

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования

**«Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники»**

Кафедра электронной техники и технологии

В.Л. Ланин В.Л. , А.А. Костюкевич, А.П. Достанко, А.А. Хмыль

СБОРОЧНО-МОНТАЖНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Методическое пособие к практическим занятиям по дисциплинам
«Конструирование и технология электронных систем», «Технология РЭС»,
«Технология средств медицинской электроники»

для студентов специальностей

39-02-02 «Проектирование и производство РЭС»

39-02-01 «Моделирование и компьютерное проектирование РЭС»

36-04-01 «Электронно – оптические системы и технологии»

39-02-03 «Медицинская электроника»

Минск 2008

УДК 621.396.69(075.8)

ББК 32.844 – 04 я 73

Л22

- Л22 Ланин, В. Л. Сборочно-монтажные процессы: Методическое пособие к практическим занятиям по дисциплинам «Конструирование и технология электронных систем», «Технология РЭС», «Технология средств медицинской электроники» для студ. спец. 39-02-02 «Проектирование и производство РЭС», 39-02-01 «Моделирование и компьютерное проектирование РЭС», 36-04-01 «Электронно - оптические системы и технологии», 39 02 03 «Медицинская электроника» / В. Л. Ланин, А. А. Костюкевич, А. П. Достанко, А. А. Хмыль. – Минск: БГУИР, 2008. – с.
ISBN 985–

Практические занятия содержат методики расчета показателей технологичности конструкций, разработки технологических схем сборки, проектирования технологических процессов сборки и монтажа электронных блоков, поточных линий и участков сборки, расчета технологической оснастки и статистического моделирования процессов сборки.

УДК 621.396.69(075.8)

ББК 32.844 – 04 я 73

ISBN 985–

© Ланин В.Л., составление, 2008
© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2008

СОДЕРЖАНИЕ

Практическое занятие №1

Оценка технологичности конструкций электронных блоков.....4

Практическое занятие №2

Разработка технологической схемы сборки электронного блока8

Практическое занятие №3

Разработка маршрутной технологии сборки электронного блока и выбор оптимального варианта технологического процесса13

Практическое занятие №4

Разработка операционной технологии и оформление комплекта технологических документов на процесс сборки электронного блока 21

Практическое занятие №5

Проектирование поточной линии и участка сборки 27

Практическое занятие №6

Проектирование и расчет технологической оснастки.....34

Практическое занятие №7

Статистическое моделирование технологического процесса сборки..... .39

ЛИТЕРАТУРА.....54

ПРИЛОЖЕНИЕ А.....55

ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....57

ПРИЛОЖЕНИЕ В.....58

ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....60

Оценка технологичности конструкций электронных блоков

Теоретические сведения

Технологичность — это совокупность свойств конструкции, которые проявляются в оптимальных затратах труда, средств, материалов и времени при изготовлении, эксплуатации и ремонте изделия. Для оценки технологичности электронных блоков применяют систему базовых коэффициентов, рекомендуемых отраслевыми стандартами. Каждый из коэффициентов технологичности имеет свою весовую характеристику j_i , определяемую в зависимости от его порядкового номера в группе (таблица 1.1)

Таблица 1.1 – Весовые характеристики коэффициентов технологичности

i	j_i	i	j_i
1	1,0	5	0,3
2	1,0	6	0,2
3	0,8	7	0,1
4	0,5		

Комплексный показатель технологичности находится в пределах $0 < K \leq 1$ и определяется по формуле

$$K = \frac{\sum_{i=1}^7 K_i j_i}{\sum_{i=1}^7 j_i}. \quad (1.1)$$

Состав базовых показателей технологичности для электронных модулей с поверхностным монтажом в ранжированной последовательности приведен в таблице 1.2. Показатели технологичности вычисляются по следующим формулам.

Коэффициент автоматизации пайки ЭРЭ:

$$K_{АП} = N_{АП} / N_{ЭРЭ}, \quad (1.2)$$

где $N_{ЭРЭ}$ – количество ЭРЭ в модуле; $N_{АП}$ – количество ЭРЭ, пайка которых осуществляется на автоматах. Количество ЭРЭ в модуле $N_{ЭРЭ}$ подсчитывается по спецификации на сборочный чертеж. Количество ЭРЭ, пайка которых осуществляется на автоматах:

$$N_{АП} = N_{ЭРЭ\ скв} - N_{н\ скв} + N_{ЭРЭ\ пм} - N_{н\ пм}, \quad (1.3)$$

где $N_{\text{ЭРЭ СКВ}}$ и $N_{\text{ЭРЭ ПМ}}$ – соответственно количество ЭРЭ, монтируемых в отверстия платы, и поверхностного монтажа; $N_{\text{н СКВ}}$ и $N_{\text{н ПМ}}$ – соответственно количество нестандартно монтируемых ЭРЭ обычного и поверхностного монтажа.

Таблица 1.2 – Показатели технологичности электронных модулей

i	Коэффициенты технологичности	Обозначение	φ_i
1	Коэффициент автоматизации пайки ЭРЭ	$K_{\text{АП}}$	1,0
2	Коэффициент автоматизации установки ЭРЭ	$K_{\text{АУ}}$	1,0
3	Коэффициент снижения трудоемкости сборки и монтажа	$K_{\text{Т СБ}}$	0,8
4	Коэффициент автоматизации операций контроля и настройки	$K_{\text{АКН}}$	0,5
5	Коэффициент повторяемости ЭРЭ	$K_{\text{пов ЭРЭ}}$	0,3
6	Коэффициент применения типовых ТП	$K_{\text{ТП}}$	0,2
7	Коэффициент сокращения применения деталей	$K_{\text{СПД}}$	0,1

Коэффициент автоматизации установки ЭРЭ, подлежащих пайке:

$$K_{\text{АУ}} = N_{\text{АУ}} / N_{\text{ЭРЭ}}, \quad (1.4)$$

где $N_{\text{АУ}}$ – количество ЭРЭ, устанавливаемых на плату автоматизированными способами, которое определяется как:

$$N_{\text{АУ}} = A_{\text{СКВ}} + A_{\text{пов}}, \quad (1.5)$$

где $A_{\text{СКВ}}$ и $A_{\text{пов}}$ – соответственно количество ЭРЭ сквозного и поверхностного монтажа, устанавливаемых на плату автоматизированными способами. Значения величин $A_{\text{СКВ}}$ и $A_{\text{пов}}$ определяются следующим образом.

В проектируемом технологическом процессе выявляются операции, в которых ЭРЭ устанавливаются автоматизированными способами. Тогда:

$$A_{\text{пов}} = N_{\text{ЭРЭ пов}} - N_{\text{н пов}}. \quad (1.6)$$

Аналогично рассчитывают и $A_{\text{СКВ}}$.

Коэффициент снижения трудоемкости сборки и монтажа:

$$K_{\text{Т СБ}} = 1 / N_{\text{ВМ}}, \quad (1.7)$$

где $N_{\text{ВМ}}$ – число, характеризующее вид монтажа, которое определяется по таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Выбор вида монтажа

Вид монтажа	Поверхностный односторонний	Поверхностный двухсторонний	Смешанно-разнесенный	Смешанный
$N_{\text{ВМ}}$	1,2	1,4	1,8	2,8

Коэффициент автоматизации операций контроля и настройки:

$$K_{AKH} = (N_{AT} + 2N_{AF}) / N_{KH}, \quad (1.8)$$

где N_{AT} – число автоматизированных операций внутрисхемного тестирования модуля; N_{AF} – число автоматизированных операций предварительного и приемочного функционального контроля модуля, N_{KH} – число операций контроля и настройки. Две операции: визуальный контроль и электрический являются обязательными. Если в конструкции имеются регулировочные элементы, то количество операций регулировки увеличивается пропорционально числу этих элементов.

Коэффициент повторяемости ЭРЭ:

$$K_{пов \text{ ЭРЭ}} = 1 - N_{Т \text{ ЭРЭ}} / N_{\text{ЭРЭ}}, \quad (1.9)$$

где $N_{Т \text{ ЭРЭ}}$ – количество типоразмеров ЭРЭ в модуле. Под типоразмером ЭРЭ понимаются его габаритные размеры и конфигурация (например, две микросхемы разного назначения, но в одинаковых корпусах имеют один и тот же типоразмер). Количество типоразмеров ЭРЭ в модуле $N_{Т \text{ ЭРЭ}}$ определяется по спецификации и сборочному чертежу или образцу модуля.

Коэффициент применения типовых ТП равен:

$$K_{ТП} = (D_{ТП} + E_{ТП}) / D + E \quad (1.10)$$

где $D_{ТП}$, $E_{ТП}$ – число деталей и сборочных единиц, изготавливаемых с применением типовых и групповых ТП; D , E – общее число деталей и сборочных единиц, кроме крепежа.

Коэффициент сокращения применения деталей:

$$K_{снд} = 1 / D, \quad (1.11)$$

где D – количество деталей в модуле (без учета нормализованного крепежа).

Количество деталей D определяется по спецификации или образцу модуля.

Для определения базового значения комплексного показателя вычисляется количество ЭРЭ сквозного монтажа и поверхностного монтажа в партии модуле:

$$N_{СКВ} = N N_{\text{ЭРЭСКВ}}, N_{\text{ПОВ}} = N N_{\text{ЭРЭПОВ}}, \quad (1.12)$$

где N – объем партии изготавливаемых модулей.

