю. В. Иванов

**Адаптация электронной аппаратуры к условиям сборки в
гибких автоматизированных комплексах
(на примере электронных модулей)**

*Рекомендовано методической комиссией факультета ИУ МГТУ им. Н.Э. Баумана
в качестве учебного пособия*

МГТУ им. Н.Э. Баумана
2004

УДК 658.52.01.56

ББК 32.965

И18

Рецензенты:

проф.МГТУ. д.1.н. В.А. Шахнов

проф. НИЭМИ. д.т.н. В.Г. Костиков

Иванов Ю.В.

И18 Адаптация электронной аппаратуры к условиям сборки в гибких автоматизированных комплексах: Учебное пособие - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004 - 30 с.

Рассмотрены методика адаптации электронной аппаратуры (ЭА) на примере электронных модулей к условиям автоматизированной сборки в гибких автоматизированных комплексах, алгоритм автоматизированной адаптации, цифровые модели электронных модулей и электронных компонентов.

Материал пособия направлен на повышение эффективности сборки электронной аппаратуры за счет увеличения уровня унификации ЭА, уровня автоматизации сборки, уменьшения трудоемкости сборки.

Для студентов, выполняющих семинары, домашние задания, курсовые и дипломные работы по Технологии производства ЭВА/РЭА, а также студентов других специальностей и специалистов промышленности, занимающихся автоматизацией сборки ЭВАУРЭА.

Илл. 10. Библиогр. 33 назв.

УДК 658.52.01.56

ББК 32.965

Юрий Викторович Иванов

Адаптация электронной аппаратуры к условиям сборки в гибких автоматизированных комплексах

Учебное пособие

Печатается в авторской редакции
Корректор *О.В. Калагиникрва*
Компьютерная верстка *О.В. Беляевой*

Подписано в печать 27.12. 2004. Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Печ.л. 1.3. Усл. печ. л. 1,2.
Уч.-изд. л.1,1. Тираж 300 экз. Заказ № 53е.

Типография МГТУ им. Н. Э. Баумана
105005. Москва. 2-я Бауманская. 5.

© МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2004

Введение

Для автоматизированного проектирования техпроцессов сборки электронной аппаратуры (ЭА), структур гибких автоматизированных сборочных комплексов (ГАСК) необходимо, чтобы информация об изделиях, их компонентах была в базе данных САПР в виде шаблонов и моделей. Для построения шаблонов и моделей изделий и их компонентов нужна их классификация, представление их в виде множеств признаков, объединение признаков в шаблоны и модели (например с помощью теории множеств). Рассмотрим эти вопросы на примере электронных модулей (основных устройств ЭА). Применяемые в настоящее время в вычислительной технике, средствах связи, теле-, радио аппаратуре электронные модули (ЭМ) построены на базе печатной платы (ПП) и навесного монтажа электронных компонентов (ЭК).

Печатные платы ЭМ могут быть однослойными и многослойными. Компоненты ЭК на плате ЭМ могут быть размещены с одной стороны платы (односторонний монтаж) или с двух сторон (двухсторонний монтаж). В ЭМ нашли применение три вида навесного монтажа ЭК на плате: штырьковый (DIP; выводы ЭК вставляют в монтажные отверстия); планарный (выводы ЭК располагают на контактных площадках ПП) и поверхностный SMD монтаж (безвыводные ЭК или ЭК с шариковыми выводами устанавливают на контактные площадки ПП). На рис. 1. показаны примеры ячеек ЭМ с DIP (рис. 1. а, б), планарным, поверхностным (рис. 1. в, г) и комбинированным монтажом (рис. 1. д, е).

В качестве электронных компонентов в ЭМ применяют: интегральные микросхемы во втором корпусе (ИС2), интегральные микросхемы в четвертом корпусе (ИС4); электрорадиоэлементы (ЭРЭ) с осевым расположением выводов (резисторы, диоды) и неосевым расположением выводов (конденсаторы, транзисторы) и компоненты поверхностного монтажа (SMD) [чипы резисторы, чипы транзисторы, чипы конденсаторы, чипы индуктивности, микросхемы большой интеграции (БИС), ИС сверхбольшой интеграции (СБИС)]. Такое разнообразие применяемых ЭК требует разнообразной технологической оснастки (СТО) и оборудования (АТО) для их подготовки и сборки. Это усложняет сборку ЭМ, повышает ее трудоемкость и стоимость.

На кафедре Проектирование и технология производства электронных систем МГТУ им. Н.Э. Баумана под руководством автора более пятнадцати лет ведутся исследовательские работы по САПР структур ГАСК сборки ЭМ и, в том числе, по разработке классификаций, шаблонов и моделей ЭМ и ЭК. О некоторых из них здесь будет рассказано ниже.

Классификация электронных модулей и электронных компонентов

Вопросы классификации ЭА, ЭК, ПП, ЭМ, ЭК, ПП рассмотрены в литературе [в работах Норенкова И.П., Буловского П.И., Мэнгина Ч.Г и др.]. В известных классификациях ЭМ и ЭК не учтены особенности оборудования (АТО), оснастки (СТО), автоматизированных техпроцессов (АТП) сборки, что осложняет выбор, совершенствование СТО, АТО и затрудняет оптимизацию АТП сборки ЭМ. Так как ЭК, ЭМ, АТП, СТО, АТО являются объектами, участвующими в процессе проектирования структур ГАСК сборки ЭМ, то для создания базы знаний

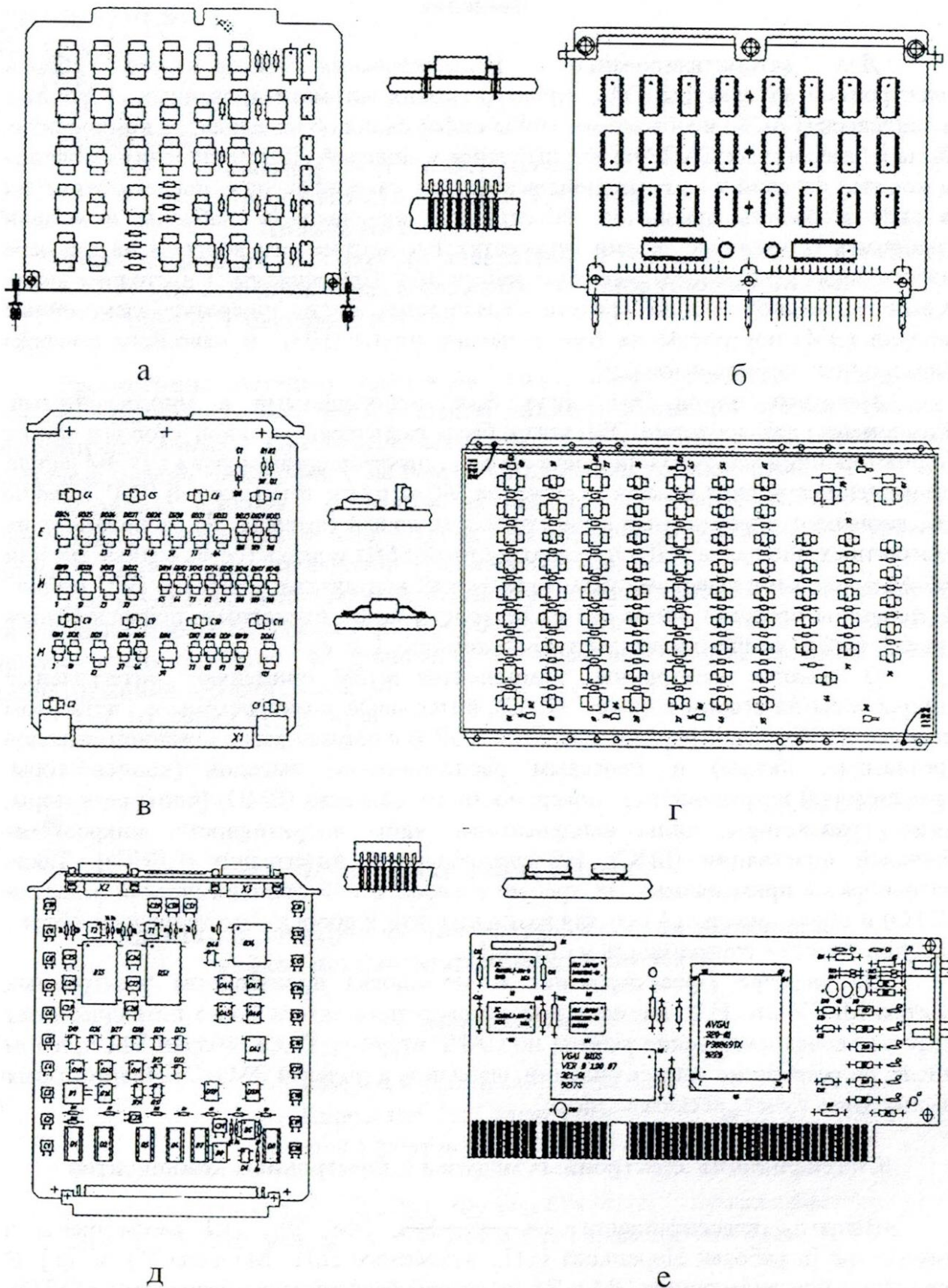


Рис. 1. Примеры электронных модулей (ЭМ)

а, б - ЭМ с DIP монтажом; в - ЭМ с планарным монтажом; г - ЭМ с SMD монтажом; д, е - ЭМ с комбинированным монтажом

САПР структур гибких автоматизированных комплексов (ГАСК), проектирования АТП сборки ЭМ эти особенности являются важными и их необходимо учесть.

Сделана попытка на основе предложенной классификации ЭМ, ЭК и ПП и цифровых моделей изделий и компонентов автоматизировать адаптацию электронных модулей ЭМ к условиям сборки в ГАСК, автоматизировать проектирование структур ГАСК и технологическую подготовку сборки в ГАСК.

Задача классификации заключается в распределении объектов проектирования и участников по группам согласно классификационных признаков.

Классификация электронных модулей

Среди признаков классификации (см. также 23, 28) выделим (рис. 2): вид сигнала, форма изделия (вид ЭМ в плане), вид монтажа компонентов на плате, тип навесных компонентов, расположение монтажа и расположение компонентов на плате.

Вид сигнала влияет на технологический процесс сборки, например, на процесс контроля. Технология контроля будет разной для цифровых и аналоговых ЭМ.

По виду сигнала электронные модули делятся на цифровые (логические и с элементами памяти), аналоговые и цифро-аналоговые.

Форма изделия важна для устройств захвата роботов, для выбора схемы базирования и др. По форме ЭМ в плане выделим изделия прямоугольной, квадратной и сложной формы. Сложная форма характерна для специальной, бортовой аппаратуры.

