

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра промышленной электроники
и информационно-измерительной техники

М.М. Филяк

ТЕХНОЛОГИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по программам высшего образования по направлению подготовки 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

Оренбург
2019

УДК 621.37(07)
ББК 32.85.я7
Ф57

Рецензент – кандидат технических, наук доцент М.Г. Петрушанский

Филяк, М.М.

Ф57 Технология радиоэлектронных средств: методические указания /
М.М. Филяк; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2019. – 36 с.

В методических указаниях рассмотрен порядок проведения практических занятий, предусмотренных рабочей программой дисциплины «Технология радиоэлектронных средств» в седьмом семестре обучения, изложены требования к содержанию отчета.

Методические указания предназначены для обучающихся по образовательной программе бакалавриата по направлению подготовки 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств.

УДК 621.37(07)
ББК 32.85.я7

© Филяк М. М., 2019
© ОГУ, 2019

Содержание

Введение.....	4
1 Практическая работа № 1. Основы проектирования технологических процессов РЭС. Разработка схемы сборки электронного модуля первого уровня.....	5
2 Практическая работа № 2. Расчёт технологической трудоёмкости операции установки и пайки ИМС и ЭРЭ на плату.....	11
3 Практическая работа № 3. Расчет технологичности узлов радиоэлектронных средств по комплексному показателю	15
4 Практическая работа № 4. Расчет технологической себестоимости операции установки и пайки ИМС и ЭРЭ на плату.....	22
5 Практическая работа № 5. Расчет коэффициента загрузки оборудования на примере процесса подготовки ИЭТ к монтажу на плату	27
6 Практическая работа № 6. Выбор оптимального варианта технологического процесса по критерию себестоимости	30
Список использованных источников	36

Введение

Радиоэлектронная аппаратура (РЭА) представляет собой совокупность элементов, объединённых в сборочные единицы и устройства, предназначенные для преобразования и обработки электромагнитных сигналов в диапазоне от инфранизких до сверхвысоких (СВЧ) частот.

В производстве элементов, сборочных единиц и устройств РЭА используется большой комплекс технологических процессов, основанных на различных физических и химических методах обработки материалов.

Технология – прикладная наука, изучающая основные операции и закономерности, действующие в процессе производства, и использующая их для получения изделий требуемого качества, заданного количества и номенклатуры при минимальных материальных, энергетических и трудовых затратах.

Освоение технологических процессов производства электронных средств предполагает формирование практических навыков. Данные методические указания предназначены для приобретения обучающимися таких навыков, как основы для решения конкретных инженерных задач при выполнении курсового проекта по дисциплине «Технология радиоэлектронных средств» и выпускной квалификационной работы.

1 Практическая работа № 1. Основы проектирования технологических процессов РЭС. Разработка схемы сборки электронного модуля первого уровня

Основные понятия и определения

Технологический процесс (ТП) – это часть производственного процесса, непосредственно связанная с изготовлением, обработкой, сборкой и контролем изделия.

Основной частью технологического процесса является технологическая операция, которая представляет собой совокупность производственных переходов и приемов, выполняемых непрерывно на одном рабочем месте, например, фото-экспонирование, пайка, сборка микросхем и радиоэлектронной аппаратуры и т.д.

Построение технологического процесса, структура и степень его детализации зависят от типа производства: единичное, серийное и массовое.

Единичное производство характеризуется широтой номенклатуры и малым объемом выпуска изделий. На рабочих местах выполняются разнообразные технологические операции, используется универсальное оборудование. Требуется высокая квалификация рабочих. Уровень механизации низок. Поэтому аппаратура единичного производства имеет высокую стоимость.

Серийное производство характеризуется ограниченной номенклатурой изделий со сравнительно большим объемом выпуска (от десятков сотен до тысяч регулярно повторяющихся изделий). Технологическая оснастка в основном универсальная. Квалификация рабочих высокая, поскольку наряду с настроенными станками требуются квалифицированные рабочие для освоения универсального оборудования.

Массовое производство характеризуется узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий. На каждом рабочем месте закрепляется выполнение одной операции. При этом используется специальное высокопроизводительное

оборудование, связанное транспортирующими устройствами и конвейерами. Широко применяются автоматические линии и автоматизированные производственные системы, управляемые от ЭВМ. Средняя квалификация рабочих в массовом производстве ниже, чем в единичном, поскольку каждый выполняет определенную операцию.

Производство сборочных единиц и модулей РЭС основано на сборке и электрическом монтаже. Монтаж выполняют различными методами: пайкой, сваркой, склеиванием, накруткой, а также печатным, жгутовым, проводным монтажом на платах, плоскими кабелями.

Проектирование ТП сборки и монтажа РЭА начинается с тщательного изучения на всех производственных уровнях исходных данных, к которым относятся: краткое описание функционального назначения изделия, технические условия и требования, комплект конструкторской документации, программа и плановые сроки выпуска, руководящий технический, нормативный и справочный материал.

В разработку ТП сборки и монтажа входит следующий комплекс взаимосвязанных работ: выбор возможного типового или группового ТП и его доработка в соответствии с требованиями, приведенными в исходных данных; составление маршрута единичного ТП общей сборки и установление технологических требований к входящим в них сборочным единицам; составление маршрутов единичных ТП сборки блоков (сборочных единиц) и установление технологических требований к входящим в них сборочным единицам и деталям; определение необходимого технологического оборудования, оснастки, средств механизации и автоматизации; моделирование и оптимизация техпроцесса по производительности: разбивка ТП на элементы; расчет и назначение технологических режимов, техническое нормирование работ и определение квалификации рабочих; разработка ТП и выбор средств контроля, настройки и регулирования; выдача технического задания на проектирование и изготовление специальной технологической оснастки; расчет и проектирование поточной линии, участка серийной сборки или гибкой производственной системы, составление

планировок и разработка операций перемещения изделий и отходов производства; выбор и назначение внутрицеховых подъемно-транспортных средств, организация комплектовочной площадки; оформление технологической документации на процесс в соответствии с единой системой конструкторской документации (ЕСКД) и ее утверждение; выпуск опытной партии; корректировка документации по результатам испытаний опытной партии.