Базовое значение комплексного показателя равно

$$K_{\text{б}} = (K_{\text{с}} N_{\text{СКВ}} + 0,8 N_{\text{ПОВ}}) / (N_{\text{СКВ}} + N_{\text{ПОВ}}), \quad (1.13)$$

где $K_{\text{с}} = 0,55$, если $N_{\text{СКВ}} < 50000$, и $K_{\text{с}} = 0,70$, если $N_{\text{СКВ}} \geq 50000$.

Значение комплексного показателя технологичности вычисляется по формуле (1.1) и рассчитывается уровень технологичности:

$$K_{yT} = K / K_B. \quad (1.14)$$

Если $K_{yT} \geq 1$, то конструкция модуля в достаточной степени отработана на технологичность. Если $K_{yT} < 1$, то конструкция признается нетехнологичной.

Для повышения технологичности конструкций устройств выполняют следующие мероприятия:

- расширяют число ИМС, микросборок, функциональных и поверхностно монтируемых элементов;
- сокращают количества деталей, требующих механической сборки;
- рационально компонуют элементы на плате, что обеспечивает автоматизированную установку и монтаж;
- снижают число подстроечных и регулировочных элементов;
- автоматизируют подготовку элементов к монтажу;
- автоматизируют операции контроля и настройки.

Порядок выполнения задания

1. Получить задание у преподавателя сборочный чертеж и спецификацию на электронный блок, собранный на печатной плате.

2. Подготовить исходные данные для расчета базовых показателей технологичности.

3. Рассчитать частные базовые показатели технологичности и комплексный показатель технологичности.

4. Сравнить рассчитанный комплексный показатель технологичности $K_{расч}$ с заданным $K_{зад}$. Если $K_{расч} < K_{зад}$, то внести изменения в конструкцию и технологию сборки и повторить расчет.

Разработка технологической схемы сборки электронного блока

Теоретические сведения

Сборка представляет собой совокупность технологических операций механического соединения деталей, ЭРЭ и ИМС в изделии или его части, выполняемых в определенной последовательности для обеспечения заданного их расположения и взаимодействия. Выбор последовательности операций сборочного процесса зависит от конструкции изделия и организации процесса сборки.

Технологический процесс сборки – это совокупность операций, в результате которых детали соединяются в сборочные единицы, блоки, стойки, системы и изделия. Простейшим сборочно-монтажным элементом является *деталь*, которая, согласно ГОСТ 2101-68, характеризуется отсутствием разъемных и неразъемных соединений.

Сборочная единица является более сложным сборочно-монтажным элементом, состоящим из двух или более деталей, соединенных разъемным либо неразъемным соединением. Характерным признаком сборочной единицы является возможность ее сборки отдельно от других сборочных единиц.

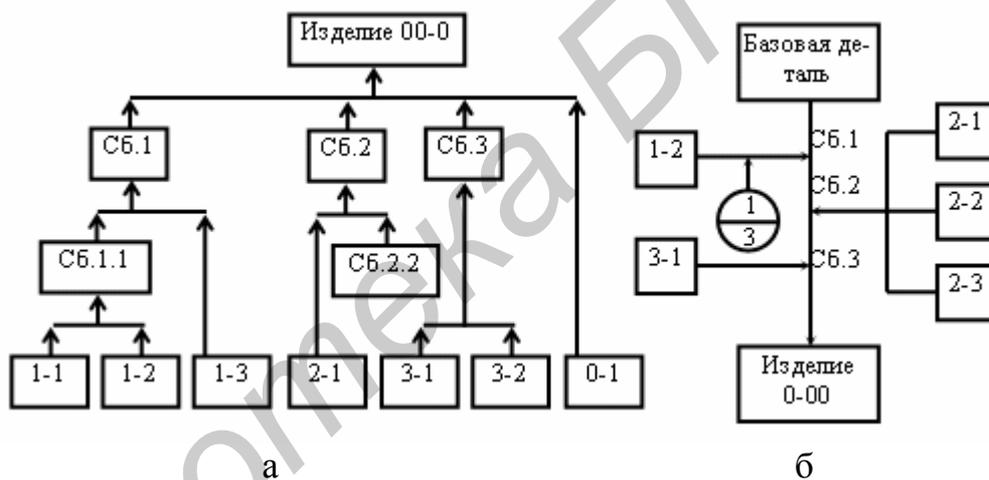
Технологическая схема сборки изделия является одним из основных документов, составляемых при разработке ТП сборки. Она разрабатывается на основе схемы сборочного состава, при разработке которой руководствуются следующими принципами:

- схема составляется независимо от программы выпуска изделия на основе сборочных чертежей, электрической и кинематической схем изделия;
- сборочные единицы образуются при условии независимости их сборки, транспортирования и контроля;
- минимальное число деталей, необходимое для образования сборочной единицы первой ступени сборки, должно быть равно двум;
- минимальное число деталей, присоединяемых к сборочной единице данной группы для образования сборочного элемента следующей ступени, должно быть равно единице;
- схема сборочного состава строится при условии образования наибольшего числа сборочных единиц;
- схема должна обладать свойством непрерывности, т. е. каждая последующая ступень сборки не может быть осуществлена без предыдущей.

Включение в схему сборочного состава технологических указаний превращает ее в технологическую схему сборки. Различают технологические схемы сборки «*веерного*» типа и технологические схемы сборки *с базовой деталью*.

Технологическая схема сборки «веерного» типа представлена на рисунке 2.1, а. На ней стрелками показано направление сборки деталей и сборочных единиц. Достоинством схемы является ее простота и наглядность, но она не отражает последовательности сборки во времени.

Схема сборки с базовой деталью (рисунок 2.1, б) устанавливает временную последовательность сборочного процесса. При такой сборке необходимо выделить базовый элемент, т. е. базовую деталь или сборочную единицу, в качестве которой обычно выбирают ту деталь, поверхности которой будут впоследствии использованы при установке в готовое изделие. В большинстве случаев базовой деталью служит плата, панель, шасси и другие элементы несущих конструкций изделия. Направление движения деталей и сборочных единиц на схеме показывается стрелками, а прямая линия, соединяющая базовую деталь и изделие, называется *главной осью сборки*. Точки пересечения осей сборки, в которые подаются детали или сборочные единицы, обозначаются как элементы сборочных операций, например: Сб.1-1, Сб.1-2 и т. д., а точки пересечения вспомогательной оси с главной — как операции: Сб.1, Сб.2 и т. д.

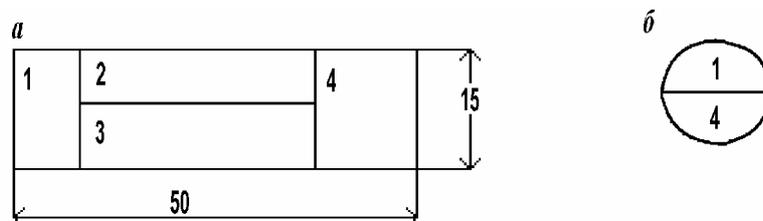


а – "веерного" типа; б – с базовой деталью

Рисунок 2.1 – Технологические схемы сборки

При построении технологической схемы сборки каждую деталь или сборочную единицу изображают в виде прямоугольника (рисунок 2.2, а), в котором указывают позицию детали по спецификации к сборочному чертежу (1), ее наименование (2) и обозначение (3) согласно КД, а также количество деталей (4), подаваемых на одну операцию сборки. Размеры прямоугольника рекомендуются 50×15 мм. Допускается изображение нормализованных или стандартных крепежных деталей в виде круга диаметром 15 мм, в котором указывают позицию по спецификации и количество деталей (рисунок 2.2, б).

Технологические указания по выполнению сборочных операций или электрического монтажа помещают в прямоугольник, ограниченный штриховой линией, а место их выполнения указывают наклонной стрелкой, направленной в точку пересечения осей сборки.



a – детали и сборочные единицы; *b* – крепеж

Рисунок 2.2 – Условные обозначения на технологической схеме сборки

Так, на технологических схемах сборки оговаривают характер выполнения неразъемных соединений (сварка, пайка, склеивание, запрессовка и т. д.); материал, применяемый при сборке; характер операций монтажа элементов (волной припоя, электропаяльником и т. д.); характер операций влагозащиты изделия, контроля и маркировки (рисунок 2.3).

Для определения количества устанавливаемых ЭРЭ на плату в ходе выполнения сборочных операций необходим расчет ритма сборки:

$$T_g = \frac{\Phi_d}{N} \text{ (мин/шт.)}, \quad (2.1)$$

где Φ_d – действительный фонд времени за плановый период; N – программа выпуска.

Действительный фонд времени за плановый период определяется как:

$$\Phi_d = c \cdot D \cdot \kappa_n \cdot 41 \cdot 60 / 5 \text{ (мин)}, \quad (2.2)$$

где c – количество рабочих смен; D – количество рабочих дней за плановый период; κ_n – коэффициент регламентированных перерывов ($\kappa_n = 0,95$).

Трудоемкость i -й операции сборки определяется исходя из производительности оборудования, применяемого для выполнения операции, и количества собираемых элементов:

$$T_i = n \cdot 60 / \Pi \text{ (мин)}, \quad (2.3)$$

где Π – производительность единицы оборудования, шт/час; n – количество собираемых элементов.

Количество ЭРЭ, устанавливаемых на i -ой операции, должно учитывать соотношение

$$0,9 < T_i / T_g < 1,2 \quad (2.4)$$

Разработка технологических схем сборки способствует дифференциации процессов сборки, что значительно сокращает длительность производственного цикла.