Вид монтажа влияет на выбор техпроцесса сборки, оборудования и оснастки. Различают три вида монтажа: штырьковый (DIP), планарный и поверхностный (SMD) монтаж.

От того, какие и сколько навесных электронных компонентов ЭК содержит изделие ЭМ, также зависит выбор техпроцесса сборки, оборудования и оснастки. По типу ЭК (подробнее см. классификацию ЭК) различают: ЭРЭ с осевым

(ЭРЭ_о) и не осевым (ЭРЭ_р) расположением выводов; интегральные микросхемы со штырьковыми выводами ИС₂, с планарными выводами ИС₄, компоненты поверхностного монтажа (SMD).

Расположение навесных компонентов (сверху или снизу) также влияет на выбор техпроцесса сборки, оборудования и оснастки. По расположению навесного монтажа выделим изделия с односторонним и двухсторонним монтажом.

От расположения ЭК на плате зависит трудоемкость операции монтажа и эффективность оптимизации очередности монтажа ЭК. Выделим регулярное и не регулярное расположение (в строке и в столбцах) расположение ЭК на плоскости платы (подробнее об этом будет сказано ниже).

Примеры конструкций различных электронных модулей показаны на рис. 1

Классификация электронных компонентов, входящих в состав электронных модулей

Признаками, по которым в предложенной классификации (рис. 3) электронные компоненты (ЭК) разделены на группы, являются [см. также 23, 28]: тип, вид ЭК; форма корпуса ЭК; форма вывода ЭК, число выводов ЭК,

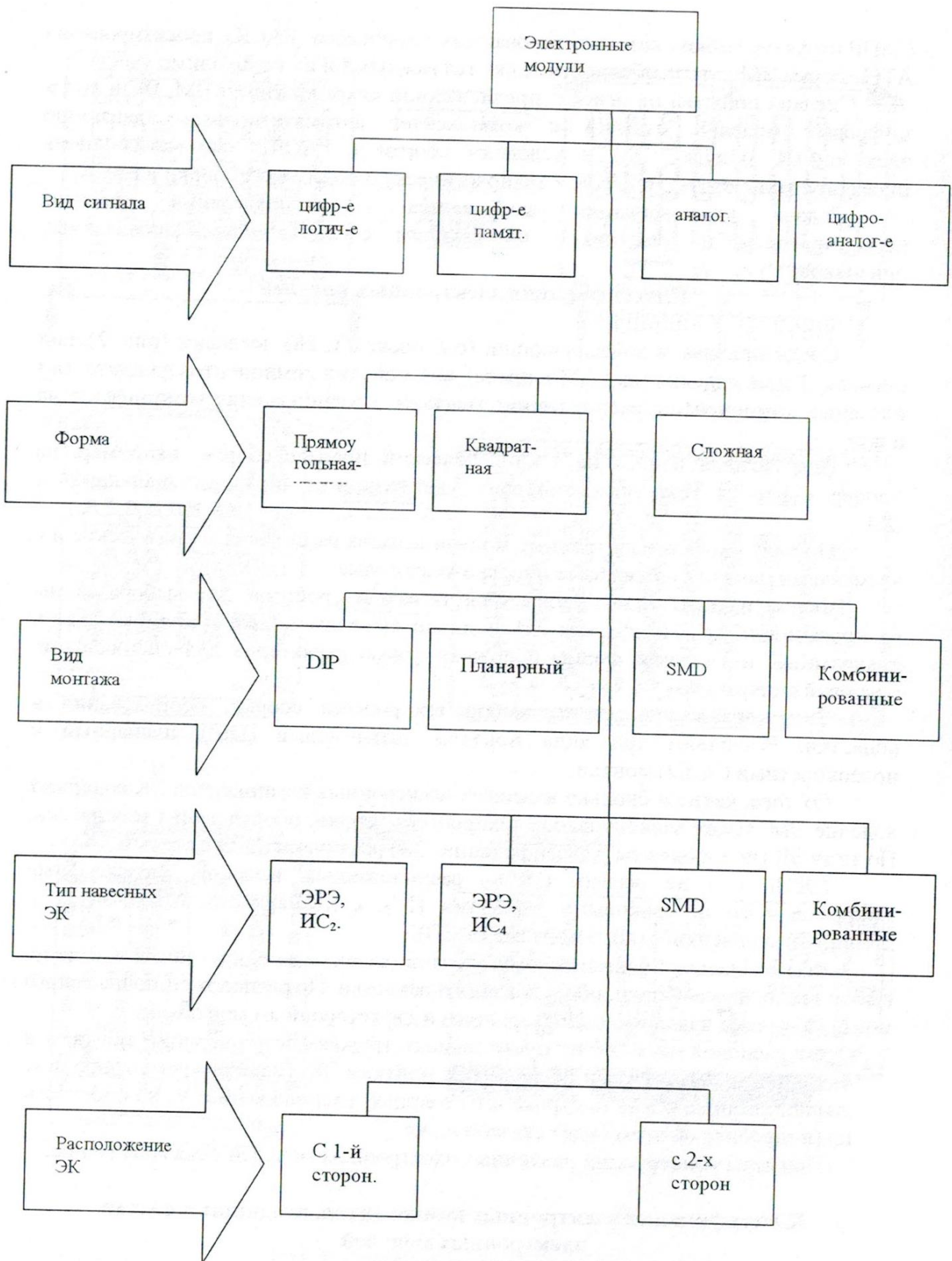


Рис. 2. Классификация электронных модулей

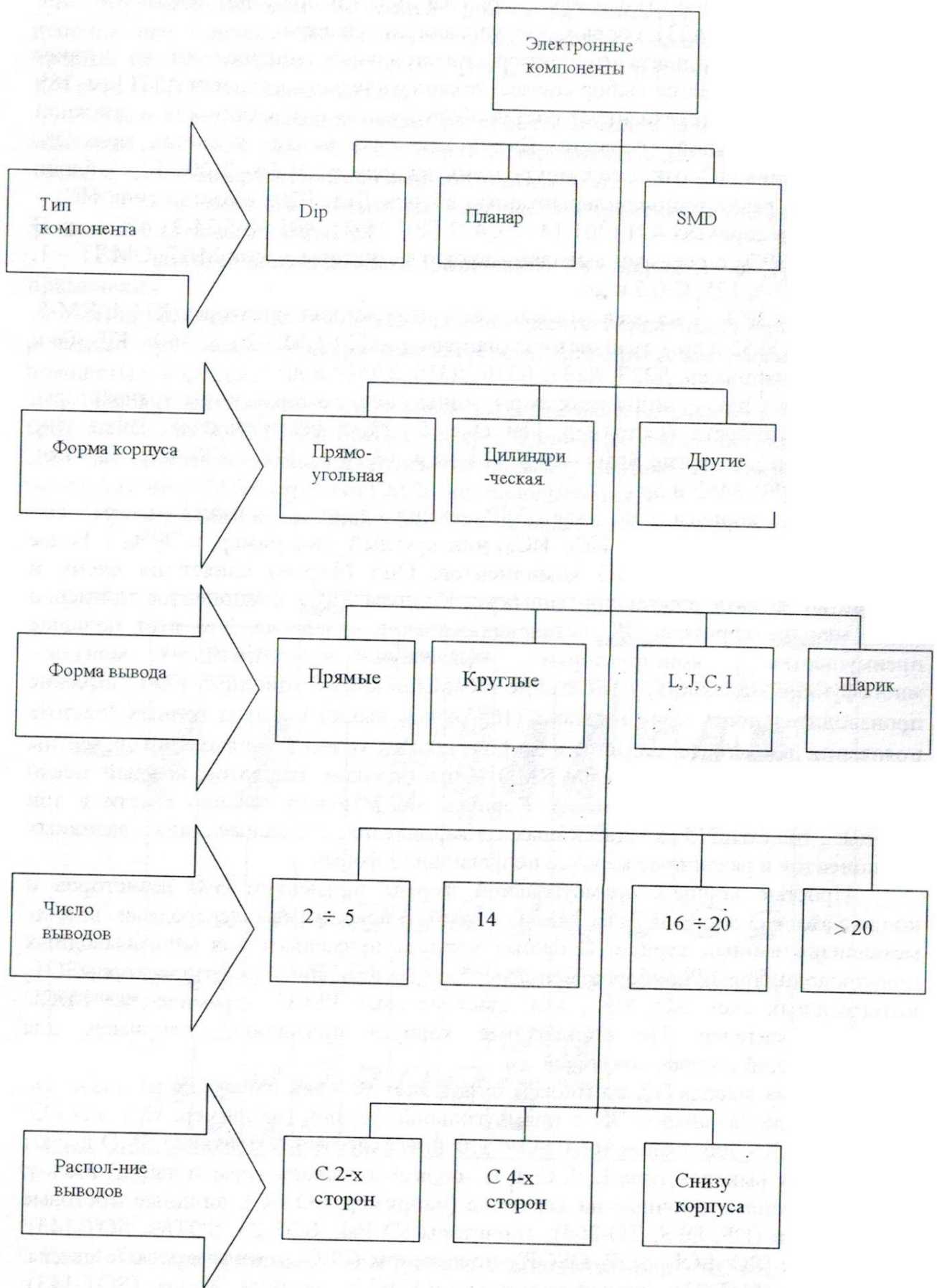


Рис. 3. Классификация электронных компонентов, применяемых в электронных модулях

расположение выводов относительно корпуса. Все эти признаки используют при выборе технологии (АТП) сборки, оборудования и оснастки.

С типа компонента (например, интегральные микросхемы во втором корпусе ИС₂) начинается выбор состава технологического процесса АТП [см. 18]. Вид компонента конкретизирует состав оборудования и оснастки для монтажной или подготовительной операции. Вид компонента входит в состав типа ЭК. Например к типу ИС₂ относятся микросхемы в корпусе 201.14.-2, 201.14.-5, блоки резисторов и резистивно-конденсаторные сборки Б18, Б20; в состав типа ИС₄ – микросхемы в корпусах 401 (401.14-2), 402 (402.16-2), 405 (405.24-2), 429 и др. В состав типа ЭРЭ₀ с осевыми выводами входят резисторы марок МЛТ, ОМЛТ – 1, ОМЛТ – 2, С – 0,125, С-0,5 и др.

К типу ЭРЭ_р с не осевыми выводами отнесем конденсаторы (КМ-4, КМ-5, КМ-6, К50-6, К-53 и др.), транзисторы (например, 2Т312, МП-26, КТ-603, КТ-306 и др.), диоды (например, Д223, Д237, Д310, Д316, 2Д510 и др.).

К типу Chip – чипы резисторы, чипы конденсаторы, чипы транзисторы, чипы индуктивности (например, Flat chip, Sot23, Sot89, Cylindrical chip, chip Capacitor и др.); в другие SMD – SOP (14-16 p, 18-28 p), PLCC (20-44 p, 68-84 p), LCC, MSP, QFP, MSP и др.