Для выполнения сборки и монтажа изделия РЭС необходимо разработать техпроцесс сборки изделия в соответствии с единой системой технологической документации (ЕСТД), технологическими и техническими требованиями к конструкции изделия, оформить технологическую документацию, выбрать технологическое оборудование и оснастку или разработать техническое задание на его проектирование.

Разработка технологического маршрута сборки и монтажа РЭА начинается с расчленения изделия на сборочные элементы путем построения схем сборки. Элементами сборочно-монтажного производства являются детали и сборочные единицы различной степени сложности. Построение схем позволяет установить последовательность сборки, взаимную связь между элементами и наглядно представить Проект ТП. Сначала составляется схема сборочного состава всего изделия, а затем ее дополняют развернутыми схемами отдельных сборочных единиц. Расчленение изделия на элементы производится независимо от программы его выпуска и характера ТП сборки. Схема сборочного состава служит основой для разработки технологической схемы сборки, в которой формируется структура операций сборки, устанавливается их оптимальная последовательность, вносятся указания по особенностям выполнения операций.

На практике применяют два типа схем сборки: «веерный» и с базовой деталью (рисунки 1, 2). Сборочные элементы на схемах сборки представляют прямоугольниками, в которых указывают их название, номер по классификатору, позиционное обозначение и количество.

Более трудоемкой, но наглядной и отражающей временную последовательность процесса сборки является схема с базовой деталью. За базовую

принимается шасси, панель, плата или другая деталь, с которой начинается сборка. В схеме с базовой деталью при сборке выбирается базовая деталь, например, печатная плата, которая будет использоваться при сборке изделия. В схеме с базовой деталью отражены названия технологических операций сборки и монтажа и последовательность выполнения техпроцесса сборки изделия радиоэлектронных средств (РЭС).

Схема веерного типа изображает состав конструкции, этапы сборки, количество и наименование сборочных единиц и деталей. Однако в схеме веерного типа не указывается последовательность выполнения технологических операций при сборке и монтаже изделия и их наименование.

В схемах сборки на рисунках 1, 2 обозначены: S – наименование сборочной единицы, m – номер ведомости спецификации, n – количество деталей и сборочных единиц, D – название и обозначение детали.

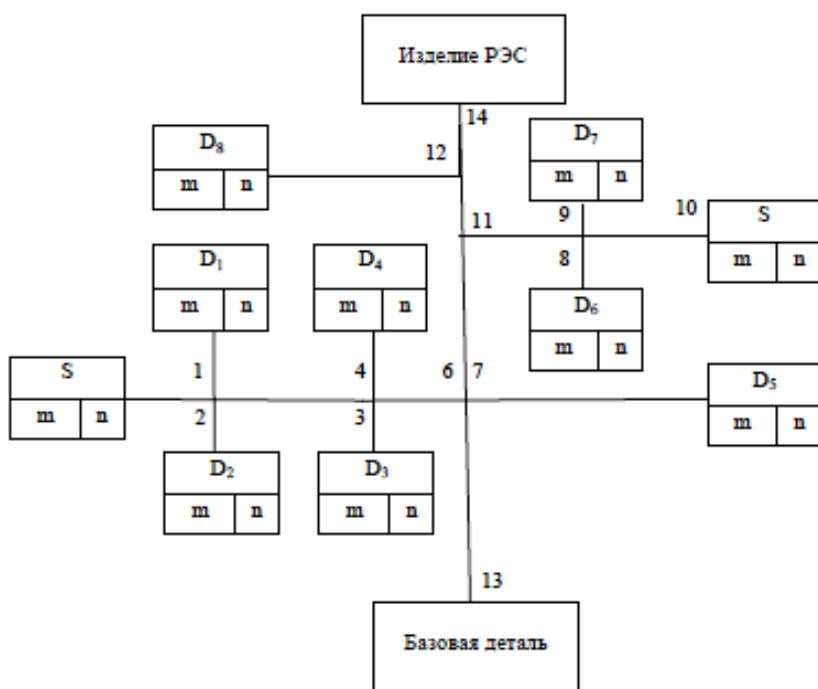


Рисунок 1 – Схема сборки с базовой деталью

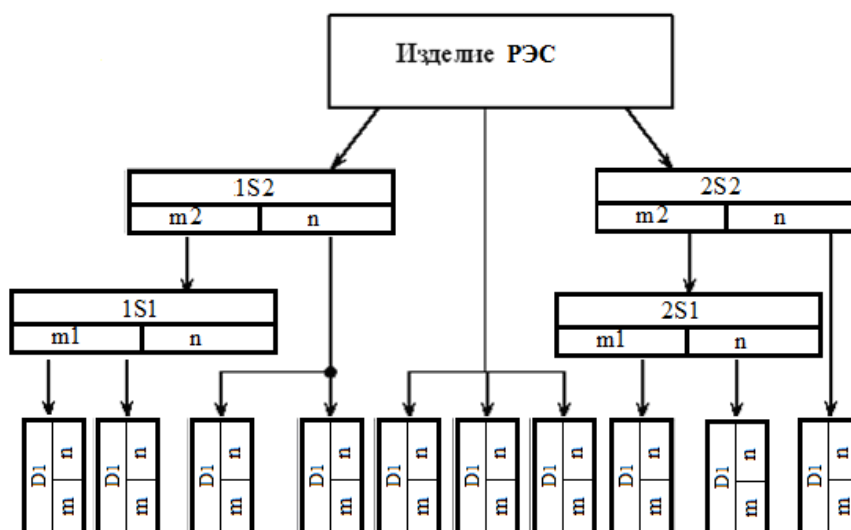


Рисунок 2 – Схема сборки веерного типа

Для построения схем сборки изделия делят на группы, подгруппы и детали. Деталь характеризуется отсутствием разъемных и неразъемных соединений. Сборочная единица – разъемное или неразъемное соединение двух или более деталей. Сборочная единица, входящая непосредственно в изделие, а также детали, перечисленные в спецификации наряду со сборочной единицей, условно называется группой. Все остальные сборочные единицы и детали, собираемые до образования группы, называют подгруппами разного порядка. Подгруппа первого порядка входит непосредственно в состав группы. В ее состав могут входить подгруппы второго порядка и детали.