После выбора оптимальной схемы сборочного состава из сравниваемых вариантов проводят расчет следующих коэффициентов:

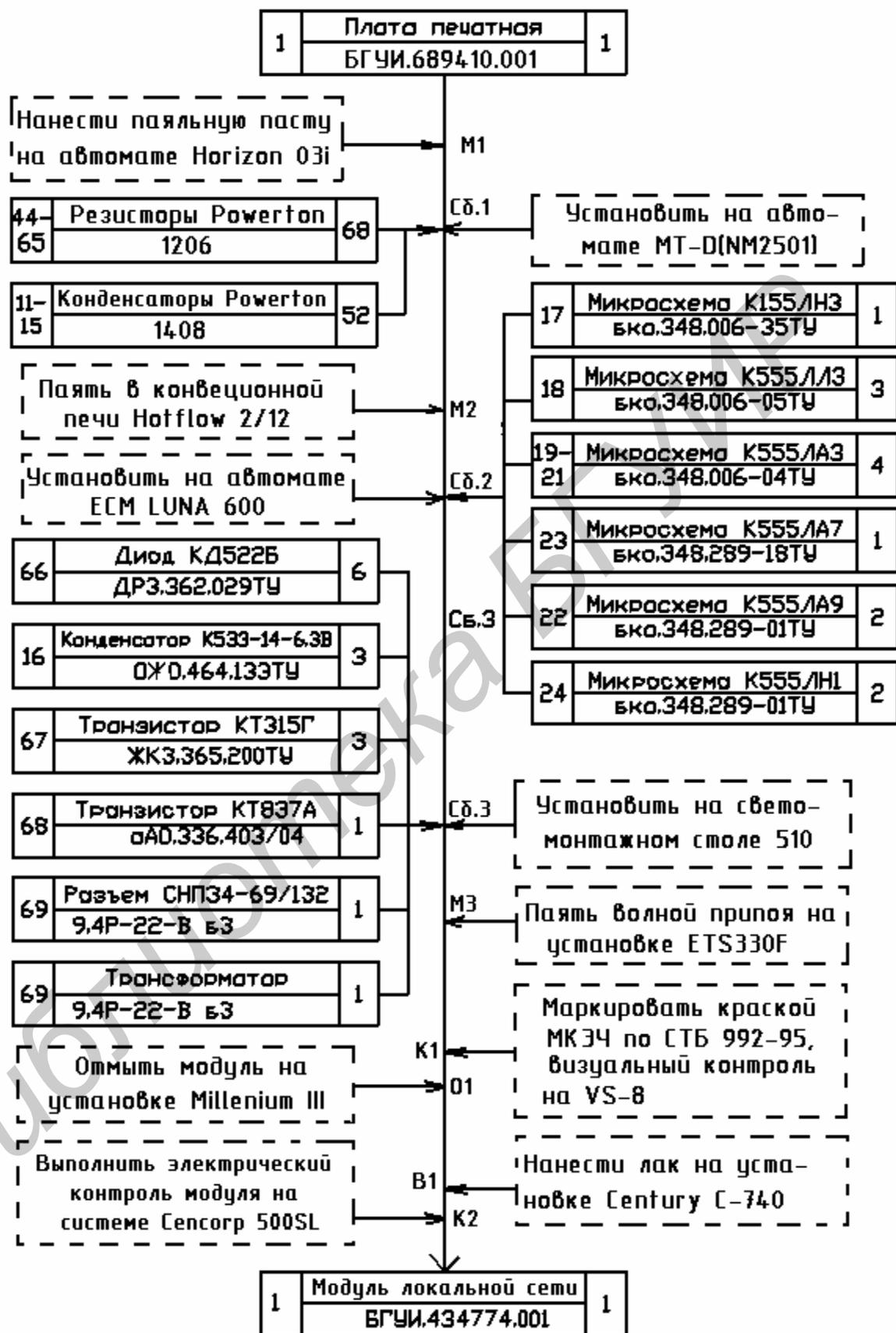


Рисунок 2.3 – Технологическая схема сборки блока

1. Средняя полнота сборочного состава (количество сборочных единиц на каждой ступени сборки):

$$E_{\text{ср}} = E/(i - 1) \quad (2.5)$$

где E – количество сборочных единиц в схеме сборочного состава; i – показатель степени сложности сборочного состава, равный количеству ступеней сборки изделия.

$$E = \sum_{i=1}^{i-1} m_i, \quad (2.6)$$

где m_i – число групп, подгрупп, сборочных единиц.

2. Показатель расчлененности данного процесса сборки M :

$$M = n/E \quad (2.7)$$

где n – число рабочих операций, определенных для конкретных условий производства (при $M < 1$ ТП концентрирован, $M > 1$ – дифференцирован).

3. Коэффициент средней точности сборочных работ:

$$K_{\text{ср.сб}} = \frac{k \cdot q}{Q}, \quad (2.8)$$

где k – показатель качества точности; q – число сборочных единиц данного качества точности.

4. Коэффициент сборности изделия:

$$K_{\text{сб}} = E/(E+D). \quad (2.9)$$

Правильно выбранная схема сборочного состава позволяет установить рациональный порядок комплектования сборочных единиц и изделия при сборке.

Порядок выполнения задания

1. Определить действительный фонд времени за плановый период.
2. Рассчитать ритм сборки.
3. Определить последовательность операций сборки и их трудоемкость.
4. Определить для каждой операции сборки отношение T_i/T_6 .
5. Разработать технологическую схему сборки.
6. Внести на схему технологические указания.
7. Рассчитать показатели сборочного состава.
8. Вычертить технологическую схему сборки на листах формата А4.

Разработка маршрутной технологии сборки электронного блока и выбор оптимального варианта технологического процесса

Теоретические сведения

Сборку электронных блоков проводят в три этапа. На первом этапе (механическая сборка):

- выполняют неразъемные соединения деталей и сборочных единиц с платой (развальцовкой, склеиванием и т. д.);
- устанавливают крепежные детали (угольники, кронштейны и т. д.);
- закрепляют крупногабаритные (трансформаторы питания и т. д.) элементы собственным крепежом.

На втором этапе (электрический монтаж):

- выполняют заготовительные операции (подготовку проводов, жгутов, кабелей, выводов ЭРЭ);
- устанавливают навесные ЭРЭ и микросхемы на платы;
- выполняют электрические соединения (монтаж) в соответствии с электрической принципиальной или электромонтажной схемой;
- контролируют качество монтажа.

На третьем этапе:

- контролируют качество сборки и маркируют изделия;
- выполняют регулировочно-настроечные работы.

При наличии в конструкции ЭА поверхностно-монтируемых компонентов (ПМК) выделяют три основных варианта конструктивного исполнения блоков: чисто поверхностный монтаж (тип 1), при котором на одной или двух сторонах печатной платы расположены только ПМК; смешанный монтаж: (тип 2), когда на одной или двух сторонах печатной платы размещаются сложные ПМК-компоненты и компоненты со штыревыми выводами и смешанно-разнесенный монтаж (тип 3), при котором компоненты со штыревыми выводами размещаются на лицевой стороне печатной платы, а простые ПМК-компоненты – на обратной стороне.

Технологический процесс сборки модуля типа 1 начинается с нанесения (чаще всего методом трафаретной печати) припойной пасты на контактные площадки (рисунок 3.1). Компоненты устанавливаются на печатную плату и осуществляется их пайка. Некоторые припойные пасты подсушивают перед пайкой для удаления летучих соединений и стабилизации свойств. Для плат с двухсторонней установкой компонентов приведенные выше операции повторяются. Компоненты, находящиеся на лицевой поверхности печатной платы, повторно подвергаются нагреву. Однако вследствие действия сил поверхностного натяжения в припойной пасте они остаются на своих местах.