Форма корпуса ЭК для DIP и планарного монтажа имеет вид прямоугольника (например, ИС₂, ИС₄) или круглый (например, у ЭРЭ₀). Более разнообразны корпуса SMD компонентов. Она (форма) влияет на схему и устройство захвата робота при монтаже. Корпуса SMD компонентов примерно вдвое меньше корпусов ЭК, устанавливаемых в отверстия. Это дает большие преимущества конструкторам [высокую плотность монтажа, многофункциональность, уменьшение габаритов коммутационных плат, высокие производительность при монтаже (10^5 эк/ч и выше) и выход годных (частота появления дефектов 10^{-6} – $2 \cdot 10^{-5}$) и др.], но низкий уровень унификации (известны более 25 000 типов номиналов SMD и, по оценкам экспертов, каждый месяц появляется еще дюжина новых). Корпуса SMD можно условно свести в три группы: простые для пассивных компонентов, сложные для активных компонентов и различные корпуса неправильной формы.

Простые корпуса прямоугольной формы применяют для резисторов и конденсаторов, а также для MELF с вмонтированными электродами в виде металлизированных торцов. Сложные корпуса применяют для многвыводных полупроводниковых приборов, например, для малогабаритных транзисторов SOT; интегральных схем SO, SOL; для пластмассовых PLCC, керамических LDCC кристаллоносителей. Не стандартные корпуса применяют, например, для индуктивностей и переключателей.

Форма вывода ЭК во многом определяет условия пайки ЭК на плате. По форме вывода различают ЭК с прямоугольной формой (например, ИС₂ для DIP монтажа; ИС₄ – для планарного, SO – для поверхностного монтажа) SMD имеют также форму выводов типа L, J, C, I, L –образные выводы (крыло чайки) имеют: резисторы тонкопленочные на керамике (например, SO (IC)); диодные мостовые выпрямители (DF, DFS, TO-269); тиристоры (D Pak, SOT-23, SOT89, SOT-143); микросхемы (SO, SOL, SOP, QSOP); процессоры (PLCC); инфракрасные диоды, светодиоды (SOT-23); трансформаторы (ADSL); датчики Холла (SOT-143); герконовые и фотоэлектрические реле (SOP-4, DIL).

От числа выводов ЭК зависит допуск на замыкающее звено размерной цепочки при монтаже ЭК на плату. Число выводов может быть два (самый простой случай, например, ЭРЭ), 14 p (ИС₂, ИС₄), 20 p [SO(IC)], 100 p (SSOP), 124 p (PLCC, QFJ) и более выводов.

Расположение выводов влияет на процесс монтажа и пайки (упрощая или усложняя их). Различают ЭК с 2-х или 4-х сторонним расположением выводов; а также с выводами, расположенными под корпусом ЭК.

Есть еще вспомогательные признаки; частота применения ЭК, вид упаковки, функциональное назначение ЭК.

По частоте применяемости различают ЭК широкого и не широкого применения.

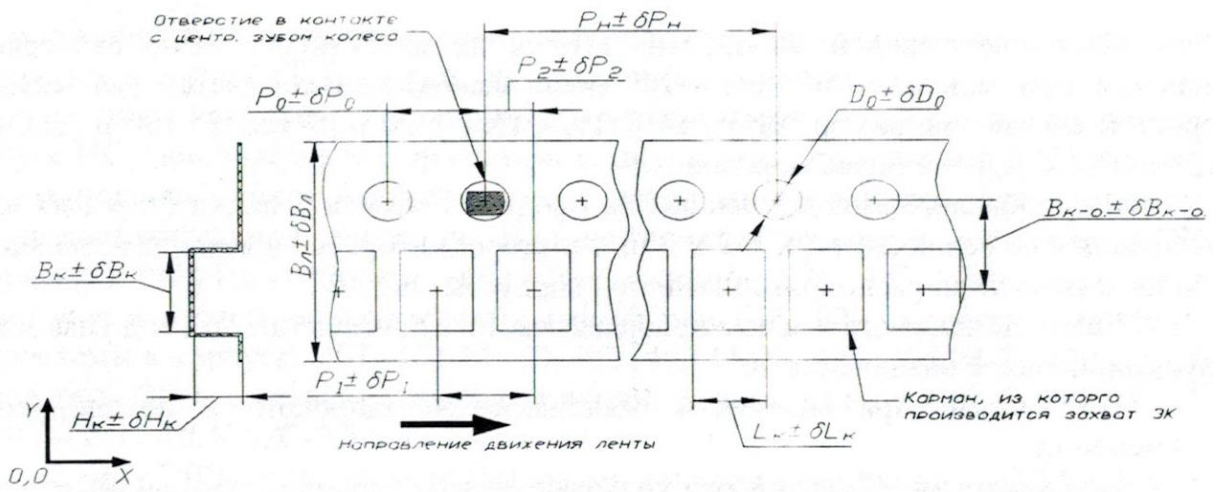
Вид упаковки ЭК: групповая упаковка - ленты первичные, вторичные; одно ручьевые трубчатые, этажерочные кассеты и много ручьевые плоские кассеты; планшеты и коробки.

По функциональному назначению выделим интегральные микросхемы ИС, БИС, СБИС, ЭРЭ, ЧИПы и SMD с четырех сторонним расположением выводов. Эти три признака являются вспомогательными, поэтому в схему (рис.3) не включены, но в САПР структур ГАСК они используются.

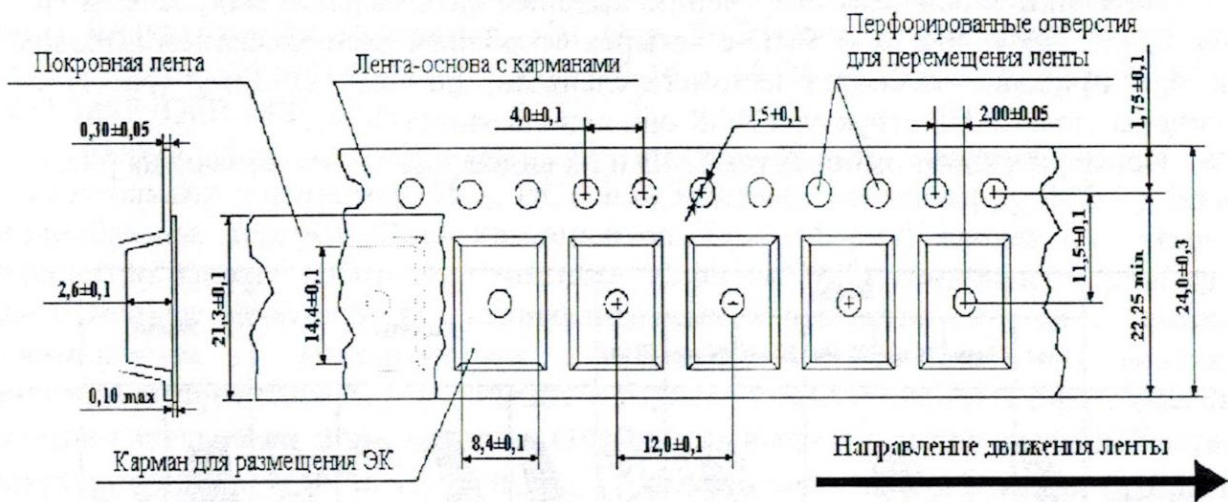
Примеры типов компонентов SMD и их видов упаковки показаны на рис.4.

	Ленты							Кассеты				Ящики	
	8 мм	12 мм	16 мм	32 мм	24 мм	44 мм	32 мм						
Упаковка													
SMD компоненты													

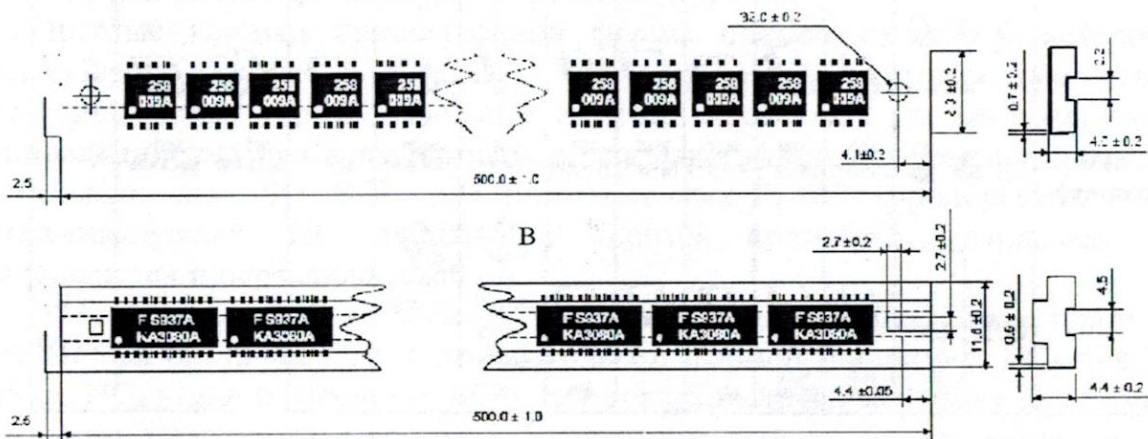
Рис. 4. Тип применяемых электронных компонентов при SMD монтаже и их упаковка



а



б



г

Рис. 5. Примеры упаковки SMD компонентов
 а – лента; б – блистерная лента; в, г- трубчатые кассеты (для SMD
 соответственно типа Sop-8 и Sop - 22

Модели электронных модулей и электронных компонентов

В таблицах 1- 6 приведены примеры шаблонов типа ЭК (табл. 1), вида упаковки ЭК (табл. 2), вида монтажа ЭК (табл. 3); моделей типа ЭК (табл. 4), платы (табл. 5), электронного модуля (табл. 6), которые использованы в базе данных САПР структур ГАСК.

Таблица 1.

Пример шаблона типа компонента ЭК

Признаки			Описание признака	Тип данных	Пример реального представления кода признака в базе данных
Обозн	Связи	Обл. доп. значений			
$z_0^{\bar{x}^{(p)}}$	УИ	—	ИШ типа ЭК	N	1
$z_1^{\bar{x}^{(p)}}$	Шаблон группы ЭК	$\bar{v}^{(s)}_{z_0}$	Группа ЭК (ИШ)	N	1
$z_2^{\bar{x}^{(p)}}$	—	—	Наименование типа ЭК	A	ИС 201
$z_3^{\bar{x}^{(p)}}$	—	—	Цена одного ЭК данного типа, [руб.]	R	2.0
$z_4^{\bar{x}^{(p)}}$	—	—	Количество ЭК данного типа в кассете, рулоне с лентой, коробке и т.д., упорядоченное по виду упаковки [шт.]	{N}	{50 ÷ 1000}

Таблица 2.