На схемах каждый элемент изделия условно обозначен прямоугольником, в котором указывают наименование элемента, его индекс и количество собираемых элементов. При необходимости, на схеме помещают дополнительные надписи, определяющие содержание операций (паять совместно, сверлить и развернуть, регулировать зазор и т.п.).

При разработке схемы сборки необходимо выбрать базовую деталь. Для модулей первого уровня это печатная плата. Детали и сборочные единицы изображаются в виде прямоугольников (см. рисунок 1), в которых указывается номер по спецификации, наименование и количество. От базовой детали к готовой

сборочной единице проводится главная линия сборки, а от устанавливаемых деталей или сборочных единиц – линии до пересечения с ней. Расположение точек пересечения на главной линии говорит о выбранной последовательности сборки. Операции сборки и монтажа указываются текстом в прямоугольных рамках в том месте, где они осуществляются. Для упорядочения схемы сборки по одну сторону от главной линии изображаются устанавливаемые детали и сборочные единицы, по другую – крепежные детали и монтажные операции. Если текст занимает много места, то операции могут быть пронумерованы, а расшифровка их сделана вне схемы сборки.

Разработанная схема сборки позволяет проанализировать ТП с учетом технико-экономических показателей и выбрать оптимальный ТП, как с технической, так и с организационной точек зрения.

Задание

Составить схему сборки с базовой деталью для спецификации, выданной преподавателем. Схему сборки представить в виде графического материала на формате А4. Обозначения изделия, деталей и сборочных единиц должны соответствовать спецификации.

2 Практическая работа № 2. Расчёт технологической трудоёмкости операции установки и пайки ИМС и ЭРЭ на плату

Основные понятия и определения

Технологическая операция – законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте одним или несколькими рабочими над одним или несколькими совместно обрабатываемыми или собираемыми деталями.

Разработка технологической операции пайки интегральных микросхем (ИМС) и электрорадиоэлементов (ЭРЭ) является одним из основных этапов разработки технологического процесса сборки и монтажа электронного модуля 1-го уровня (ЭМ-1). Данный этап включает в себя:

- 1) определение структуры операции, последовательности выполнения переходов и работы инструментов;
- 2) выполнение операции с изображением состояния объекта, схемы базирования, установки детали, инструментов, перемещений;
- 3) расчёт режимов и условия сборки и монтажа, времени $T_{шт}$ с учётом технологических возможностей выбранного оборудования; расчёт времени фактической загрузки оборудования;
- 4) нормирование операции, выбор разряда рабочего, расчёт технологической себестоимости операции, технико-экономическое обоснование возможных вариантов операции;
- 5) расчёт точности операции, условий собираемости сопрягаемых деталей, действительных погрешностей, определение требований по точности сборочно-монтажного приспособления;
- 6) обоснование выбора технологической оснастки или разработка технического задания на её проектирование.

Рассмотрим более подробно этапы разработки операции установки и пайки ИЭТ на конкретном примере. В качестве объекта для разработки технологической

операции установки и пайки ИМС и ЭРЭ к контактными элементам платы рассмотрим электронный модуль 1-го уровня.

Последовательность операций установки и пайки ИМС и ЭРЭ приведены в таблице 1.

Таблица 1– Операции установки и пайки микросхем и ЭРЭ

№ п/п	Тип ИМС и ЭРЭ	Наименование перехода (укрупненного)	шт.	Время, с.			
				t_0	$t_{всп}$	$t_{оп}$ $t_0+t_{всп}$	$t_{оп}$ с уч. кол- ва
1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	Флюсование платы	1	6	-		
2	-	Установка платы в приспособление, размещенное на столе, крепление ее в приспособлении	1	-	9		
3		Установка ИМС и пайка ее выводов					
....							
№		Установка резисторов и пайка их выводов					
...							
№		Установка конденсаторов и пайка их выводов	4				
..							
№		Установка вилки и пайка выводов					
№	-	Демонтаж платы с установленными ИМС на первом слое и укладка ее в ячейку тары	1	-	8,0		
ИТОГО:							

Время, затрачиваемое на установку ИЭТ и пайку их выводов, составляет:

- для микросхем: $t_0 = 6$ с, $t_{всп} = 4$ с (на 1 точку пайки);
- для резисторов, диодов и конденсаторов: $t_0 = 12$ с, $t_{всп} = 9$ с;
- для транзисторов: $t_0 = 18$ с, $t_{всп} = 12$ с;
- для вилок $t_0 = 3$ с, $t_{всп} = 3$ с (на 1 точку пайки).

Штучное время на выполнение операции определяется выражением:

$$T_{шт} = t_0 + t_{всп} + t_{орг} + t_{техн} + t_{ест.над},$$

где t_0 – основное время, затрачиваемое непосредственно на установку ИЭТ и пайку выводов;

$t_{всп}$ – вспомогательное время, затрачиваемое на поиск ИЭТ, перемещения стола в заданных координатах, паяльников к выводам и обратно в исходное положение;

$t_{орг}$ – время организационного обслуживания, затрачиваемое на снабжение рабочего места комплектующими, материалами, инструментом, удаление изготовленных узлов и т.п.;

$t_{техн}$ – время технического обслуживания рабочего места, затрачиваемое на подготовку к работе (включение автомата, разогрев паяльников и д.р.);

$t_{ест.над}$ – время на естественные надобности определяется по таблицам справочников для нормирования сборочно-монтажных работ и составляет 5% от операционного времени.