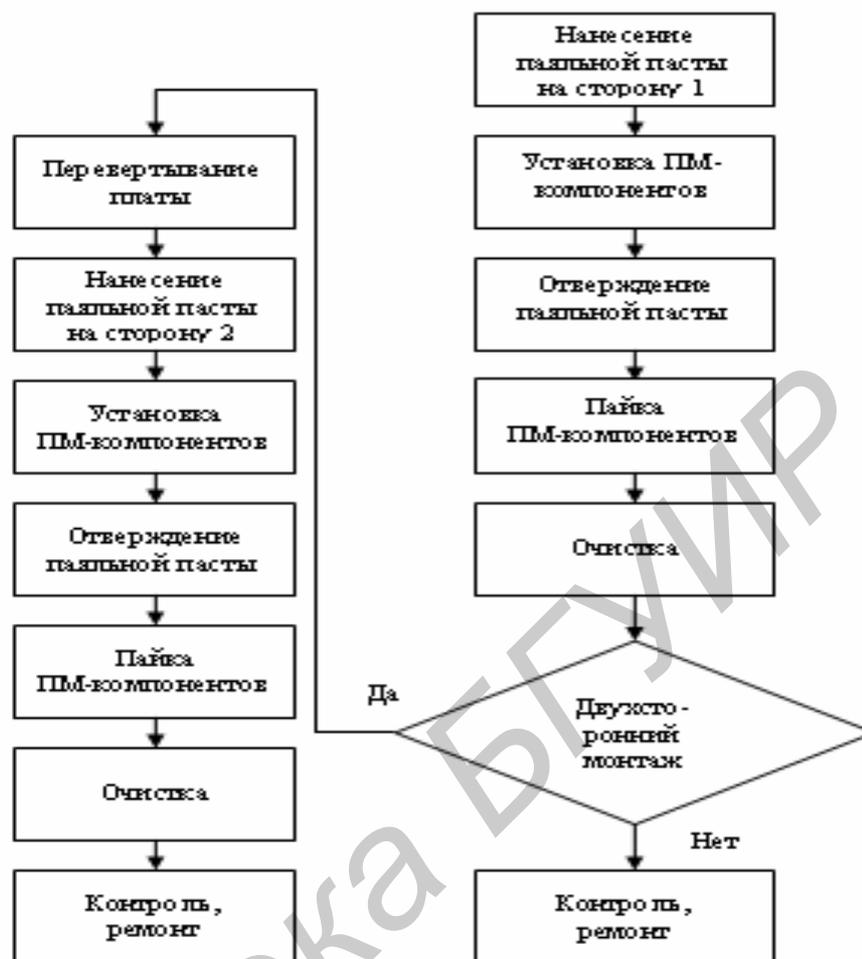


Рисунок 3.1 – Схема технологического процесса сборки модуля типа 1

Технологический процесс сборки модуля типа 2 является комбинацией технологических процессов сборки типов 1 и 3 и использует все операции, характерные для этих типов (рисунок 3.2). Это наиболее сложный вариант для практической реализации, потому что он содержит максимальное число операций.

Первой операцией технологического процесса сборки модуля типа 3 будет автоматизированная установка компонентов со штыревыми выводами с их подгибкой (рисунок 3.3). Она выполняется на серийном оборудовании. Далее плата переворачивается и на места установки ПМ-компонентов наносится адгезив. С помощью автоматических укладчиков устанавливаются ПМ-компоненты и осуществляется подсушивание адгезива в конвекционных или инфракрасных печах. После отверждения адгезива плата переворачивается обратно и производится пайка выводов традиционных и ПМ-компонентов волновой пайкой. Дискретные ПМ-компоненты за счет приклеивания во время пайки остаются на своих местах. Последние операции всех технологических процессов – очистка и контроль. Некоторые фирмы осуществляют пайку волной припоя и ПМ-корпуса ИМС (SO). Однако это не рекомендуется ввиду высоких тепловых нагрузок на корпуса, снижения коррозионной стойкости и надежности ИМС.

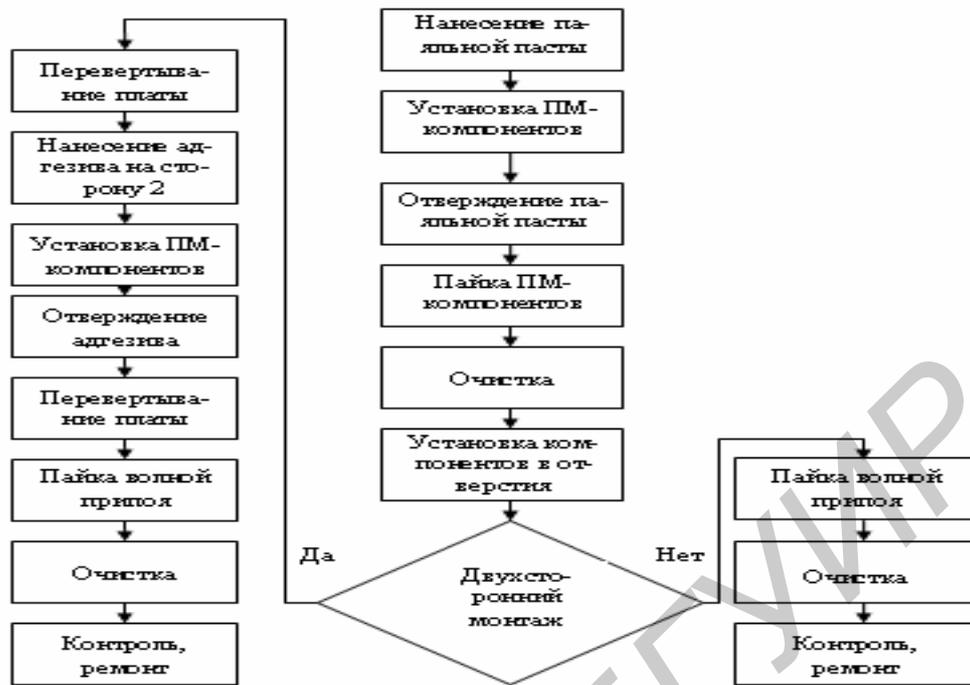


Рисунок 3.2 – Схема технологического процесса сборки модуля типа 2



Рисунок 3.3 – Схема технологического процесса сборки модуля типа 3

При выборе оптимального варианта ТП используют технико-экономические критерии — *экономичность* и *производительность*.

Экономичным считается процесс, который при заданных условиях обеспечивает минимальную технологическую себестоимость. Производительность со-

ответствует наименьшим затратам живого труда и обеспечивает быстрый выпуск продукции в плановые сроки.

Для выбора оптимального варианта ТП по производительности рассчитываем производительность труда по каждому из вариантов. *Производительность* – количество изделий, которое изготовлено за единицу времени (час, смену):

$$Q = \frac{\Phi_d}{\sum_{i=1}^n T_{шт\ i}}, \quad (3.1)$$

где Φ_d – действительный фонд времени за плановый период; n – количество операций ТП; $T_{шт\ i}$ – трудоемкость i -й операции.

При расчетах производительности труда необходимо различать *штучно-калькуляционное* и *штучное время* выполнения операции.

Штучно-калькуляционное время равно

$$T_{шт.к} = T_{шт} + T_{п.з} / N, \quad (3.2)$$

где $T_{п.з}$ – подготовительно-заключительное время, которое затрачивается на ознакомление с чертежами, получение инструмента, на подготовку и наладку оборудования на всю программу выпуска.

Штучное время затрачивается на каждое изделие определяется по формуле

$$T_{шт} = T_{осн} + T_{всп} + T_{обсл} + T_{пер}, \quad (3.3)$$

где $T_{осн}$ – основное время работы оборудования; $T_{всп}$ – вспомогательное время на установку и снятие детали; $T_{обсл}$ – время обслуживания и замены инструмента; $T_{пер}$ – время регламентированных перерывов в работе.

Для сборочно-монтажного производства $T_{осн}$ и $T_{всп}$ объединяют в оперативное время $T_{оп}$, а $T_{обсл} + T_{пер}$ составляют дополнительное время, его задают в процентах от оперативного в виде коэффициентов. Согласно ОСТ 4ГО.050.012 "Нормирование сборочно-монтажных работ в производстве РЭА" штучное время определяется по формуле

$$T_{шт} = T_{оп} K_1 \left(\frac{K_2 + K_3}{100} + 1 \right) \quad (3.4)$$

где K_1 – коэффициент, зависящий от сложности аппаратуры и типа производства; K_2 – коэффициент, учитывающий подготовительно-заключительное время и время обслуживания в процентах от оперативного; K_3 – коэффициент, учитывающий долю времени на перерывы в работе в процентах к оперативному времени и зависящий от сложности выполняемой работы и условий труда.

Оперативное время $T_{оп}$ определяют по техническим характеристикам оборудования в соответствии с формулой (2.3). Значения коэффициентов K_1 и K_2 выбирают по таблице 3.1, K_3 – по таблице 3.2.

Таблица 3.1 – Значения коэффициентов K_1 и K_2

Тип производства	K_1 для аппаратуры			$K_2, \%$
	2-го поколения	3-го поколения	4-го поколения	
Индивидуальное	1,3	1,8	2,0	10
Мелкосерийное	1,2	1,5	1,8	9,6
Серийное	1,0	1,2	1,5	7,6
Крупносерийное	0,75	0,9	1,12	5,4
Массовое	0,70	0,85	1,05	3,7

Ориентировочно подготовительно-заключительное время на всю годовую программу равно

$$T_{п.з} = T_{п.з. см} C D_p, \quad (3.5)$$

где $T_{п.з. см}$ – сменная норма подготовительно-заключительного времени; C – количество смен; D_p – количество рабочих дней в плановый период.

Таблица 3.2 - Значения коэффициента K_3 в зависимости от условий работы

Характер работ	$K_3, \%$
Простые легкие	3
Простые средние	5
Простые в неблагоприятных условиях	6
Простые в тяжелых условиях	9
Простые с большим зрительным напряжением	12
Тяжелые или в особо неблагоприятных условиях	16
Особо тяжелые и в неблагоприятных условиях	20

Сменная норма $T_{п.з.}$ определяется инструкцией по эксплуатации оборудования и выражает готовность оборудования на начало ТП (таблица 3.3).

Для выбора оптимального варианта ТП составляют два уравнения для вычисления суммарного штучно-калькуляционного времени сравниваемых вариантов в соответствии с технической нормой времени:

$$\sum_{i=1}^m T_{шт.кi} = \sum_{i=1}^m T_{штi} + \sum_{i=1}^m T_{п.зi} / N, \quad \sum_{i=1}^n T_{шт.кi} = \sum_{i=1}^n T_{штi} + \sum_{i=1}^n T_{п.зi} / N, \quad (3.6)$$

где m, n – число операций по вариантам.