Пример шаблона вида упаковки компонентов ЭК

Признаки			Описание признака	Тип данных	Пример реального представления кода признака в базе данных
Обозн	Связи	Обл. доп. значений			
$z_0^{\bar{w}^{(m)}}$	УИ	—	ИШ вида упаковки ЭК	N	1
$z_1^{\bar{w}^{(m)}}$	—	—	Наименование вида упаковки ЭК	A	кассета
$z_2^{\bar{w}^{(m)}}$	Шаблоны групп ЭК	$\left\{ \bar{v}^{(s)}_{z_0} \right\}$	Группа(ы) ЭК (МИШ)	{N}	{1}

Таблица 3.

Пример шаблона вида монтажа компонентов ЭК на плате

Признаки			Описание признака	Тип данных	Пример реального представления кода признака в базе данных
Обозн	Связи	Обл. доп. значений			
$z_0^{\bar{M}^{(r)}}$	УИ	—	ИШ вида монтажа ЭК	N	1
$z_1^{\bar{M}^{(r)}}$	—	—	Наименование вида монтажа ЭК	A	Штырьковый
$z_2^{\bar{M}^{(r)}}$	Шаблоны групп ЭК	$\{\bar{v}_0^{(s)}\}$	Группа(ы) ЭК (МИШ)	{N}	{1,3,4}

Таблица 4.

Пример модели типа компонента ЭК, построенной по шаблону типа ЭК

Признаки			Описание признака	Тип данных	Пример реального представления кода признака в базе данных
Обозн	Связи	Обл. доп. значений			
$z_0^{X^{(p)}}$	УИ	—	ИМ типа ЭК	N	1
$z_1^{X^{(p)}}$	Шаблон типа ЭК	$z_0^{\bar{X}^{(p)}}$	Тип ЭК (ИШ)	N	1
$z_2^{X^{(p)}}$	—	—	Гарантия пайки ЭК	L	1
$z_3^{X^{(p)}}$	Шаблон вида упаковки ЭК	$z_5^{\bar{v}^{(s)}}$	Вид упаковки ЭК (ИШ)	N	1
$z_4^{X^{(p)}}$	—	—	Объем транспортной партии ЭК данного типа	N	1200

Таблица 5.

Модель печатной платы ПП

Признаки			Описание признака	Тип данных	Пример реального представления кода признака в базе данных
Обозн.	Связи	Обл. доп. значений			
$z_0^{X^{(0)}}$	УИ	—	ИМ ПП	N	1
$z_1^{X^{(0)}}$	—	—	Наименование ПП	A	ПП-1

$z_2^{X^{(0)}}$	—	—	Длина ПП (размер по оси X), [мм]	R	250.0
$z_3^{X^{(0)}}$	—	—	Ширина ПП (размер по оси Y), [мм]	R	250.0
$z_4^{X^{(0)}}$	—	—	Параметры базовых отверстий на ПП: координаты по оси X, [мм]	{R}	{10.0,10.0,240.0, 240.0}
$z_5^{X^{(0)}}$	—	—	Параметры базовых отверстий на ПП: координаты по Y, [мм]	{R}	{10.0,240.0,10.0, 240.0}
$z_6^{X^{(0)}}$	—	—	Параметры базовых отверстий на ПП: диаметры, [мм]	{R}	{3.5,3.5}
$z_7^{X^{(0)}}$	—	—	Объем транспортной партии ПП	N	20

Таблица 6.

Пример модели изделия ЭМ, построенной на основе модели платы и моделей ЭК

Признаки			Описание признака	Тип данных	Пример реального представления кода признака в базе данных
Обозн.	Связи	Обл. доп. значений			
$z_0^{Y^{(0)}}$	УИ	—	ИМ ЭЯ	N	1
$z_1^{Y^{(0)}}$	—	—	Наименование ЭЯ	A	ЭЯ - 1
$z_2^{Y^{(0)}}$	Модель ПП	$z_0^{X^{(0)}}$	ПП (ИМ)	N	1
$z_3^{Y^{(0)}}$	Модели ЭК	$\left\{ z_0^{x_j^{(p)}} \right\}$	ЭК (МИМ)	{N}	{1,2,3,4,5,6,7,8, 9,10,11,12,13,14, 15,16,17,18,19,20} -ИС ₂ , то же для -ЭРЭо, то же для -ИС ₄
$z_4^{Y^{(0)}}$	—	—	Объем транспортной партии ЭМ	N	20
$z_5^{Y^{(0)}}$	—	—	Оптовая цена 1 ЭМ, [руб.]	R	
$z_6^{Y^{(0)}}$	—	—	Принадлежность ЭМ к регламентируемой группе по месяцам	{L}	
$z_7^{Y^{(0)}}$	—	—	Принадлежность ЭМ к регламентируемой группе по декадам в составе каждого месяца	{L}	

$z_8^{Y^{(0)}}$	—	—	Программа выпуска ЭМ $N_{\text{эя im}}$ по месяцам	{N}	
$z_9^{Y^{(0)}}$	—	—	Программа выпуска ЭИ $N_{\text{эя imd}}$ по декадам в составе каждого месяца	{N}	

Примечание: составляющие признаков $N_{\text{эм im}}$ и $N_{\text{эм imd}}$ определены только в случае принадлежности ЭМ к регламентируемой группе в рассматриваемом плановом периоде.

Связи между шаблонами и моделями ЭК показаны на рис. 6, а между шаблонами и моделями ЭК и ЭМ – на рис. 7.

Список использованных сокращений

A, NR, L - обозначения типов данных в таблицах [**A** — символьная строка; **N** — целое число; **R** — вещественное число; **L** — логическая константа (истина/ложь; 1/0)];

идентификатор - индексное поле (первичный ключ) (поле - идентификатор соответствует признаку с нулевым индексом любого шаблона или модели);

ключевое поле - уникальный идентификатор (УИ обязателен для осуществления индексного поиска в БЗ);

В описании запросов к любой таблице введены следующие обозначения:

ИШ — идентификатор шаблона;

ИМ — идентификатор модели;

МИШ — множество идентификаторов шаблонов;

МИМ — множество идентификаторов моделей;

ЭК - электронный компонент;

$\bar{X}^{(p)}$ - шаблон ЭК;

$X^{(p)}$ - модель ЭК;

ПП - печатная плата;

$X^{(0)}$ - модель ПП;

ЭЯ - электронная ячейка (ЭМ);

$Y^{(0)}$ - модель ЭЯ;

$A_b^c = \left\{ Z_k^{A_b^c} \right\}$ является общим обозначением для всех шаблонов и моделей

и присутствует по умолчанию в соответствующих формализованных описаниях (здесь: **A** — обозначение шаблона или модели; **c** — обозначение объекта, к которому относится данный шаблон или модель; **b** — индексация данного шаблона или модели в составе множества; **k** — индексация множества признаков в составе данного шаблона или модели).



Рис. 6. Связи между шаблонами и моделями сборочных компонентов.

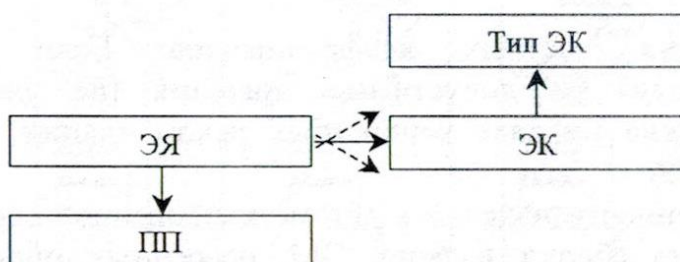


Рис. 7. Связи между шаблонами и моделями сборочных компонентов и сборочных единиц.

Адаптация конструкций электронных модулей к условиям автоматизированной сборки в ГАСК

Говоря об адаптации изделий (ЭМ) к условиям сборки в ГАСК здесь имеется в виду приспособление ЭМ к требованиям ГАСК. В существующих методиках они называются требованиями технологичности.

Как показала практика [1-3, 22-24, 26, 28] среди факторов, сдерживающих автоматизацию сборки в многономенклатурном производстве электронной аппаратуры, следует выделить неприспособленность изделий (ЭМ) к автоматизированной сборке. Недостаточный уровень унификации изделий, большое разнообразие форм и геометрических размеров компонентов, небольшая их величина, наличие в них нежестких элементов, большое разнообразие кинематических связей, часто не обоснованная расчетами точность изготовления компонентов или их элементов. Все это приводит к нестабильности сборочных процессов, сбоям, а иногда исключает возможность автоматизации сборки.

Требования технологичности должны учитывать не только особенности конструкции изделий, но и техпроцессы ТП сборки, оборудования АТО. Существующие методики учитывают, в основном, конструкцию изделия (однако в них нет деления компонентов ЭК на типы и виды с позиций сборочного оборудования АТО, не учтены особенности АТО). К тому же в ГАСК не применяются механизированные техпроцессы ТП, а применяются только автоматизированные АТП и операции (подготовительные, монтажные, контрольные).

В существующих методиках отработки изделий на технологичность [например, 1] готовность изделий к сборке определяется показателем технологичности K_T , который состоит из частных показателей и их весовых функций. K_T рассчитывают как частное от деления суммы произведений частных показателей, умноженных на их весовые функции, на сумму весовых функций. Он должен находиться в заданных пределах.

$$K_T = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_i} = \frac{K_1 \cdot \varphi_1 + K_2 \cdot \varphi_2 + \dots + K_n \cdot \varphi_n}{\varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n}, \quad K_{\text{дMIN}} < K_T < K_{\text{дMAX}} \quad (1)$$

где K_1, K_2 - частные коэффициенты (например, применяемость типовых техпроцессов, автоматизация и механизация подготовки выводов ЭК, автоматизация и механизация монтажа ЭК, автоматизация и механизация контроля ЭМ и др.); φ_1, φ_2

- весовые значения частных коэффициентов. Если показатель технологичности K_T выходит за допустимые значения [не удовлетворяет неравенству (1)], то методика не дает конкретных рекомендаций, как нужно совершенствовать изделия ЭА.

Уровень приспособленности изделий к автоматизированной сборке можно повысить путем увеличения сборки изделий ЭМ, освоенных производством; применения освоенных технологических процессов сборки ЭМ; путем увеличения унификации ЭМ и их элементов; из-за возможности расчленения изделия на более простые сборки; упрощения геометрических форм изделия и его элементов и др.

Предлагаемая методика, не отвергая существующей, предлагает подробный перечень последовательных действий, выполнение которых в интерактивном режиме позволит разработчику повысить степень унификации изделия ЭМ и приспособить его к условиям сборки в ГАСК (алгоритм см. рис. 8).