Операционное время определяется выражением

$$t_{он} = t_0 + t_{всп}.$$

Сумма времени $t_{орг}$ и $t_{техн}$ называют временем на обслуживание рабочего места, оно составляет 4% от операционного времени.

Таким образом, штучное время составляет:

$$T_{шт} = t_{он} + 0,04t_{он} + 0,05t_{он}.$$

Штучно - калькуляционное время на выполнение операции установку ИЭТ и пайку их выводов определяется выражением:

$$T_{шт.к} = T_{шт} + T_{пз},$$

где $T_{шт.к}$ – штучно калькуляционное время;

$T_{пз}$ – подготовительное время, затрачиваемое на переналадку оборудования, ознакомление с заданием, установка приспособлений, инструмента и пр. Оно зависит от сложности задания и наладки оборудования.

В рассматриваемом примере установка изделий электронной техники (ИЭТ) и пайка выводов на плате осуществляется ежедневно (программа 75 тыс. шт.), поэтому необходимость в подготовительно заключительном времени отпадает, следовательно,

$$T_{шт.к} = T_{шт} \cdot$$

Необходимое количество оборудования (РММ – рабочее место монтажника) для выполнения операции составит:

$$P = \frac{T_{шт.к} \cdot N}{60 \cdot \Phi_{р.об.} \cdot k_{тех} \cdot n},$$

где N – годовая программа (75 000 шт.);

$\Phi_{р.об.}$ – годовой фонд работы оборудования (1980 час);

$k_{тех}$ – коэффициент, учитывающий простой оборудования ($k_{тех} = 0,95$)

n – число смен работы ($n = 2$).

Задание

Определить количество оборудования, необходимое для выполнения операции установки и пайки ИЭТ на печатную плату, для спецификации, выданной преподавателем. Отчет представить на формате А4. Обозначения микросхем и ЭРЭ должны соответствовать спецификации.

3 Практическая работа № 3. Расчет технологичности узлов радиоэлектронных средств по комплексному показателю

Основные понятия и определения

Под технологичностью изделия понимается определённое количество параметров выпускаемого на производстве изделия, технологической подготовки и производственного процесса, от которых в результате зависит качество изделия.

Оценка и анализ технологичности изделия позволяют рассмотреть возможность выбора и использования методов реализации технологических операций и процессов при изготовлении деталей, сборке и монтаже с применением средств автоматизации и механизации.

Оценка уровня технологичности конструкции изделия осуществляется по комплексному показателю технологичности для:

- опытного образца (опытной партии);
- установочной серии (первой промышленной партии);
- серийного производства.

Рассматривают узлы и блоки, являющиеся сборочными единицами, которые, в зависимости от конструктивно-технологических признаков разбивают на следующие группы:

- электронные блоки (логические, аналоговые и индикаторные, блоки оперативной памяти, генераторы сигналов, приемно-усилительные блоки и т.п.);
- электромеханические и механические блоки (механизмы привода, отсчетные устройства, кодовые преобразователи, редукторы, волноводные блоки и т.п.);
- радиотехнические блоки (вторичные и стабилизированные источники питания, выпрямители и т.п.);
- коммутационно-распределительные блоки (коммутаторы, коробки распределительные, переключатели и т.п.).

Расчет комплексных показателей технологичности каждой группы изделий (сборочных единиц) осуществляется по конструктивным и технологическим базовым показателям.

К конструктивным показателям относятся:

- коэффициент применяемости деталей $K_{п.д.}$;
- коэффициент применяемости сборочных единиц $K_{п.с.}$;
- коэффициент повторяемости деталей и узлов $K_{пов.д.}$;
- коэффициент повторяемости ЭРЭ $K_{пов.ЭРЭ}$;
- коэффициент повторяемости микросхем $K_{пов.ИМС}$;
- коэффициент повторяемости печатных плат $K_{пов.ПП}$;
- коэффициент повторяемости материалов $K_{пов.м.}$;
- коэффициент использования микросхем $K_{исп.ИМС}$;
- коэффициент установочных размеров ЭРЭ, $K_{у.р.}$;
- коэффициент освоенности $K_{осв.}$;
- коэффициент сложности сборки $K_{с.сб.}$;
- коэффициент сборности изделия $K_{сб.}$;
- коэффициент точности обработки $K_{т.о.}$;

К технологическим показателям относятся:

- коэффициент автоматизации и механизации подготовки ЭРЭ, $K_{м.п.ЭРЭ}$;
- коэффициент автоматизации и механизации операций монтажа, $K_{а.м.}$;
- коэффициент автоматизации и механизации операций контроля и настройки электрических параметров $K_{м.к.н.}$;
- коэффициент применения типовых технологических процессов, $K_{т.п.}$;
- коэффициент прогрессивности формообразования детали, $K_{ф.}$;
- коэффициент сложности обработки $K_{с.о.}$;
- коэффициент использования материалов $K_{и.м.}$;

Из числа приведенных показателей для каждой группы изделий определен состав базовых показателей (не более семи). Их выбирают с учетом наибольшего влияния на технологичность конструкции блоков.

Количественная оценка технологичности осуществляется на основе базовых показателей, включающих рассчитанные и достигнутые при доработке и совершенствовании изделия параметры.

Комплексный показатель технологичности рассчитывается с использованием базовых показателей по следующей формуле:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_i},$$

где K_i - расчетный базовый показатель соответствующего класса блоков;

φ_i - коэффициент весомой значимости показателей последовательности;

i - порядковый номер показателя в ранжированной последовательности;

n - число базовых показателей, определяемых на данной стадии разработки изделия.