Тогда критический размер партии изделий равен

$$N_{кр} = \frac{\sum_{i=1}^m T_{п.зi} - \sum_{i=1}^n T_{п.зi}}{\sum_{i=1}^n T_{штi} - \sum_{i=1}^m T_{штi}}. \quad (3.7)$$

Таблица 3.3 – Укрупненные нормы подготовительно-заключительного времени

Тип оборудования	$T_{п.з. см, мин}$
Простая оснастка	1—5
Оснастка средней сложности (с пневмо- или электроприводом)	10—15
Сложная технологическая и регулировочная оснастка	15—30
Полуавтоматы	15—25
Сложное автоматическое оборудование	20—30
Микропроцессорное оборудование, управляемые роботы	30—40
Установки волновой пайки	50—60

Если вариант ТП отличается большим уровнем автоматизации, то ему соответствует большее суммарное подготовительно-заключительное время вследствие сложности подготовки оборудования и одновременно меньшее суммарное штучное время.

Важным показателем правильности выбора технологического оборудования является коэффициент загрузки, и использования оборудования по основному времени. Коэффициент загрузки оборудования K_3 определяется как отношение расчетного количества единиц оборудования по данной операции n_p к принятому (фактическому) количеству $n_{пр}$:

$$K_3 = \frac{n_p}{n_{пр}}, \quad (3.8)$$

Расчетное количество единиц оборудования (рабочих мест) определяется как отношение штучного времени данной операции $T_{шт}$ к такту выпуска r :

$$n_p = \frac{T_{шт}}{r}, \quad (3.9)$$

Для наглядного представления о средней загрузке оборудования на линии и каждой единицы оборудования строят график загрузки (рисунок 3.4).

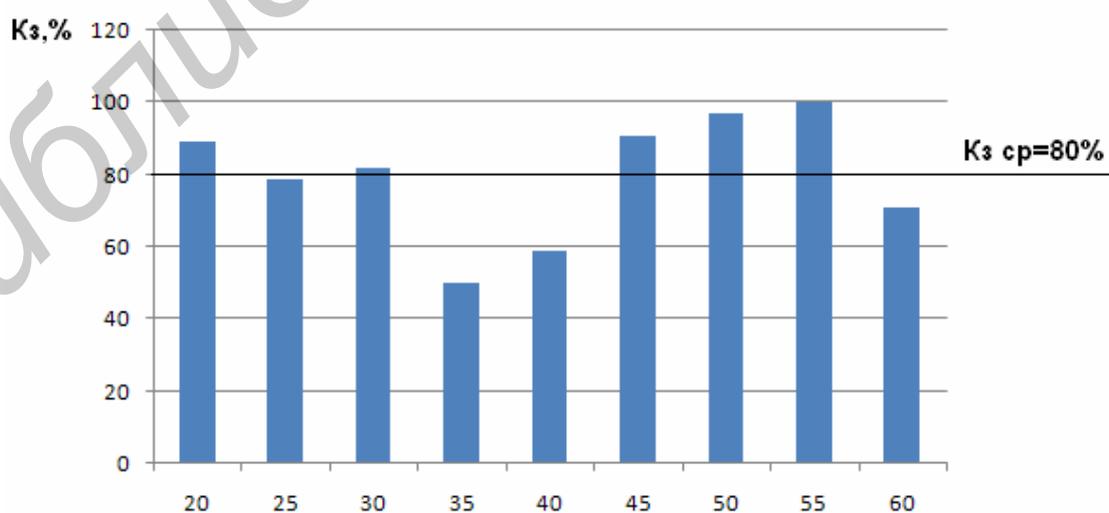


Рисунок 3.4 – График загрузки оборудования на линии

Порядок выполнения задания

1. В соответствии с «Общими правилами разработки ТП и выбора средств технологического оснащения» ГОСТ 14.301-73 разработать 2 варианта маршрутного ТП сборки электронного блока.

2. Для каждого из вариантов выбрать технологическое оборудование по их техническим характеристикам.

3. Рассчитать трудоемкость операций для каждого из вариантов маршрутного ТП сборки блока ЭА, представляя результаты расчетов в виде таблицы 3.4.

4. Определить трудоемкость ТП сборки по сравниваемым вариантам (пример таблица 3.5).

5. Рассчитать $N_{кр}$ и определить оптимальный вариант маршрутного ТП сборки и монтажа блока ЭА.

Таблица 3.4 – Маршрутный ТП сборки и монтажа (вариант 1)

№ операции	Наименование операции	Оборудование, оснастка	Т _{опер.} м.	Т _{шт.} м.	Т _{п.з.} м.	Т _{шт.-к.} м.
Итого:						

Технические характеристики оборудования для сборки и монтажа блоков электронной аппаратуры на печатных платах представлены в приложениях А –В.

6. Рассчитывают коэффициенты загрузки оборудования по вариантам технологических процессов и определяют средний для участка.

Таблица 3.5 - Результаты расчета штучного времени по вариантам ТП

№	Последовательность операций	Вариант 1			Вариант 2				
		Оборудование, оснастка	$T_{оп}$	$T_{шт}$	$T_{пз}$	Оборудование, оснастка	$T_{оп}$	$T_{шт}$	$T_{пз}$
05	Подготовительная	—	—	—	10	—	—	—	10
10	Механо-сборочная	Стол монтажный СМ-3, электроотвертка	1,5	1,4	—	Стол монтажный СМ-3, электроотвертка	1,5	1,4	—
15	Подготовка ЭРЭ к монтажу	Стол монтажный СМ-3, приспособление для формовки и обрезки выводов	1,5	1,4	—	Стол монтажный СМ-3, приспособление для формовки и обрезки выводов	1,5	1,4	—
20	Установка ЭРЭ на плату	Полуавтомат УР-10	0,8	0,74	20	Стол монтажный СМ-3, пинцет Пг7879-4512	10	9,2	—
25	Пайка волной припоя	Установка пайки Hollis Engineer-	0,3	0,3	55	Установка пайки ЛПИМ-300	0,5	0,46	50

		ing (США) Astra-300							
30	Пайка контактов	Паяльная станция	1,5	1,4	10	Стол монтажный СМ-3, паяльник ПСН-40	2,5	1,4	10
35	Очистка и сушка платы	Линия промывки плат ЛПП-901	0,2	0,18	20	Ванна цеховая, щетка	1,8	1,66	—
40	Маркировка	Рабочее место маркера	0,35	0,32	2	Рабочее место маркера	0,35	0,32	2
45	Контроль визуальный	Рабочее место визуального контроля VS8	0,35	0,32	25	Приспособление визуального контроля ГГ63669.012	0,35	0,32	5
50	Контроль электрический	Автомат MTS 180	0,35	0,32	30	Стенд контроля	1,35	1,32	10
Итого			7,8	6,38	172		19,85	18,38	87

Разработка операционной технологии и оформление комплекта технологических документов на процесс сборки электронного блока

Теоретические сведения

Единые правила выполнения, оформления, комплектации и обращения технологической документации установлены комплексом стандартов Единой системы технологической документации (ЕСТД).

К ТД относятся графические и текстовые документы, назначение и содержание которых приведены в табл. 4.1. Технологическая документация разрабатывается в виде комплекта документов. Виды ТД устанавливает ГОСТ 3.1102-81, состав, формы и правила оформления информационных блоков основной надписи – ГОСТ 3.1103-82, общие требования к документам, формам и бланкам – ГОСТ 3.1104-81, термины и определения основных понятий – ГОСТ 3.1109-82.

При серийном производстве и маршрутно-операционном типе ТП комплект ТД включает:

- 1) титульный лист (ГОСТ 3.1105-74);
- 2) ведомость технологических документов (ГОСТ 3.1122-84, формы 4 и 4а);
- 3) комплектовочную карту (ГОСТ 3.1123-84, формы 6 и 6а);
- 4) маршрутные карты (ГОСТ 3.1118-82, формы 1 и 1а);
- 5) операционные карты (ГОСТ 3.1407-82, формы 3 и 3а или 2 и 2а);
- 6) ведомость оснастки (ГОСТ 3.1122-84, формы 2 и 2а);
- 7) ведомость операции контроля (ГОСТ 3.1105-74, форма 3).

При крупносерийном или массовом производстве и операционном типе ТП комплект ТД включает:

- 1) титульный лист (ГОСТ 3.1104-81);
- 2) ведомость технологических документов (ГОСТ 3.1122-84, формы 4 и 4а);
- 3) комплектовочную карту (ГОСТ 3.1123-84, формы 6 и 6а);
- 4) маршрутные карты (ГОСТ 3.1118-82, формы 2 и 2а);
- 5) операционные карты (ГОСТ 3.1407-82, формы 3 и 3а или 2 и 2а);
- 6) карту эскизов (ГОСТ 3.1105-84, формы 7 и 7а);
- 7) ведомость оснастки (ГОСТ 3.1122-84, формы 3 и 3а);
- 8) операционную карту контроля (ГОСТ 3.1502-74).

Документы заполняются следующими способами:

- 1) машинописным с шагом письма 2,54 или 2,6 мм;
- 2) рукописным, черной тушью, с высотой букв и цифр не менее 2,5 мм (ГОСТ 2.304-81);
- 3) с применением печатного устройства (ГОСТ 2.004-88) шрифтом 11 pt.

Наименование разделов и подразделов записывают в виде заголовков и подзаголовков и при необходимости подчеркивают. Под заголовками и между разделами следует оставлять 1–2 свободные строки. Запись данных следует произ-

водить в технологической последовательности выполнения операций, переходов, приемов работ, физических и химических процессов.