Технологические операции сборки будут более эффективными, если конструкция изделий (ЭМ) будет позволять вести: независимую сборку и контроль; сборку простую [с базовой деталью на плоскости путем простого наложения компонента на плату (без подкладок, радиаторов); с простой формовкой выводов (например, с П-образной формовкой); простым закреплением компонента (путем подгибки, пайки выводов или установки ЭК на клей или клеевую паяльную пасту)]; обеспечивать доступность ко всем местам сборки и применение высоко производительного оборудования, т.е. соответствовать требованиям автоматизированной сборки в условиях ГАСК.

Для адаптации конструкций изделий ЭМ к условиям сборки в ГАСК автором предложена методика, которая коренным образом не меняет существующей, но делает возможным для этой цели применение ЭВМ, что уменьшает трудоемкость адаптации и расширяет возможности совершенствования изделий ЭМ по наиболее важным частным показателям технологичности: подготовки ЭК к монтажу ($K_{\text{под}}$), монтажа ($K_{\text{ам}}$) ЭК и контроля собранных ЭМ.

Требования, предъявляемые к изделиям и компонентам разделим на общие (для всех типов изделий ЭА: механических, электромеханических, электронных) и групповые (отдельно для механических, электромеханических, электронных).

К общим требованиям относятся: 1. Блочно-модульный принцип построения изделия, позволяющий расчленить его на простые сборки с базовой деталью; 2. Компоненты, по возможности, должны быть жесткими, иметь минимальное количество устойчивых состояний, простую форму, точно обработанные поверхности (для захвата, ориентации, базирования), минимальное количество элементов сопряжения; элементы сопряжения для самоустановки должны иметь фаски, конусы; должны иметь групповую упаковку (в виде ленты, полосы, кассеты); точность изготовления компонентов или их элементов сопряжения должна быть обоснованной расчетом; 3. Сопряжения должны быть легко автоматизируемы [например, пайкой, сваркой, пластической деформацией, подгибкой, запрессовкой, расклепкой, склеиванием (кроме теплопроводящих соединений из-за высокой равномерности нанесения клея); не технологичны соединения свинчиванием, шлицевые, шпоночные, с пружинными кольцами, так как трудно автоматизируются].

Групповые требования для электронных модулей ЭМ сводятся к ограничениям на конструкцию печатных плат (ПП), типы и размеры электронных компонентов (ЭК), их упаковку и подготовку к сборке, вид монтажа, расположение ЭК на плате.

Методика обеспечения адаптивности электронных модулей (ЭМ) к условиям сборки в ГАСК позволяет более полно и дифференцированно оценить конструкцию ЭМ при расчете важных показателей: автоматизации монтажа компонентов ЭК, подготовки ЭК к сборке и контроля собранных ячеек ЭМ. Методика разработана с учетом классификаций ЭМ, ЭК, ПП.

В ней применены следующие принципы: 1) блочно-модульный принцип построения узлов электронной аппаратуры (ЭА); 2) расположение ЭК на

плоскости, чтобы сборка была на плоскости; 3) доступность мест установки ЭК на плате для сборочной головки оборудования (АТО), работа ПР; 4) наличие у базовой детали (ПП) точно обработанных поверхностей для установки, базирования, ориентации; 5) применение простого способа соединения; 6) ограничения, накладываемые на плату ПП (максимальные габариты, толщина, форма простая – прямоугольная; печатные проводники расположены параллельно координатной сетки, шаг координатной сетки); 7) требования - к ЭК (ограничены типы и типоразмеры применяемых ЭК, выводы ЭК должны иметь гарантию пайки; простой вид формовки – одно угловая гибка для ДР- и двух угловая для планарного монтажа); 8) требования - к упаковке (ЭРЭ клеивать в во вторичную ленту за выводы: при клеивании ЭРЭ соблюдать допуск на шаг между соседними ЭРЭ, расстояние между лентами, допуск на выступ выводов за пределы ленты, на отклонение центра корпуса ЭРЭ от оси между лентами); 9) требования - к установке ЭК на плате (расположение корпуса ЭРЭ параллельно сторонам платы; наличие свободной зоны вокруг ЭРЭ; однонаправленная ориентация ЭК с полярными выводами; установка ЭРЭ корпусом на плату без прокладок; закрепление ЭК на плате подгибкой выводов с противоположной монтажу стороны ПП или с помощью клея; настроечные ЭК располагать в одном месте, например, вдоль одной из сторон ПП; ламели, разъемы ЭМ должны обеспечить надежное и быстрое подключение к серийным автоматизированным контрольным стандам и др.

Методику адаптации ЭМ к автоматизированной сборке следует рассматривать не как нечто застывшее, а как динамично развивающийся процесс, т.к. меняется элементная база, изменяются конструкции ЭМ, совершенствуется сборочное оборудование АТО, оснастка СТО, технология сборки.

В основу методики положено: деление ЭК [28] на типы, виды; учет особенностей операций всего процесса АТП сборки ЭЯ (не только основных, но и подготовительных), считая ключевой операцией - монтажную; учет конструктивных особенностей, технологических возможностей и ограничений монтажного, подготовительного и контрольного АТО и СТО ГАСК; учет вида упаковки и состояния выводов ЭК, поступающих на сборку. Учет конструктивных особенностей, например монтажного оборудования АТО, позволяет реализовать требуемую ориентацию устанавливаемых ЭК (параллельно одной или двум осям координатной сетки); наличие (или отсутствие) устройства комплектации ЭК влияет на вид упаковки ЭК (например, для ЭРЭ в ленте наличие комплектации позволяет использовать первичную ленту, в которой находятся ЭРЭ одного типа и номинала; отсутствие комплектации требует применения вторичной ленты, где в определенном порядке расположены ЭРЭ разного типа и номинала); учет гарантии пайки выводов (или ее отсутствия) позволяет определить состав предшествующих монтажу операций, правильно выбрать для них АТО, а для монтажной операции – назначить требования к ЭК, поступающих на сборку.

Учет конструктивных особенностей монтажной системы АТО (например, габаритов головки в плане) позволяет определить минимально допустимые расстояния между рядом расположенными ЭК и назначить "мертвые" зоны вокруг мест базирования и закрепления платы ПП. Учет конструктивных особенностей монтажной системы АТО (наличие направляющих гребенок или их отсутствие) позволяет сформулировать требование к виду формовки выводов ИС (при наличии

направляющих гребенок в АТО выводы ИС2 должны быть предварительно разведены от вертикали на угол $10^\circ + 5^\circ$ в сторону от периметра корпуса).

Методика состоит из шести частей: конструкция ЭМ; платы ПП; компоненты ЭК; подготовка и упаковка ЭК; расположение ЭК на плате; контроль ЭМ. По каждой из них разработаны требования.

1. Конструкция электронного модуля (ЭМ). Анализ существующих конструкций электронно-вычислительной и радиоэлектронной аппаратуры и процессов их сборки позволил сформулировать ряд общих требований, предъявляемых ГАСК к конструкции ЭА, ЭМ, ЭК и АТП сборки [3]: блочно-модульный принцип построения, обеспечивающий возможность расчленения изделий на простые узлы с базовой деталью (для замены объемной сборки на плоскую, для выполнения параллельной сборки, контроля нескольких узлов); наличие у базовой детали точных поверхностей для захвата, ориентации, базирования, монтажа; доступность мест установки ЭК монтажной головке АТО; рациональный способ соединения ЭК и ПП (рациональными считаются соединения, полученные методом групповой пайки, сварки, пластической деформацией, запрессовкой, гибкой, склеиванием (если заказчик не предъявляет высоких требований к равномерности нанесения клея для теплопроводящего соединения); не технологичными считают резьбовые соединения (особенно резьбы с малым шагом), шлицевые, шпоночные соединения, соединения с фиксирующими кольцами - все они плохо поддаются автоматизации).

Требования к АТП сборки - соблюдение принципа последовательности сборки (отсутствие промежуточной разборки, перестановки смонтированных ЭК); обеспечение собираемости узла по кратчайшей размерной цепи; назначение на элементы размерной цепи расчетно обоснованных допусков; базирование компонентов по точным поверхностям; сборка при вертикальной установке компонента на плату; в случае большого числа сопрягаемых поверхностей применение дополнительных средств увеличения точности сопряжения (точно расположенных упоров в питателях, точного центрирования корпуса ЭК перед монтажом, точных направляющих гребенок в монтажной системе, системы технического зрения).

С точки зрения технологии сборки анализ существующих конструкций электронно-вычислительной и радиоэлектронной аппаратуры позволил выделить следующие типы ЭМ.

По виду сигнала: цифровые логические, цифровые памяти; аналоговые и комбинированные; по типу монтажа ЭМ: со штырьковым, планарным, поверхностным и комбинированным монтажом; по количеству сторон монтажа ЭК: с односторонним и двухсторонним расположением ЭК.

2. Платы (ПП). В платах регламентированы: точность изготовления ПП; форма ПП (прямоугольная, квадратная); максимальный размер стороны (≤ 457 мм); толщина многослойных ПП (МПП); расположение печатных проводников (параллельно координатной сетке), ширина печатных проводников; шаг координатной сетки; точность формы, размеры базовых (диаметр $3.2 \leq D_{\text{отв}} \leq 6.38$ мм; допуск на диаметр ± 0.03 мм), монтажных отверстий (смещение относительно координатной сетки; диаметр и допуск на него), размеры контактных площадок (допуск на диаметр); допуск на межцентровые расстояния отверстий и площадок; их смещение относительно координатной сетки.

Числовые значения печатных элементов платы зависят от типа, вида ЭК, вида его монтажа на плате, от типа сборки (автоматизированная или ручная), вида базирования платы на столе автомата, вида пайки.

Для SMD компонентов и поверхностного монтажа размеры контактных площадок (X , Y) и расстояния между ними (L) зависят от размеров выводов компонентов [длины (l_B), ширины (b_B), высоты (h_B)], конструктивного фактора сборочного автомата (k), от длины корпуса компонента (l_K). $X = b_{BMAX} - k$; $Y = h_{BMAX} + l_B + k$; $L = l_{KMAX} - 2 l_B - k$.

Печатные проводники и расстояния между ними на платах с SMD монтажом. Так как область перехода проводника в контактную площадку является критичной для пайки (здесь может происходить стягивание припоя с контактных площадок на проводник), то необходимо: 1) предусмотреть зауженный участок проводника в месте подсоединения к контактной площадке (с максимальной шириной 0,38 мм); 2) предусмотреть применение паяльных масок [паяльная маска снизит вероятность стягивания припоя на проводник и защитит проводники от воздействия расплавленного припоя и активных составляющих флюса, предотвратит образование перемычек (особенно с плотным рисунком проводников)]; 3) паяльную маску наносят на открытые (на не облуженные) медные проводники (для уменьшения деформации маски при пайке волной припоя); 4) размеры окон в паяльной маске превышают размеры контактной площадки не более, чем на 0,3 мм; 5) для повышения надежности паяных соединений следует отделять контактные площадки от межслойных переходов (на расстояние 0,25 мм). Большинство производителей плат и SMD компонентов гарантируют паяемость контактных поверхностей $\geq 95\%$ в течение двух лет с момента выпуска. Однако некоторые производственники считают эту цифру заниженной.