Величина коэффициента, характеризующего весовую значимость показателей, зависит от порядкового номера показателя технологичности, ранжированная последовательность которого установлена экспериментально и рассчитана по формуле

$$\varphi = \frac{i}{2^{i-1}}.$$

Технологичной называют такую конструкцию, которая полностью отвечает предъявляемым к изделию требованиям, может быть изготовлена с применением наиболее экономичных, при принятом типе производства и объёме выпуска изделия, технологических процессов.

Отработка конструкции изделия на технологичность направлена на снижение затрат и сокращение времени на проектирование, технологическую подготовку

производства, изготовление, технологическое обслуживание и ремонт изделий при обеспечении необходимого качества.

Базовые показатели технологичности электронного узла:

Коэффициент использования интегральных микросхем и микросборок:

$$K_{исИМС} = \frac{H_{ИМС}}{(H_{ИМС} + H_{ЭРЭ})},$$

где $H_{ИМС}$ – число интегральных микросхем и микросборок;

$H_{ЭРЭ}$ – количество электрорадиоэлементов (ЭРЭ).

Коэффициент автоматизации и механизации монтажа ЭРЭ:

$$K_{АиМ} = \frac{H_{АиМ}}{H_M},$$

где $H_{АиМ}$ – количество монтажных соединений, осуществляемых автоматизированным или механизированным способом;

H_M – общее количество монтажных соединений.

Коэффициент механизации подготовки ЭРЭ к монтажу:

$$K_{МП} = \frac{H_{МП}}{H_{ЭРЭ}},$$

где $H_{МП}$ – число ЭРЭ, подготовка которых к монтажу осуществляется механизированным способом;

$H_{ЭРЭ}$ – общее количество навесных элементов ЭРЭ.

Коэффициент механизации операций контроля и настройки электрических параметров:

$$K_{MKH} = \frac{H_{MKH}}{H_{KH}},$$

где H_{MKH} – количество операций контроля и настройки, которые можно осуществить механизированным способом;

H_{KH} – общее количество операций контроля и настройки.

Коэффициент повторяемости ЭРЭ:

$$K_{нов.ЭРЭ} = 1 - \frac{H_{ТЭРЭ}}{H_{ЭРЭ}},$$

где $H_{ТЭРЭ}$ – общее количество типоразмеров ЭРЭ в изделии;

$H_{ЭРЭ}$ – общее количество ЭРЭ в изделии.

Коэффициент применяемости ЭРЭ:

$$K_{нЭРЭ} = 1 - \frac{H_{ТОЭРЭ}}{H_{ТЭРЭ}},$$

где $H_{ТОЭРЭ}$ – количество типоразмеров оригинальных ЭРЭ;

$H_{ТЭРЭ}$ – общее количество типоразмеров ЭРЭ в изделии.

Коэффициент прогрессивности формообразования деталей:

$$K_{\phi} = \frac{D_{np}}{D},$$

где D_{np} – количество деталей, изготавливаемых прогрессивными методами формообразования;

D – общее количество деталей в блоке.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета комплексного показателя технологичности

Наименование показателя	Обозначение	Значение
Количество монтажных соединений, которые осуществляются автоматизированным или механизированным способом	$N_{\text{АиМ}}$	
Общее количество монтажных соединений	$N_{\text{М}}$	
Общее количество ЭРЭ	$N_{\text{ЭРЭ}}$	
Количество ЭРЭ, подготовка которых осуществляется механизированным способом	$N_{\text{МП}}$	
Количество операций контроля и настройки, которые можно осуществлять механизированным способом	$N_{\text{МКН}}$	
Общее количество операций контроля и настройки	$N_{\text{КН}}$	
Общее количество типоразмеров ЭРЭ в изделии	$N_{\text{ТЭРЭ}}$	
Число деталей, полученных прогрессивными методами формообразования	$D_{\text{пр}}$	
Общее число деталей в блоке	D	
Число интегральных микросхем	$N_{\text{ИМС}}$	
Количество типоразмеров оригинальных ЭРЭ	$N_{\text{ТОРЭРЭ}}$	

Таблица 2 – Значения и весовые коэффициенты базовых показателей технологичности электронного узла

Наименование показателя	Обозначение	Значение	Весовой коэффициент
Коэффициент использования интегральных микросхем и микросборок	$K_{\text{исИМС}}$		1
Коэффициент автоматизации и механизации монтажа изделий	$K_{\text{АиМ}}$		1
Коэффициент механизации подготовки ЭРЭ к монтажу	$K_{\text{МП}}$		0,75
Коэффициент механизации операций контроля и настройки электрических параметров	$K_{\text{МКН}}$		0,5
Коэффициент повторяемости ЭРЭ	$K_{\text{пов.ЭРЭ}}$		0,313
Коэффициент применяемости ЭРЭ	$K_{\text{п.ЭРЭ}}$		0,188
Коэффициент прогрессивности формообразования деталей	$K_{\text{ф}}$		0,109

Таблица 3 – Нормативные комплексные показатели технологичности конструкций различных блоков

Тип блоков	K _н		
	опытный образец (партия)	установочная серия	серийное производство
Электронные	0,4-0,7	0,45-0,75	0,5-0,8
Радиотехнические	0,4-0,6	0,75-0,8	0,8-0,85
Электромеханические и механические	0,3-0,5	0,4-0,55	0,45-0,6

Уровень технологичности разрабатываемого изделия при известном нормативном комплексном показателе K_n определяют отношение достигнутого комплексного показателя к нормативному:

$$K/K_n \geq 1.$$

Задание

Рассчитать комплексный показатель технологичности конструкции электронного блока. Расчет провести для спецификации, выданной преподавателем, используя данные таблиц 1 и 2. Сравнить рассчитанные значения комплексного показателя технологичности с нормативами (таблица 3) и сделать вывод о технологичности электронного блока.