Таблица 4.1 – Виды и назначение основных технологических документов

Вид документа	Содержание и назначение документа
Маршрутная карта (МК)	Описание ТП изготовления изделия по всем операциям в технологической последовательности с указанием данных об оборудовании, оснастке, материальных и трудовых нормативах
Технологическая инструкция (ТИ)	Описание приемов работы или ТП, правил эксплуатации средств технологического оснащения, физических и химических явлений, происходящих на отдельных операциях
Карта эскизов (КЭ)	Эскизы, схемы и таблицы, необходимые для выполнения ТП, операции или перехода
Комплектовочная карта (КК)	Данные о деталях, сборочных единицах и материалах, входящих в комплект собираемого изделия
Ведомость материалов (ВМ)	Данные о заготовках, нормах расхода материала
Ведомость оснастки (ВО)	Перечень технологической оснастки и инструментов, необходимых для выполнения данного ТП
Ведомость технологических документов (ВТД)	Состав и комплектность ТД, необходимых для изготовления изделия
Операционная карта (ОК)	Описание технологической операции с указанием переходов, данных о технологическом оборудовании, оснастке, инструментах и режимах обработки
Ведомость операции (ВОП)	Описание и перечень всех операций технологического контроля, выполненных в одном цехе в технологической последовательности, с указанием данных о контрольной оснастке, инструментах и требований к контролируемым параметрам

Операции нумеруют числами ряда арифметической прогрессии (5, 10, 15 и т. д.). Допускается к числам добавлять слева нули. *Переходы* нумеруют числами натурального ряда (1, 2, 3 и т. д.) в пределах данной операции. *Установы* нумеруют прописными буквами русского алфавита (А, Б, В и т. д.). Размерные характеристики и обозначение обрабатываемых поверхностей указывают арабскими цифрами. Для обозначения позиций и осей допускается применять римские цифры.

Допускается применять сокращенную запись наименований и обозначений, если в документе записаны коды или полные наименования и обозначения этих данных. Например, при последовательном применении инструмента одного кода и наименования в нескольких переходах одной операции полную информацию указывают только для перехода, где он впервые применяется. В следующем переходе записывают: «То же», далее – кавычки. При применении инструмента одного кода и наименования в разных переходах одной операции, не следующих друг за другом, в переходе, где впервые был применен данный инструмент, допускается указывать номера последующих переходов, например «ШЦ 11-250-0,05 (для переходов 3, 5, 8)». При этом, записывая соответствующую информацию в этих переходах, дают ссылку, например «см. переход 1».

Титульный лист (ТЛ) является первым листом комплекта технологических документов и заполняется на формах 1–4 в соответствии с ГОСТ 3.1105-84. Форму 2 применяют для документов с горизонтальным расположением поля подшивки. В основной надписи, располагаемой в верхней правой части ТЛ, указывают наименование и обозначение изделия по конструкторскому документу, технологический код процесса, литеру, соответствующую этапу разработки, количество листов. Ниже указывают наименование министерства, организации-разработчика. Еще ниже указывают должности и фамилии лиц, согласовавших комплект документов (слева) и утвердивших документ (справа).

Далее прописными буквами записывают: «КОМПЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ», ниже строчными – название ТП. В нижней части ТЛ указывают номер акта и дату внедрения ТП в производство, например: АКТ N 14-87 от 15.05.2001.

Маршрутная карта (МК) является одним из важнейших технологических документов комплекта и имеет ряд форм. Выбор и установление области применения соответствующих форм МК зависит от видов разрабатываемых технологических процессов, назначения и формы в составе комплекта ТД и применяемых методов проектирования. Формы и правила оформления МК устанавливает ГОСТ 3.1118-82. При маршрутном и маршрутно-операционном описании ТП МК является одним из основных документов, в котором описывается весь процесс в технологической последовательности выполнения операций. При операционном описании ТП МК выполняет роль сводного документа, в котором указывается адресная информация (номер участка, рабочего места, операции), наименование операции, перечень документов, применяемых при выполнении операции, технологическое оборудование и трудозатраты.

Для изложения ТП в МК используют способ заполнения, при котором информацию вносят построчно несколькими типами строк. Каждому типу строки соответствует свой символ. Служебные символы условно выражают состав информации, размещаемой в графах данного типа строки документа, и предназначены для обработки содержащейся информации средствами механизации и автоматизации. В качестве обозначения служебных символов приняты буквы русского алфавита, которые отражают определенные виды информации и проставляются перед номером строки (таблица 4.2).

На строках, расположенных ниже граф, в которых указаны их наименования и обозначения, служебные символы проставляет разработчик с учетом выбранного им способа заполнения документов.

Запись на строках, имеющих символ О, следует выполнять в технологической последовательности по всей длине строки с возможностью переноса при необходимости информации на следующие строки. При операционном описании ТП номер проставляют в начале строки. Информацию на строках с символом Т записывают в такой последовательности: приспособления, вспомогательный, режущий, слесарно-монтажный, специальный инструмент, средства измерения. Запись выполняют по всей длине строки, разделяя каждый вид инструмента знаком «;». Количество одновременно применяемых единиц технологической оснастки

указывают после кода (обозначения), заключая в скобки, например БГУИ.ХХХХХХ.ХХХ (5), приспособление для гибки.

Таблица 4.2 – Содержание символов, используемых для описания МК

Обозначение	Содержание информации, вносимой в графы МК, расположенные в строке
А	Номер цеха, участка, рабочего места, где выполняется операция; номер, код и наименование операции; обозначение документов, применяемых при выполнении операции
Б	Код, наименование операции, трудозатраты
В, Г, Д, Е	Информация по символам А и Б для форм с вертикальным расположением поля подшивки
К	Комплектация изделия составными частями с указанием наименований и обозначений деталей и сборочных единиц
М	Применяемый материал, исходная заготовка, вспомогательные материалы, коды единицы величины, единицы нормирования, количество на изделие и нормы расхода
Л, Н	Комплектация изделия для форм с вертикальным расположением поля подшивки
О	Содержание операции (перехода)
Т	Применяемая технологическая оснастка

При заполнении МК и ОК руководствуются следующими правилами и требованиями:

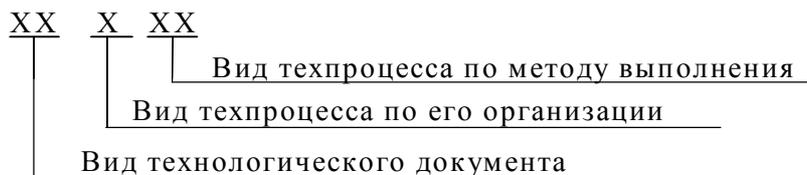
- именовать операции кратко, без возможности других толкований, начиная с отглагольного существительного (например: «Установка ЭРЭ на печатные платы», «Пайка микросборок на печатные платы», «Контроль блока»);
- переходы формулировать глаголами в повелительном наклонении (например: «Извлечь деталь из тары», «Закрепить ручку согласно чертежу», «Проверить внешним осмотром качество и правильность крепления печатного узла согласно чертежу»), т. е. построение фразы при формулировании перехода должно обращать внимание исполнителя в первую очередь на главное действие, а затем указываются предметы и действия, посредством которых достигается основная цель;
- все операции, включая регулировочные и контрольные, вносить в ТД в порядке их выполнения.

Каждому разработанному технологическому документу присваивается самостоятельное обозначение. Согласно ГОСТ 3.1201-85 установлена следующая структура обозначения документа:

X X X X . X X X X X . X X X X X
Код организации-разработчика
Код характеристики документа
Порядковый регистрационный номер

Четырехзначный буквенный код организации-разработчика присваивается по классификатору предприятий и организаций. В учебных целях для курсовых проектов рекомендуется назначать код КПКП, для дипломного проекта – ДПКП.

Код характеристики документа расшифровывается следующим образом:



Код характеристики документа назначается в соответствии с таблицами 4.3 – 4.5.

Таблица 4.3 – Вид технологического документа

Код	Вид технологического документа
01	Комплект технологической документации
10	Маршрутная карта
20	Карта эскизов
25	Технологическая карта
30	Комплектовочная карта
40	Ведомость документов
42	Ведомость оснастки
43	Ведомость материалов
44	Ведомость деталей (сборочных единиц)
50	Карта технологического процесса
60	Операционная карта

Порядковый регистрационный номер присваивают по классификационной характеристике от 00001 до 99999 в пределах кода организации-разработчика или организации, осуществляющей централизованное присвоение.

Таблица 4.4 – Вид техпроцесса по организации

Код	Вид техпроцесса по организации
0	Без указания
1	Единичный процесс
2	Типовой процесс
3	Групповой процесс

Таблица 4.5 – Вид техпроцесса по методу выполнения

Код	Вид техпроцесса по методу выполнения
00	Без указания
01	Общего назначения
02, 03	Технический контроль
07	Испытания
10	Литье
30	Холодная штамповка
40-42	Механическая обработка
50, 51	Термическая обработка
60	Изготовление деталей из пластмасс
70	Нанесение защитного покрытия
71	Нанесение химического, электрохимического покрытий и химическая обработка
75	Электрофизическая обработка
79	Ультразвуковая обработка
80, 81	Пайка

85	Электромонтажные работы
88	Слесарные, слесарно-сборочные и электромонтажные работы
89	Обмоточные и пропиточные работы
90, 91	Сварка

Пример обозначения маршрутно-операционной карты на сборку платы: ДПКП. 50188.00005, где ДПКП – код организации-разработчика; 50 – вид технологического документа (карта технологического процесса); 1 – вид технологического процесса по организации (единичный процесс); 88 – вид технологического процесса по методу выполнения (сборка и монтаж); 00005 – порядковый регистрационный номер.