Требования к пайке выводных корпусов SMD. Боковые и нижние стороны вывода наиболее ответственны за качество пайки, поэтому вся их поверхность должна быть покрыта равномерным слоем припоя (допускаются небольшие распределенные дефекты).

У верхней стороны вывода сплошная однородность припоя не обязательна.

Для планарного монтажа допуск на диаметр контактных площадок ± 0.05 мм; допуск на межцентровые расстояния контактных площадок ± 0.05 мм.

Для DIP монтажа размеры монтажных отверстий (диаметр монтажных отверстий $d_M = d_B + 0.4$ мм, где d_M и d_B – диаметры монтажных отверстий и выводов ЭК; допуск на диаметр $d_M = \pm 0.1$ мм; смещение относительно координатной сетки ± 0.1 мм; допуск на межцентровые расстояния между отверстиями ± 0.05 мм).

Компоненты ЭК. Общие требования: по возможности жесткость конструкций ЭК и их выводов; простота формы корпуса; минимально возможное число элементов сопряжения; отсутствие заусенцев и острых углов, наличие фасок и конусов на местах сопряжения для обеспечения самоустановки ЭК; обоснованно ограниченный ассортимент применяемых ЭК.

При делении ЭК на группы применены следующие конструкторско-технологические признаки: распространенность компонентов (ЭК широкого и не широкого применения); функциональное назначение ЭК (интегральные микросхемы ИС, БИС, СБИС, ЭРЭ, ЧИПы); форма корпуса (ИС2 – во втором корпусе, ИС4 – в четвертом, в корпусе PLCC и др.); размеры корпуса и выводов;

расположение выводов (одностороннее, двухстороннее, многостороннее); типы и виды ЭК (например, ИС2 в корпусе 201.14-2, 201.16-2, 565 серия, блоки резисторов и резистивно-конденсаторные сборки Б-20; ИС4 в корпусе 401.14-2, 402.16-2, 405.24-2; ЭРЭ_p с радиальным расположением выводов – конденсаторы керамические, электролитические, транзисторы и пр.); расстояние между рядами выводов ИС2 (7.1, 10.2 и 15 мм); количество выводов; вид подготовки выводов ЭК; наличие гарантии пайки выводов; вид упаковки ЭК (в ленте, индивидуальной упаковке, планшетах, россыпью).

3. Упаковка и подготовка ЭК. Максимальное использование ЭК в групповой упаковке: лентах, блоках кассет, пеналах.

Упаковкой SMD компонентов (рис. 4, 5) служат: лента обычная, блистерная, трубчатые кассеты, матричные накопители.

Интегральные микросхемы с планарными выводами ИС₄ имеют индивидуальную упаковку – колпачок, предохраняющий выводы ИС₄ от произвольной деформации.

Для монтажного автомата они должны быть упакованы в кассеты (этажерочные).

Интегральные микросхемы со штырьковыми выводами ИС₂ упакованы в трубчатые кассеты, где ИС₂ расположены вертикально торцом к торцу.

ЭРЭ упакованы в ленту первичную или вторичную. В первичной ленте вклеены ЭРЭ одного типа размера и номинала; во вторичной – разного типа размера и номинала.

Подготовка микросхем во втором корпусе (ИС2) сводится к рихтовке, разведению выводов в сторону от корпуса на угол $10^\circ + 5^\circ$ и кассетированию (а также лужению, если выводы не имеют гарантии пайки).

Подготовка микросхем в четвертом корпусе (ИС4) заключается в рихтовке, двухугловой формовке выводов и кассетировании (лужению, если выводы не имеют гарантии пайки). Если АТО пайки ИС₄ не имеет механизма подачи дозированного припоя, то вводится операция напресовки припоя на выводы ИС₄.

Подготовка ЭРЭ для монтажного АТО, не имеющего устройства комплектации, заключается в программной переклейке ЭРЭ разного типа и номинала из первичных лент во вторичную. Регламентированы: ширина вторичной ленты (6.35 мм); расстояние между лентами ($L_{\min} = 50.8; 60.9; 71.94$ мм; $L_{\max} = 53.98; 65.1; 74.61$ мм); шаг S между ЭРЭ в ленте (для $d_k < 5.08$ мм $S = 5.08 \pm 0.38$ мм; для $5.08 < d_k < 9.53$ мм $S = 9.53 \pm 0.38$ мм); отклонение выводов ЭРЭ в ленте от прямолинейности (≤ 1.19 мм); суммарный выступ выводов за края ленты (≤ 12.7 мм); отклонение центра симметрии корпуса ЭРЭ от продольной оси между лентами (≤ 1.19 мм); полярные ЭРЭ вклеиваются однонаправленно. В монтажных АТО с комплектацией вторичная лента не нужна (операция по программной переклейке ЭРЭ отсутствует). В них используют первичные ленты.

Размеры катушек стандартизированы (диаметр $180 \div 325$ мм; ширина ленты $8 \div 57$ мм).

Выводы ЭК должны иметь гарантию пайки. Выводы ИС2, ИС4 и ЭРЭ, утратившие по тем или иным причинам гарантию пайки, дополнительно покрываются полудой.

SMD - компоненты с корпусами типа PLCC, SO, чипы резисторы, чипы конденсаторы поставляются заводами изготовителями с облуженными выводами,

поэтому подготовки не требуют. Для безвыводных SMD - элементов в корпусах, например, типа LCCC может потребоваться лужение (из-за частичного вымывания золота припоем с контактных площадок корпуса или образования разрушающих интерметаллических соединений в местах пайки). Их групповой упаковкой служит, главным образом, лента шириной: 8, 12, 16, 20, 24, 32, 44 мм и более.

Для SMD – компонентов регламентированы: допуск на шаг выводов; допуск на совмещение вывода с контактной площадкой при установке на плату (0.05; 0.025 мм); величина зазора между корпусом SMD и платой (не менее 0.635 мм в ЭМ, где требуется качественная очистка).

4. Расположение ЭК на плате. При расположении ЭК на плате регламентированы: свободные зоны; ориентация корпусов ЭК относительно координатной сетки; регулярность расположения ЭК на ПП.

Расположение SMD компонентов. При использовании пайки волной припоя: 1. Все чип-компоненты и корпуса типа SO рекомендуется располагать параллельно друг другу; 2. Длинные стороны чип-компонентов и корпусов типа SO рекомендуется располагать по взаимно перпендикулярным направлениям; 3. Длинные стороны чип-компонентов рекомендуется располагать перпендикулярно направлению движения платы (вдоль волны припоя). Расстояния между SMD с четырех сторонним расположением выводов не менее 1,25 мм; между SMD с четырех сторонним расположением выводов и SMD с двух сторонним расположением выводов - не менее 1,5 мм; между SMD с четырех сторонним расположением выводов и чипом – не менее 0,63 мм; между чипом и SMD с двух сторонним расположением выводов - не менее 1,25 мм; между двумя чипами – не менее 1,0 мм.

Компоненты с планарными выводами можно располагать параллельно одной из осей, например, Y ключом вверх или вниз (т.к. автоматы монтажа оснащены поворотными устройствами ориентации компонента перед монтажом).

Компоненты со штырьковыми выводами (интегральные микросхемы во втором корпусе ИС₂). можно располагать параллельно только одной из осей, например, Y ключом вверх или вниз (изменение положения ключа ИС₂ в автомате достигается указанием в программе кассеты загрузочного устройства с нужной ориентацией ИС₂).

Компоненты типа ЭРЭ можно располагать параллельно осям X и Y (т.к. автоматы монтажа оснащены поворотными устройствами ориентации платы при монтаже). ЭРЭ, имеющие полярные выводы, располагают однонаправленно. При монтаже ЭРЭ регламентирован установочный размер L_y между выводами (ориентируясь на европейский стандарт для ЭРЭ с осевым расположением выводов $7.62 < L_y < 33.02$ мм; для ИС₂ - 7.11, 10.16, 15 мм).

Рекомендовано несколько схем расположения ЭК на плате (на примере ЭРЭ рис. 10): 1. рядное, ЭК в рядах имеют один L_y , корпус ЭК параллелен одной из осей X или Y с однополярной ориентацией выводов; 2. рядное, ЭК в рядах имеют один L_y , корпус ЭК параллелен одной из осей X или Y, выводы полярных ЭК могут быть развернуты на 180° один относительно другого; 3. рядное, ряды параллельны осям X или Y, выводы ЭК в ряду параллельны одной оси, ЭК в ряду имеют один L_y ; 4, 5, 6 те же схемы (1, 2, 3), но с разным значением L_y ($7.62 < L_y < 33.02$ мм); 7 ÷ 12 те же схемы (1 ÷ 6), но с пропуском ЭК в рядах.

Свободные зоны и минимальные расстояния между соседними ЭК.

Свободные зоны образуются вокруг базовых отверстий (радиусом $R_{\min} = 12.7$ мм), мест закрепления платы в приспособлении (при базировании по боковым сторонам ≥ 12.7 мм вдоль базовой поверхности); вокруг каждого ЭК (минимальное расстояние в плане между проекциями корпусов соседних дискретных ЭК ≥ 2.5 мм при подгибке выводов внутрь периметра ЭК; при подгибке наружу требуемые расстояния увеличиваются).

Числовые характеристики ограничений (размеры, допуски) указаны в соответствующих блоках алгоритма тест-программы адаптации на ЭВМ ЭМ к условиям автоматизированной сборки в ГАСК. Из блок-схемы алгоритма (рис. 8) видно, что невыполнение хотя бы одного требования по каждому виду ЭК превращает автоматизированную сборку по нему в неавтоматизированную со всеми вытекающими последствиями (увеличение трудоемкости, снижение качества сборки, увеличение себестоимости).