4 Практическая работа № 4. Расчет технологической себестоимости операции установки и пайки ИМС и ЭРЭ на плату

Основные понятия и определения

Технологическая себестоимость – затраты на изготовление продукции в денежном выражении. Она рассчитывается по выражению:

$$C = A + \frac{B}{N},$$

где A – текущие переменные затраты, руб.;

B – единовременные (постоянные) затраты, руб.;

N – программа выпуска изделий, шт.

1. Расчет текущих переменных затрат:

$$A = C_M + C_3 + C_{н.р.},$$

где C_M – затраты на материалы, руб.;

C_3 – затраты на заработную плату основных рабочих, руб.;

$C_{н.р.}$ – накладные расходы на электроэнергию, воду, ремонт оборудования и т. п., руб.

Затраты на материалы:

$$C_M = m \cdot g,$$

где m – норма расхода материала на изделие, кг;

g – стоимость единицы материала, руб.

Норма расхода припоя на пайку выводов ИЭТ составляет:

$$m = q_0 \cdot n \cdot \frac{100 + \alpha}{100},$$

где q_0 – удельная норма расхода припоя на пайку (для одной микросхемы – 0,6г; для ЭРЭ – 0,015 г на одну точку пайки);

n – количество ИЭТ на плате;

α – технологические потери припоя при пайке, % (Составляют 1,5%)

Затраты на припой составляют:

$$C_{np} = m \cdot g_{np},$$

где g_{np} – стоимость одного кг трубчатого припоя Ø 1мм, равна 150 руб.;

Норма расхода флюса на флюсование поверхности платы перед пайкой составляет:

$$m_{фл} = g_{фл} \cdot S \cdot \frac{100 + \alpha}{100},$$

где $g_{фл}$ – удельная норма расхода флюса на флюсование поверхности платы перед пайкой платы г/см², равна 0,00562 г/см²;

S – площадь поверхности платы подвергаемая флюсованию, в нашем примере принимаем 150 см²;

α – технологические потери, %; при флюсовании кистью $\alpha = 1 \div 2,5$ %, (принимаем $\alpha = 2\%$).

Для приготовления данного количества флюса требуется: 40% канифоли сосновой (стоимость 1 кг канифоли составляет 120 руб.), 60% спирта этилового ректификата (стоимость 1 кг этилового спирта составляет 100 руб.)

Отсюда, затраты на флюс для каждого слоя составят:

$$C_{фл} = 120 \cdot m_k + 100 \cdot m_c,$$

где m_k – масса канифоли, кг;

m_c – масса спирта, кг.

Следовательно, затраты на материалы при пайке платы составят:

$$C_M = C_{np} + C_{фл},$$

Затраты на заработную плату основных рабочих

$$C_3 = \sum_{n=1}^n \frac{T_i \text{ шт.} \cdot J_i}{60} \cdot k_{np} \cdot k_{p.k.} \cdot k_{соц.},$$

где T_i шт. – штучное время на выполнении операции, мин.;

J_i – часовая тарифная ставка рабочего, занятого на выполнении операции, руб. (принимается 49,95 руб.);

k_{np} – коэффициент, учитывающий выплату премии, (составляет 1,25 – 2,0, принимаем 1,5);

$k_{p.k.}$ – районный коэффициент, (равен 1,15);

$k_{соц.}$ – коэффициент, учитывающий отчисления на социальные нужды (единый социальный налог, равен 1,26).

Накладные расходы:

Накладные расходы ориентировочно берутся от зарплаты основных рабочих и составляет 100 – 300 % (принимаем 200%):

$$C_{н.р} = 0,2 \cdot C_з$$

2. Расчет единовременных (постоянных) затрат

$$B = C_H + C_O,$$

где C_H – зарплата наладчиков оборудования, руб;

C_O – сумма амортизационных отчислений на восстановление оборудования, руб.

Зарплата наладчиков:

$$C_H = \frac{T_H \cdot J_H}{60} \cdot \left(1 + \frac{12}{100}\right),$$

где T_H – время наладки оборудования, мин.;

J_H – часовая тарифная ставка наладчика, руб.

В связи с тем, что оборудование для выполнения операции установки микросхем и пайки их выводов не переналаживается, затраты на зарплату наладчикам отсутствуют.

Сумма амортизационных отчислений:

$$C_O = \frac{Ц_о \cdot P}{T_{сл.об}},$$

где C_0 – стоимость 1 единицы оборудования, руб. (принимаем 4 млн. руб).

P – количество оборудования, занятого на операции;

$T_{\text{сл.об.}}$ – срок службы оборудования, (принимаем 8 лет).

Задание

Определить технологическую себестоимость операции установки и пайки ИЭТ на печатную плату, для спецификации, выданной преподавателем. Отчет представить на формате А4. Перечень устанавливаемых микросхем и ЭРЭ должны соответствовать спецификации.

5 Практическая работа № 5. Расчет коэффициента загрузки оборудования на примере процесса подготовки ИЭТ к монтажу на плату

Основные понятия и определения

Подготовка изделий электронной техники (ИЭТ) к монтажу является одним из основных этапов технологического процесса изготовления электронного модуля 1-го уровня. Подготовка ИЭТ к монтажу включает следующие операции:

- распаковку элементов;
- рихтовку выводов элементов;
- формовку выводов элементов;
- обрезку выводов элементов;
- лужение выводов элементов;
- размещение элементов в технологическую тару при автоматизированной сборке.

В качестве объекта для расчета коэффициента загрузки оборудования выберем процесс подготовки ИЭТ к монтажу на печатную плату на примере электронного модуля первого уровня.