Согласно ГОСТ 3.1102-81 установлены следующие стадии разработки ТД: на этапе разработки конструкторской документации «Эскизный проект» и «Технический проект» технологическая документация соответствует стадии «Предварительный проект» с присвоением литеры **П**; рабочей документации стадии «Опытный образец» присваивается литера **О**, стадии «Установочная серия» – литера **А**, массового или серийного производства – литера **Б**. Разработка технологической документации в курсовом и дипломном проекте соответствует стадии технического проекта или рабочей документации на стадии опытного образца.

Порядок выполнения задания

1. Определить содержание операций выбранного варианта маршрутного технологического процесса.
2. Оформить титульный лист комплекта технологических документов.
3. Оформить маршрутную карту на маршрутный технологический процесс.
4. Оформить операционные карты на 2-3 наиболее важные операции технологического процесса сборки и монтажа блока электронной аппаратуры.
5. Оформить ведомость технологических документов.

Примеры оформления перечисленных технологических документов приведены в приложении Г.

Проектирование поточной линии и участка сборки

Теоретические сведения

При проектировании однопредметной непрерывно-поточной линии, построенной на конвейере, проводят расчет в следующей последовательности:

1. Определяют ритм выпуска изделий r по формуле (3.1). В массовом производстве ритм выпуска единицы продукции получается весьма незначительным, поэтому линию рассчитывают по ритму пачки одноименных сборочных единиц:

$$r = \frac{\Phi_{\text{д}}}{N_{\text{п}}} \cdot n_{\text{тр}}, \quad (4.1)$$

где n – количество изделий, транспортируемых в пачке; $\Phi_{\text{д}}$ – базовый действительный фонд времени.

2. Рассчитывают количество рабочих мест, выполняющих параллельно одну и ту же операцию:

$$C_{\text{pi}} = T_{\text{опi}}/r, \quad (4.2)$$

где $T_{\text{опi}}$ – норма оперативного времени i -й операции.

3. Определяют коэффициент загрузки рабочих мест как отношение расчетного числа рабочих мест к принятому, фактическому:

$$K_{\text{зи}} = C_{\text{pi}}/C_{\text{при}}. \quad (4.3)$$

Операции считаются синхронизированными, если $0,9 < K_{\text{зи}} < 1,2$.

4. Находят общее количество рабочих мест сборщиков на линии:

$$K_{\text{р}} = \sum_{i=1}^n C_{\text{pi}} = \frac{T_{\text{сб}}}{r}, \quad (4.4)$$

где $T_{\text{сб}}$ – трудоемкость сборки изделия, равная $\sum_{i=1}^n T_{\text{опi}}$, n – количество операций.

При количестве рабочих мест, равном или меньше 10, организация линии поточной сборки экономически нецелесообразна, если количество мест больше 50, то необходимо организовать две или более линий.

5. Рассчитывают общее количество рабочих мест на линии:

$$K_{\text{общ}} = K_{\text{р}} + K_{\text{рез}} + K_{\text{комп}} + K_{\text{контр}}, \quad (4.5)$$

где $K_{\text{рез}}$ – количество резервных мест (0,1– 0,2) $K_{\text{р}}$; $K_{\text{комп}}$, $K_{\text{контр}}$ – количество рабочих мест комплектовщиков и контролеров соответственно.

6. Рассчитывают шаг конвейера d :

$$d = V_n \cdot r, \quad (4.6)$$

где V_n – скорость непрерывного движения ленты конвейера.

При пульсирующем движении ленты конвейера со скоростью V_n :

$$d = V_n T_{пр}, \quad (4.7)$$

где $T_{пр}$ – время передвижения предмета на один интервал.

7. Определяют длину конвейера L :

$$L = L_p + L_1 + L_2, \quad (4.8)$$

где L_p – рабочая длина несущего органа конвейера; L_1, L_2 – длина приводной и натяжной станций соответственно, выбираемые по справочным данным.

8. Рассчитывают количество предметов в заделе N_3 , сборка которых не окончена:

$$N_3 = N_{тех} + N_{тр} + N_{рез} + N_{обор}, \quad (4.9)$$

где $N_{тех}$ – технологический задел, представляющий собой изделия на сборке на рабочих местах линии, $N_{тех} = K_p n$; $N_{тр}$ – транспортный задел, определяемый при непрерывном движении конвейера как $N_{тр} = L_p / d n$, при пульсирующем – $N_{тр} = K_p n$; $N_{рез}$ – резервный задел, равный 2 - 5% от сменного выпуска изделий; $N_{обор}$ – оборотный задел, создаваемый на комплектовочной и упаковочной площадках в размере сменной потребности линии.

При составлении технологической планировки поточной линии необходимо обеспечить рациональное направление грузопотока, максимальную прямоточность процесса сборки, рациональную компоновку рабочих мест на линии: одно-стороннее (а), двухстороннее в «шахматном» порядке (б) для горизонтально-замкнутого конвейера (рис. 4.1).

При составлении планировки должны быть учтены следующие требования:

- технологический поток изготовления изделия должен быть непрерывным;
- транспортно-складские работы должны быть максимально механизированы или автоматизированы и входить в общий технологический поток;
- должна быть обеспечена сохранность материальных ценностей, а также возможность учета деталей, полуфабрикатов и готовых изделий;
- капитальные затраты должны быть оптимальными, а окупаемость оборудования должна укладываться в действующее в отрасли нормативы.

При проектировании гибкого автоматизированного производства (ГАП) основной ячейкой планировки является робототехнологический комплекс (РТК), представляющий совокупность технологического и вспомогательного оборудования и в общем случае включающий следующие основные элементы:

- автоматическое технологическое оборудование (автоматы);

- робототехническое транспортное оборудование (роботы-манипуляторы, транспортные роботы и т.д.);
- автоматические загрузочные и разгрузочные устройства;
- управляющие устройства (стойки управления, мини-ЭВМ и др.).

Рациональности структуры РТК определяется коэффициентом использования производственной площади K :

$$K = \left(\sum_{i=1}^n S_{oi} + S_{вспн} \right) / S, \quad (4.10)$$

где S_{oi} – производственная площадь, занятая основным оборудованием:

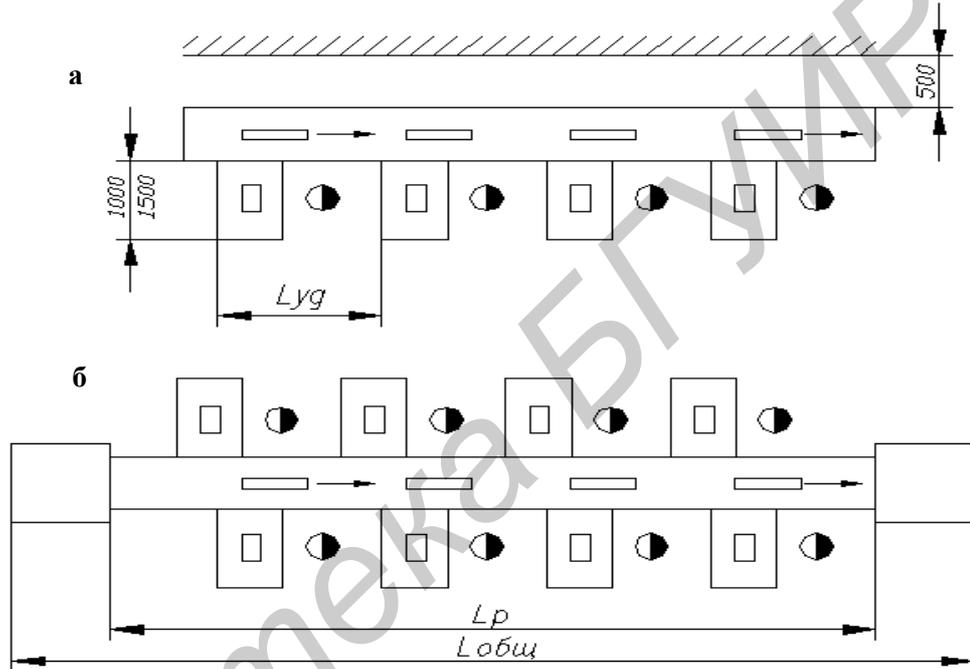


Рис. 4.1 Варианты расположения рабочих мест на линии: одностороннее (а), двухстороннее(б)

$$S_{oi} = (L + b + 0,5h_1)(a + 0,5h_2), \quad (4.11)$$

где L – длина основного оборудования вдоль фронта; b – расстояние от стены или колонны до рабочего места; h_1 – величина прохода между оборудованием; a – ширина оборудования; h_2 – расстояние между оборудованием по ширине; $S_{вспн}$ – площадь, занятая вспомогательным оборудованием; n – количество единиц технологического оборудования.

Площадь под вспомогательное оборудование включает:

$$S_{вспн} = S_{загр} + S_{разгр} + S_{пр}, \quad (4.12)$$

где $S_{загр}$, $S_{разгр}$ – площади, занятые загрузочно-разгрузочными устройствами;

$S_{пр}$ – площадь, занимаемая промышленным роботом (ПР), определяемая как

$$S_{пр} = K (L + h) b, \quad (4.13)$$

где L – длина ПР, b – ширина ПР, h – ширина прохода,

K – коэффициент, учитывающий площадь, необходимую для эксплуатации, профилактики и ремонта ПР.