Степень регулярности расположения ЭК на плате влияет на длину $L_{\text{КС}}$ суммарного Пути координатной системы КС монтажного АТО, а через нее - на вспомогательное время $T_{\text{В}}$, производительность Q АТО (уменьшение $L_{\text{КС}}$ вызывает уменьшение $T_{\text{В}}$ и увеличение Q) и эффективность операции $P_{\text{оп}}$ [5, 2]:

$$P_{\text{оп}} = \frac{Q_{\text{гоп}}}{K_{\text{гоп}} + C_{\text{гоп}} + K_{\text{тр}} + C_{\text{тр}}} \quad (2)$$

$$Q_{\text{гоп}} = \frac{K_z \cdot \rho \cdot K_{\text{мп}} \cdot N_{\text{об}} \cdot F_{\text{эфф}}}{T_{\text{шк}}} \quad (3)$$

где: $Q_{\text{гоп}}$ - годовая производительность по рассматриваемой операции; $K_{\text{гоп}}$ и $C_{\text{гоп}}$ постоянные и переменные годовые затраты по технологической операции; $K_{\text{тр}}$ и $C_{\text{тр}}$ - постоянные и переменные годовые затраты на транспорт, отнесенные к технологической операции; K_z - коэффициент фактической загрузки АТО; ρ - коэффициент готовности к работе; $K_{\text{мп}}$ - коэффициент, учитывающий выход годных изделий на данной операции; $N_{\text{об}}$ - количество АТО на данной операции; $F_{\text{эфф}}$ - годовой эффективный фонд времени АТО.

$T_{\text{шк}}$ - полное время сборки, приходящееся на один ЭК [28]:

$$T_{\text{шк}} = T_0 + T_{\text{В}} + T_{\text{отд}} + T_{\text{обс}} + T_{\text{пер}} \quad (4)$$

T_0 , $T_{\text{В}}$, $T_{\text{отд}}$, $T_{\text{обс}}$, $T_{\text{пер}}$ - составляющие $T_{\text{шк}}$ (соответственно: основное, вспомогательное, на отдых, обслуживание, переналадку)

$$T_{\text{В}} = 2 \cdot T_{\text{пп}} + \frac{L_{\text{RC}\Sigma\text{МИН}}}{N_{\text{ЭКЭМ}} \cdot V_{\text{RC}}} \quad (5)$$

где: $T_{\text{пп}}$ - время на разгон, торможение (время переходного процесса привода координатной системы АТО); $L_{\text{RC}\Sigma\text{МИН}}$ - суммарный путь, пройденный КС при установке компонентов на плату; $N_{\text{ЭКЭМ}}$ - количество ЭК, устанавливаемых на плату; V_{RC} - скорость движения КС.

Можно показать, что для одинаковых условий (если параметры T_0 , $T_{\text{отд}}$, $T_{\text{обс}}$, $T_{\text{пер}}$, $T_{\text{пп}}$, V_{RC} , $N_{\text{ЭКЭМ}}$, K , C , K_i , K_z , ρ , $K_{\text{мп}}$ постоянны) схема расположения ЭК на плате влияет на производительность $Q_{\text{гоп}}$ и эффективность $P_{\text{оп}}$ операции. Уменьшение $L_{\text{RC}\Sigma\text{МИН}}$ приводит к увеличению $Q_{\text{гоп}}$ и повышению эффективности операции (увеличению $P_{\text{оп}}$).

Уменьшение $L_{\text{RC}\Sigma\text{МИН}}$ возможно при увеличении степени регулярности расположения ЭК на плате.

Определим $L_{\text{RC}\Sigma\text{МИН}}$ для разных схем размещения ЭК на плате (рис.10).

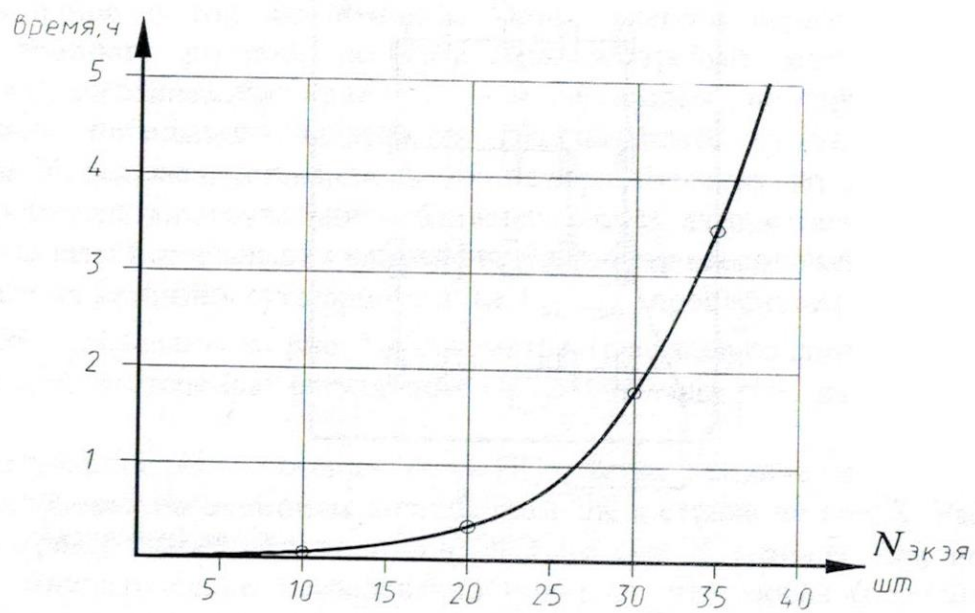


Рис. 9. Исследование влияния числа компонентов ЭЖ в ячейке на время оптимизации последовательности их установки методом полного перебора

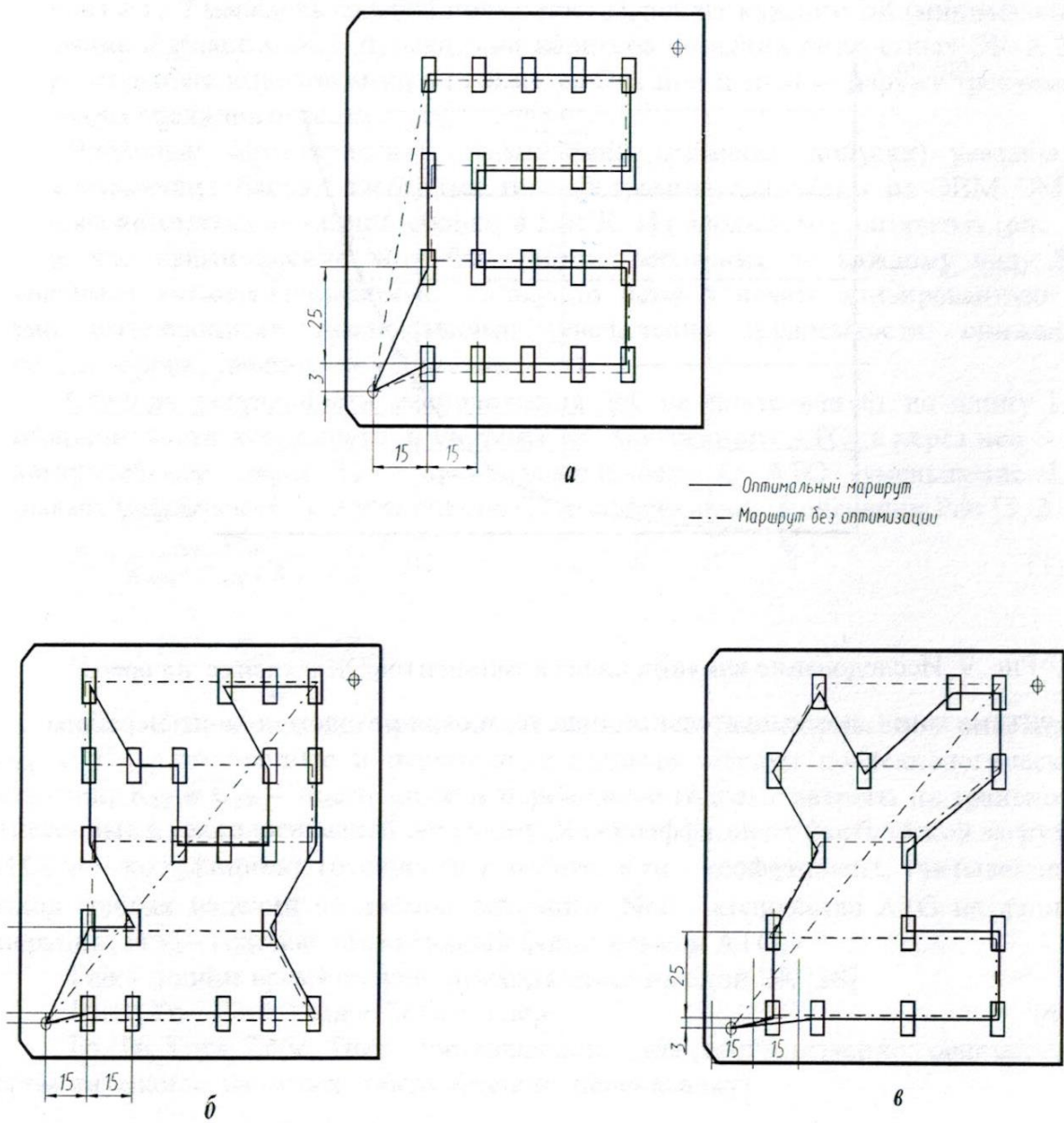


Рис. 10. Исследование влияния расположения компонентов ЭЖ на плате на величину суммарного пути стола сборочного АТО
 а - упорядоченное расположение, б - рядное, в - хаотичное

Исследование этого влияния выполним одним из методов оптимизации, например, методом полного перебора. За критерий оптимизации принята минимальная длина $L_{RC\Sigma MIN}$; ограничением является исключение остановки КС дважды в одной и той же позиции. Метод полного перебора обеспечивает высокую точность расчета, но трудоемок и требует много времени для выполнения оптимизации (рис. 9). Он приемлем по трудоемкости для сравнительно небольшого количества ЭК на плате (≤ 15). Для большего количества ЭК рекомендуется использование эвристических методов оптимизации (например, метода многоугольника, ближнего соседа, алгоритма Флада и др.).

Результаты исследования влияния регулярности расположения компонентов ЭК на плате на величину суммарного пути $L_{RC\Sigma MIN}$, пройденного столом АТО при монтаже ЭК, приведены на рис. 10. Рассмотрены несколько компоновок изделий ЭМ с различной степенью регулярности расположения ЭК на печатной плате (ПП).

1. Регулярное расположение ЭК на ПП с четным количеством ЭК в ряду по оси Y и четным либо нечетным количеством ЭК в строке по оси X. Расстояние между центрами симметрии корпусов ЭРЭ по оси X меньше, чем по оси Y (рис.10,а). Аналитические исследования показали, что любая (неоптимальная) рядная последовательность обхода при монтаже дает проигрыш в суммарном пройденном пути до 10% по сравнению с оптимальным маршрутом. Для выбранного примера длина пути без оптимизации маршрута составляет 0.51 м, с оптимизацией 0.464 м, экономия при оптимизации – 0.046 м (9.0 %).