Рассчитаем количество оборудования, необходимого для выполнения операций по подготовке ИЭТ к монтажу на печатную плату, учитывая, что известно значение $T_{шт}$, будем пользоваться следующей формулой:

$$P_{расч} = \frac{T_{шт} \cdot N}{60 \cdot k_{тех} \cdot \Phi_{роб} \cdot n},$$

где $T_{шт}$. – штучное время выполнения операции в минутах;

N – годовая программа выпуска, примем $N = 75000$ шт/год;

$k_{тех}$ – коэффициент, учитывающий простой оборудования ($k_{тех} = 0,95$);

$\Phi_{Р.ОБ.}$ – годовой фонд работы оборудования (1980 час);

n – число смен работы ($n = 2$).

На основании проведенных расчетов выберем принятое количество оборудования ($P_{прин}$), округлив расчетное количество до целого числа в большую сторону. На основании полученных значений, рассчитаем коэффициент загрузки каждого оборудования, необходимого для осуществления той или иной операции подготовки ИЭТ к монтажу на печатную плату:

$$K_{загр} = \frac{P_{расч}}{P_{прин}}$$

Последовательность операций подготовки ИЭТ к монтажу на плату приведены в таблице 1.

Таблица 1– Операции подготовки ИЭТ к монтажу на плату

№ п/п	Наименование операции	Тшт., мин	Тшт. с учетом кол-ва, мин.	Количество оборудования, шт.		Коэффициент загрузки оборудования
				расчётное	принятое	
1	Распаковка ИМС	0,15				
2	Распаковка ЭРЭ	0,15				
3	Формовка и обрезка выводов ИМС	1,1				
4	Формовка и обрезка выводов ЭРЭ	0,16				
5	Обрезка вилки	0,271				
6	Обрезка выводов транзисторов	0,24				
7	Рихтовка выводов транзисторов	0,1				
87	Флюсование и лужение выводов ЭРЭ	0,08				
9	Флюсование и лужение выводов ИМС	0,56				
10	Размещение ИЭТ в тару	0,1				

Задание

Рассчитать количество оборудования, необходимого для выполнения операций по подготовки ИЭТ к монтажу на печатную плату, для спецификации, выданной преподавателем.

6 Практическая работа № 6. Выбор оптимального варианта технологического процесса по критерию себестоимости

Основные понятия и определения

Технологическая себестоимость – затраты на изготовление продукции в денежном выражении, рассчитывается по формуле;

$$C = A + \frac{B}{N},$$

где A – текущие переменные затраты, руб.;

B – единовременные (постоянные) затраты, руб.;

N – программа выпуска изделий, шт.

Текущие переменные затраты:

$$A = C_M + C_3 + C_{н.р.},$$

где C_M – затраты на материалы, руб.; (в нашем случае не зависят от варианта технологического процесса);

C_3 – затраты на заработную плату основных рабочих, руб.;

$C_{н.р.}$ – накладные расходы на электроэнергию, воду, ремонт оборудования и т. п., руб.

Затраты на заработную плату основных рабочих составляют:

$$C_3 = \sum_{i=1}^n \frac{T_i \text{ шт.} \cdot J_i}{60} \cdot k_{нр.} \cdot k_{п.к.} \cdot k_{соо.},$$

где T_i шт. – штучное время на выполнении операции, мин.;

J_i – часовая тарифная ставка рабочего, занятого на выполнении операции, руб. (составляет 49,95 руб.);

$k_{пр.}$ – коэффициент, учитывающий выплату премии, (составляет 1,25 – 2,0, принимаем $k_{пр.}=1,5$);

$k_{р.к.}$ – районный коэффициент, (равен 1,15);

$k_{соц.}$ – коэффициент, учитывающий отчисления на социальные нужды (единый социальный налог, принимаем $k_{соц.}=1,26$).

Накладные расходы составляют:

$$C_{H.P} = (0,1 - 0,3) \cdot C_3,$$

Единовременные постоянные затраты:

$$B = C_H + C_O,$$

где C_H – зарплата наладчиков, руб.,

C_O – сумма амортизационных отчислений на восстановление оборудования, руб.

В связи с тем, что технологическое оборудование для выполнения операции подготовки ИМС к монтажу, установки их на плату и пайки выводов не переналаживается (эти работы выполняются постоянно), затраты на заработную плату наладчиков отсутствуют.

Амортизационные отчисления на восстановление оборудования составят:

$$C_0 = \frac{Z_{об.}}{T_{сл.об.}},$$

где $Z_{об.}$ – суммарные затраты на оборудование руб.;

$T_{\text{сл.об.}}$ – срок службы оборудования (для сборочно-монтажного оборудования срок службы установлен 8 лет).

В практической работе рассматриваются четыре варианта технологического процесса подготовки ИМС к монтажу, установки их на плату и пайки выводов ИМС к контактными элементам платы.

Вариант 1

- Формовка и обрезка выводов ИМС в корпусе 402.16 проводится автоматом ГГМЗ.112.005;

- Лужение выводов ИМС в корпусе 402.16 проводится автоматом ГГМ2.389.001

- Установка ИМС в корпусе 402.16 на плату и пайка их выводов проводится автоматом ГГМГ.149.004;

Вариант 2

- Формовка и обрезка выводов ИМС в корпусе 402.16 проводится на автомате ГГ-2125;

- Лужение выводов ИМС в корпусе 402.16 проводится автоматом ГГМ2.389.001

- Пайка выводов ИМС в корпусе 402.16 проводится вручную;

Вариант 3

- Формовка и обрезка выводов ИМС в корпусе 402.16 проводится на автомате ГГМЗ.112.005;

- Лужение выводов ИМС в корпусе 402.16 проводится в ванне ЛВ-2М;

- Пайка выводов ИМС в корпусе 402.16 выполняется автоматом ГГ-2129;

Вариант 4

- Формовка и обрезка выводов ИМС в корпусе 402.16 проводится на автомате ГГ-2125;

- Лужение выводов ИМС в корпусе 402.16 проводится в ванне ЛВ-2М;

- Пайка вручную паяльником;

Для выбора оптимального технологического процесса по критерию себестоимости необходимо рассчитать технологическую себестоимость двух заданных преподавателем вариантов.

Текущие затраты, исключая затраты на материалы, в зависимости от варианта технологического процесса составят:

$$A1 = C_3 1 + C_{H.P.} 1$$

$$A2 = C_3 2 + C_{H.P.} 2,$$

где $A1$, $C_3 1$, $C_{H.P.} 1$ и $A2$, $C_3 2$, $C_{H.P.} 2$ – текущие переменные затраты, руб.; затраты на заработную плату основных рабочих, руб.; накладные расходы на электроэнергию, воду, ремонт оборудования и т. п., руб. для 1 и 2 варианта технологического процесса, соответственно.

Единовременные постоянные затраты, в зависимости от варианта технологического процесса составят:

$$B1 = C_n + C_0 1$$

$$B2 = C_n + C_0 2,$$

где $B1$, $C1$ и $B2$, $C2$ – единовременные постоянные затраты, руб.; сумма амортизационных отчислений на восстановление оборудования, руб. для 1 и 2 варианта технологического процесса, соответственно.

C_n – зарплата наладчиков, руб. (принимаем $C_n=0$).

Отсюда, себестоимость выполнения работ по подготовке ИМС к монтажу, установке их на плату и пайки выводов для партии из N изделий, в зависимости от варианта технологического процесса составят:

$$C1 = A1 \cdot N + B1$$

$$C2 = A2 \cdot N + B2,$$

где N – годовая программа выпуска изделия, шт.

Данные о наименовании и количестве оборудования с указанием трудоемкости для каждого варианта технологического процесса приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Варианты комплектования оборудования для подготовки ИМС к монтажу, установке ИМС на плату и пайки их выводов

N п/п	Наименование операций	Наименование и тип оборудования	Тшт, мин	Количество оборудования		Цена за 1 ед. оборудования, тыс.руб
				расчѐт.	принят.	
Вариант 1						
1	Формовка и обрезка выводов ИМС в корпусе 402.16	ГГМ3.112.005	2,4	0,399	1	1500
2	Лужение выводов ИМС в корпусе 402.16	ГГМ2.389.001	2,4	0,532	1	1500
3	Пайка ИМС в корпусе 402.16	Автомат ГГМ1. 149.004	8,52	1,196	2	4000
Итого:			13,32	-	-	11000
Вариант 2						
1	Формовка и обрезка выводов ИМС в корпусе 402.16	ГГ-2125	2,4	0,532	1	900
2	Лужение выводов ИМС в корпусе 402.16	ГГМ2.389.001	2,4	0,532	1	1500
3	Пайка	РММ	59,27	11,816	12	100
Итого:			64,07	-	-	2500
Вариант 3						
1	Формовка и обрезка выводов ИМС в корпусе 402.16	ГГМ3.112.005	2,4	0,399	1	1500
2	Лужение выводов ИМС в корпусе 402.16	ЛВ-2М	0,8	0,159	1	1400

Продолжение таблицы 1

3	Пайка ИМС в корпусе 402.16	ГГ-2129, Рабочий стол	23,92	1,196	2	4000
Итого:			27,12	-	-	10900
Вариант 4						
1	Формовка и обрезка выводов ИМС в корпусе 402.16	ГГ-2125	2,4	0,532	1	900
2	Лужение выводов ИМС в корпусе 402.16	ЛВ-2М	0,8	0,159	1	1400
3	Пайка	РММ	59,27	11,816	12	100
Итого:			62,47	-	-	3500

Задание

Получить у преподавателя вариант задания. Рассчитать и построить зависимость себестоимости партии из N изделий от программы выпуска. Определить критическую программу выпуска.

Список использованных источников

1. Шахнов, В.А. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры [Текст]: учебник для высших учебных заведений / под ред. Шахнова В.А. - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 568 с.
2. Землянский, Г. П. Анализ технологичности конструкции электронного узла (ЭМ-1) по комплексному показателю : метод. указания к лаб. практикуму / Г. П. Землянский, Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2005. - 13 с.
3. Ланин, В.Л. Технология радиоэлектронных устройств и автоматизация производства: - конспект лекций для студентов / В.Л. Ланин, А.А. Хмыль, Л.П. Ануфриев, В.М. Бондарик. – Мн.: БГУИР, 2006. — 417 с. – Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/864206/>
4. ГОСТ 14.201-83 Обеспечение технологичности конструкции изделий. Общие требования (с Изменением N 1). Введ. 1984-01-01. – М.: Стандартинформ, 2009. – 9 с. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200012270/>
5. ОСТ 107.460091.001-86 Производство сборочно-монтажное. Удельные нормы расхода припоев и флюсов (с Изменениями N 1, 2). Введ. 1986-08-28. Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/1200125394/>
6. ОСТ 4Г 0.054.264-80 Аппаратура радиоэлектронная. Сборочно-монтажное производство. Подготовка электрорадиоэлементов к монтажу. Введ. 1982-07-01.
7. ОСТ 4Г 0.054.265-80 Аппаратура радиоэлектронная. Сборочно-монтажное производство. Установка электрорадиоэлементов на печатные платы. Типовые технологические операции. Введ. 1982-07-01.
8. ОСТ 4 ГО. 050.012. Нормативы времени (элементные). Нормирование электромонтажных работ. Введ. 1973-11-01.
9. ГОСТ 17325-79 Пайка и лужение. Основные термины и определения (с Изменениями N 1, 2). Введ.1981-01-01. М.: Издательство стандартов, 1990. – 19 с. Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/1200008728/>
- 10 СТО 02069024.101-2015. Работы студенческие. Общие требования и правила оформления. Введ. 2016-02-08. – Оренбург: ОГУ, 2015. – 85 с.