2. Расположение ЭК на плате рядное с пропусками (рис.10, б). Длина пути без оптимизации маршрута составляет 0.661 м, с оптимизацией 0.52 м, экономия при оптимизации 0.141 м (21.13%).

3. Хаотичное расположение ЭК на плате (рис. 10, в). При хаотичном расположении ЭК увеличение пройденного пути может составлять до 30% и более по сравнению с оптимальным маршрутом. Для данной схемы средняя длина пути, приходящаяся на один устанавливаемый ЭК, является наибольшей из рассмотренных вариантов. Суммарный путь составляет без оптимизации 0.64 м, с оптимизацией 0.465 м, экономия от оптимизации 0.175 м (27.34%).

Таким образом, с уменьшением степени регулярности расположения ЭК на плате увеличивается разница между неоптимальным и оптимальным путем, увеличивается время на вспомогательные движения стола АТО. Это уменьшает эффективность работы АТО и эффективность операции. Для увеличения их эффективности необходимо увеличить степень регулярности расположения ЭК, если это не противоречит требованиям конструкции ЭМ (по электромагнитной защите, тепловому режиму, трассировке печатных проводников).

Анализируя рассмотренные варианты установки ЭК (ЭРЭ) на ПП, можно дать следующие рекомендации для принятия конструкторско-технологического решения при проектировании ПП, ЭМ: располагать ЭК рядами с минимально возможным расстоянием между рядами и в ряду. В платах со сложным расположением ЭК такой подход не всегда возможен. Если это не удастся реализовать для всех ЭК, то рекомендуется локальный подход (ЭК одного или нескольких типов размещать рядами). В дополнении к стратегии размещения необходимо использовать оптимизацию последовательности монтажа ЭК на ПП, позволившую определить маршрут, при котором суммарный пройденный координатным столом путь окажется минимальным для проектируемой ЭМ.

5. **Контроль ЭМ.** Контроль и регулировка ЭМ должны обеспечиваться только компонентами самой ЭМ; настраиваемые ЭК должны быть расположены вдоль одной из сторон ПП; коммутационные элементы ЭМ (разъемы, ламели) должны обеспечивать быстрое и надежное соединение с автоматизированными стендами контроля.

Формирование видов (групп) ЭК, установление подробного перечня требований, предъявляемых к каждому виду ЭК и ЭМ для операций сборки АТП, последовательная реализация требований (принцип диагностики) позволили алгоритмизировать этот процесс, разработать методику адаптации и выполнить ее с использованием ПЭВМ.

Применение методики адаптации с использованием ЭВМ: уменьшает трудоемкость приспособления ЭМ к условиям сборки в ГАСК и расширяет возможности совершенствования изделий ЭМ по наиболее важным частным показателям стандартной методики технологичности [подготовки ЭК к монтажу ($K_{\text{под}}$), монтажа ($K_{\text{ам}}$) ЭК на плату и контроля ($K_{\text{ак}}$) собранных ЭМ].

ВЫВОДЫ: 1) на основе анализа и классификаций конструкций электронных модулей ЭМ, их компонентов, оборудования АТО и техпроцессов АТП сборки ЭМ разработана методика адаптации ЭМ к условиям сборки в ГАСК, учитывающая не только особенности конструкции изделий ЭМ, но и возможности оборудования АТО, техпроцессов АТП, ГАСК и позволившая дифференцированно (по каждому виду ЭК) выполнить приспособление ЭМ к требованиям ГАСК; 2) приведены результаты аналитического исследования влияния схем расположения ЭК на плате на эффективность автоматизированной сборки в ГАСК; 3) предложен алгоритм тест-программы, реализовавший методику адаптации ЭМ, и заменивший ручные рутинные операции по совершенствованию ЭМ машинными (на ЭВМ в интерактивном режиме).

Контрольные вопросы

1. Что означает адаптация изделий ЭМ к условиям сборки в условиях ГАСК.
2. В чем суть известных методик отработки изделий на технологичность.
3. В чем суть предложенной методики адаптации изделий ЭМ к условиям сборки в ГАСК.
4. Какие требования содержит раздел Электронные компоненты методики адаптации.
5. Какие требования содержит раздел Печатные платы методики адаптации.
6. Какие требования содержит раздел Автоматизированная подготовка выводов электронных компонентов методики адаптации.
7. Какие требования содержит раздел Автоматизированный монтаж электронных компонентов методики адаптации.
8. Какие требования содержит раздел Автоматизированная наладка и контроль методики адаптации.
9. Какие признаки содержит шаблон изделий ЭМ.
10. Какие признаки содержит модель изделий ЭМ.
11. Какие признаки содержит шаблон типа электронного компонента.
12. Какие признаки содержит модель типа электронного компонента.

Литература

1. Иванов Ю. В., Лакота Н. А. Гибкая автоматизация производства РЭА с применением микропроцессоров и роботов Уч пособие. - М : Радио и связь. 1987.-464 с.

2. Малов А. Н , Иванов Ю. В. Основы автоматики и автоматизация производственных процессов: Учебник. - М Машиностроение, 1974. - 368 с

3. Иванов Ю. В Автоматизация сборки в условиях гибкого производства /Обзор ВНИИТЭМР. Серия 6. - 1988. - Выпуск 2 - 42 с.

4. Иванов Ю.В. Автоматизированная разработка управляющих технологических программ монтажа ЭРЭ с оптимизацией их последовательности на автомате с СЧПУ: Учебное пособие. – М.: МГТУ. 2002. -33 с.

5. Иванов Ю.В. Автоматизированная разработка управляющих технологических программ монтажа интегральных микросхем со штырьковыми выводами на автомате с СЧПУ с оптимизацией их очередности: Учеб пособ. – М.: МГТУ, 2002.-31с.

6. Иванов Ю.В. Автоматизированная разработка управляющих технологических программ монтажа и пайки интегральных микросхем с пленарными выводами на автомате с ЧПУ с оптимизацией очередности: Учеб пособ. - М.: МГТУ, 1993. - 21 с.

7. Иванов Ю.В. Автоматизация проектирования специального технологического оснащения гибкого автоматизированного сборочного комплекса производства электронной аппаратуры: Учебное пособие. - М.: МГТУ. 2002. - 53 с.

8. Иванов Ю.В. Исследование динамики цифровых моделей следящих приводов координатных систем сборочных автоматов и промышленных роботов с ЧПУ: Учеб. пособие. - М.: МГТУ, 1998. - 32 с

9. Иванов Ю.В. Проектирование координатных систем с быстродействующими следящими приводами для автоматизации сборки электронной аппаратуры: Учебное пособие - М.: МГТУ. 2002. - 38 с.

10. Иванов Ю.В. Автоматизация проектирования загрузочных устройств электронных компонентов для автоматизированной сборки электронной аппаратуры: Учебное пособие. - М.: МГТУ, 2002. - 32 с.

II. Иванов Ю.В. Автоматизация проектирования устройств захвата электронных компонентов для автоматической сборки электронной аппаратуры: Учебное пособие. - М.: МГТУ, 2002. - 32 с.

12. Иванов Ю.В. Автоматизация проектирования головок монтажа электронных компонентов для автоматической сборки электронной аппаратуры: Учебное пособие. - М.: МГТУ, 2002. - 31с

13. Иванов Ю.В. Проектирование операций сборки, выполняемых на оборудовании с ЧПУ: Учебное пособие. - М : МГТУ, 1984. - 32 с.

14. Иванов Ю.В. Курсовая работа по автоматизированному производству электронных систем: Учебное пособие. - М : МГТУ, 2004. - 30 с.

15. Иванов Ю.В. Автоматизация проектирования технологических операций сборки электронных модулей на автоматах ГАСК: Уч пособие. - МГТУ, 2004 - 33 с.
16. Иванов К).В. Проектирование простых роботизированных комплексов сборки электронной аппаратуры: Уч. пособие. -МГТУ,2004. 44 с.
17. Иванов Ю.В. Автоматизация проектирования сложных роботизированных комплексов сборки щектронной аппаратуры: Учебное пособие,- М.:МГТУ. 2004. - 45 с.
18. Иванов Ю.В. Проектирование автоматизированных технологических процессов сборки ЭМ в ГАСК: Учебное пособие. - М.: МГТУ. 2004. - 46 с.
19. Иванов Ю.В. Технологические автоматы - основа автоматизированных комплексов сборки электронной аппаратуры: Учебное пособие. -М.: МГТУ. 2004. -41 с.
- 20.Иванов Ю.В. Обеспечение технологических требований гибкого автоматизированного производства в оборудовании и оснастке сборки электронной аппаратуры: Учебное пособие. - М.: МГТУ, 2004. - 52 с.
21. Иванов Ю.В. Адаптация электронной аппаратуры к условиям сборки в гибких автоматизированных комплексах: Учебное пособие. - М.: МГТУ, 2004. - 28 с.
22. Иванов Ю.В. Автореферат докторской диссертации: Методы и средства проектирования технологических структур гибких автоматизированных сборочных комплексов многономенклатурного производства электронной аппаратуры,- М.:МГТУ, 2003.
23. Иванов Ю. В. Концептуальная модель автоматизированного проектирования структур ГАСК многономенклатурного производства электронных ячеек//Вестник МГТУ. Приборостроение. - 2001. -№ 2. - С. 58 - 68.
24. Иванов Ю. В. Повышение эффективности сборки изделий //Вестник МГТУ. Машиностроение. - 1995. - № 4. - С. 66-75.
- 25.Иванов Ю.В. Увеличение производительности оборудования с электрическим шаговым приводом и микропроцессорной СЧІТУ//Вестник МГТУ. Машиностроение. - 1995. - № 3. -С. 91-96.
26. Ханке Х.И., Фабиан Х. Технология производства радиоэлектронной аппаратуры: Пер. с нем. /Под ред. В.Н. Черняева. - М.: Энергия. 1980. - 464 с.
27. Автоматизация и механизация сборки и монтажа узлов на печатных платах/А.В. Егунов, Б.Л. Жоржوليани, В.Г. Журавский; Под редакцией В.Г. Журавского. - М.: Радио и связь, 1988. - 280 с.
28. Иванов Ю.В. Автоматизированная адаптация изделий ЭМ к условиям сборки в ГАСК// Весн. МГТУ. Приборст-е,- 2001.-№3].
29. Шаумян Г.А. Комплексная автоматизация производственных процессов. - М.: Машиностроение, 1973. - 640 с.

Оглавление

Введение	3
Классификация электронных модулей	5
Классификация электронных компонентов	5
Модели электронных модулей и электронных компонентов	11
Адаптация электронных модулей к условиям автоматизированной сборки в ГАСК	16
Результаты исследования влияния степени регулярности расположения ЭК на плате на величину суммарного пути	25
Контрольные вопросы	28
Литература	29