Исходные данные для проектирования участка поверхностного монтажа:

- 1) годовая программа выпуска изделий;
 - 2) трудоемкость изготовления изделия;
 - 3) оборудование для изготовления изделия, тип, цена, потребляемая мощность;
 - 4) материалы, комплектующие на одно изделие;
 - 5) основные производственные рабочие, разряд работ, часовая тарифная ставка.
- Трудоемкость изготовления изделий электроники при ручной сборке в среднем составляет порядка 22 часа, а при переходе на автоматизированную сборку уменьшается до 0,5 часа (в зависимости от выбранного оборудования). Примерное нормирование основных операций технологического процесса (рисунок 4.2):
- 1) нанесение паяльной пасты — 1 мин (включая время на контроль платы, контроль нанесения пасты);
 - 2) установка элементов — 10 мин + 1 мин на смену заготовки (включая визуальный контроль установки элементов);
 - 3) пайка — 9 мин (включая визуальный контроль);
 - 4) отмывка — 7 мин (включая визуальный контроль отмывки);
 - 5) контрольные операции — 3 мин;
 - 6) такт выпуска $T = 10$ мин.

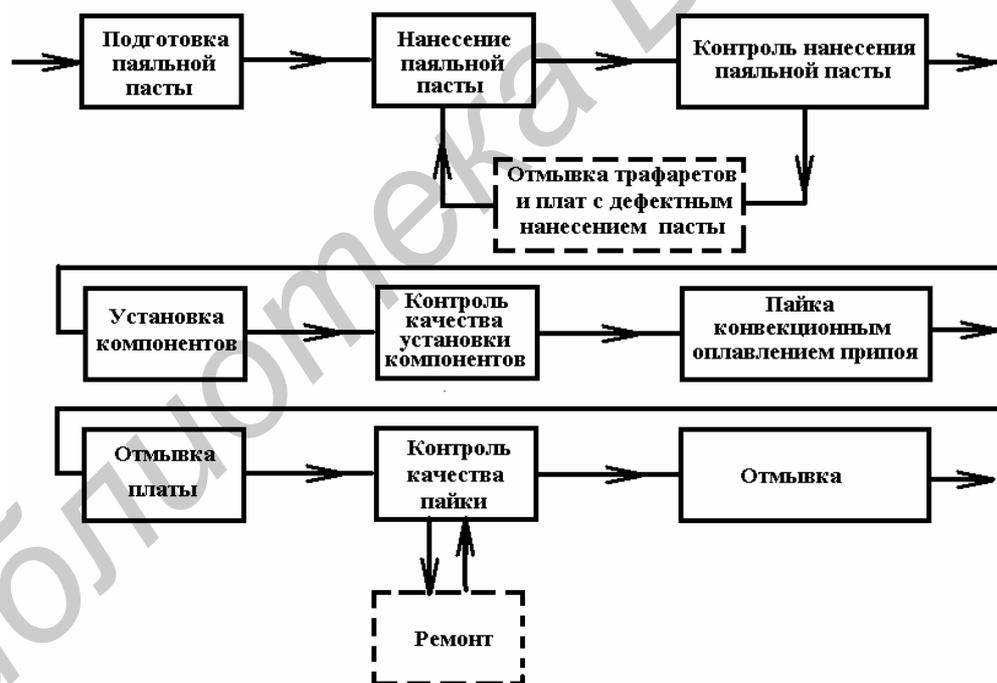


Рисунок 4.2 Схема технологического процесса сборки и монтажа

Основным требованием к автоматизированному оборудованию, кроме высокого качества сборки, является его гибкость — возможность собирать партии до тысяч единиц и быстрая пере наладку на сборку различных типов изделий. Основные требования к оборудованию:

- высокая надежность;
- наличие сервисной службы;

- высокая гибкость (возможность переналадки за 10 — 20 мин);
- сборка сложных изделий (работа с широкой номенклатурой компонентов от 0201 до 45x45 мм).

Оборудование должно быть адаптировано к реальным производственным потребностям, то есть типы и конфигурация оборудования могут измениться после проведения анализа производства с учетом перспектив развития. Анализ спецификации изделий при проектировании участка сборки включает выявление особенностей типов компонентов. На каждую плату определяются:

- минимальные и максимальные габариты компонента;
- минимальный шаг выводов устанавливаемых компонентов;
- наличие микросхем, выполненных по технологии BGA и их шаг;
- число типономиналов компонентов для разных типов технологической тары упаковки компонентов (ленты, вибропитатели, матричные поддоны);
- наличие компонентов сложной формы, на которых нет горизонтальной поверхности на линии тяжести (нет возможности для обеспечения захвата стандартными насадками оборудования установки компонентов);
- число типов SMD и обычных компонентов.

Ключевые параметры при выборе оборудования для трафаретной печати:

- 1) тип установки: встраиваемая в линию, не встраиваемая в линию — ручная или полуавтоматическая;
- 2) время цикла печати;
- 3) максимальная зона печати;
- 4) очистка трафарета: сухая, влажная, влажная + вакуумная;
- 5) контроль климата внутри установки.

Ручной принтер подразумевает ручное совмещение ПП с трафаретом. Совмещение осуществляется микровинтами и контролируется визуально оператором. Если в электронном модуле есть компоненты BGA (любого типа), микросхемы с шагом Fine Pitch < 0,5 мм и компоненты размера 0603 и менее, то даже для мелкосерийного производства ручной принтер не подходит. Его использование приведет к плохому качеству печати и обилию дефектов после оплавления, а также к полному отсутствию повторяемости.

Ключевые параметры при выборе установщиков SMD:

- 1) тип автомата (pick&place, turret, модульный);
- 2) максимальное число питателей;
- 3) число захватов;
- 4) максимальный размер платы;
- 5) минимальный шаг;
- 6) производительность;
- 7) возможность установки питателей из разной технологической тары.

Встраиваемые в линию установщики — это полные автоматы с конвейерной подачей ПП. Схема работы автомата должна обеспечивать автономную сборку ПП без участия оператора. Работа автомата заключается в захвате вакуумной насадкой компонента из технологической тары, центрировании компонента, переме-

щении вакуумного захвата с компонентом в позицию установки и опускании компонента на контактные площадки с отключением вакуума.

Ключевые параметры при выборе печи оплавления:

- 1) тип используемого принципа оплавления;
- 2) равномерность нагрева;
- 3) длина рабочей зоны оплавления;
- 4) число зон нагрева на рабочем уровне, а также на нижнем уровне;
- 5) число зон охлаждения;
- 6) возможная ширина ПП;
- 7) тип конвейера;
- 8) центральная поддержка;
- 10) возможность пайки в среде азота

Сегодня самый распространенный тип печей оплавления — это конвекционные печи - горячий воздух нагнетается вентиляторами в рабочую камеру через множество распределенных отверстий и воздействует на ПП, которая перемещается по рабочей зоне на конвейере. Снизу под конвейером находятся штыри, удерживающие плату от провисания. В связи с приходом бессвинцовых технологий и увеличением температур пайки в настоящее время требуется больше времени на нагрев и охлаждение, чтобы выдержать требуемый градиент нарастания температур. Поэтому современные печи становятся длиннее (до 12 м) и имеют большее количество зон (9—11).

Исходные данные для разработки планировки участка поверхностного монтажа (рисунок 4.4), с учетом выбранного оборудования, представлены в таблице 4.3. Базовые требования к помещению должны соответствовать требованиям международного стандарта IPC-J-STD-001.

Таблица 5.3 Исходные данные для разработки планировки участка поверхностного монтажа

№ п.п.	Наименование позиции	Тип	Размеры, мм	Пневмопитание, расход, л/мин	Электропитание
1	Автомат графаретной печати	Horizon 03	1800x900	60, > 4 бар	220 В, 50 Гц
2	Автомат для установки компонентов	Place ALL600L	1420x1060	150, > 5 бар	220 В, 50 Гц, 2кВт
3	Компрессор	JUN-AIR	1000x1000	-	380 В
4	Инспекционный конвейер		1500x500	-	-
5	Стеллаж		3000x500	-	-
6	Печь конвекционного оплавления припоя	Hotflow 3	1830x1650	6-10 бар	400 В, 50 Гц, 3 фазы, 55 кВт
7	Конвейер	Nutek	500	-	-
8	Рабочее место для визуального контроля	VS8	1800x900	-	220 В, 50 Гц, 100 Вт
9	Система визуальной инспекции		1200x900	-	220 В, 50 Гц, 200 Вт
10	Ремонтный центр		1800x900	-	220 В, 50 Гц, 3,6 кВт

11	Установка отмывки	UNICLEA N	1900x880	6 бар	9,6 кВт
12	Рабочее место		1800x900	-	220 В, 50 Гц
13	Рабочее место установки компонентов и дозирования клея		1800x900	-	220 В, 50 Гц, 60 Вт
15	Шкаф сухого хранения		1500x700	-	220 В, 50 Гц, 28 Вт
16	Холодильник для хранения паяльной пасты и клея	Атлант	570x630	-	220 В, 50 Гц
17	Рабочее место подготовки паяльной пасты		1200x700	-	220 В, 50 Гц
18	Рабочее место восстановления выводов МС в корпусе BGA		1500x900	-	220 В, 50 Гц

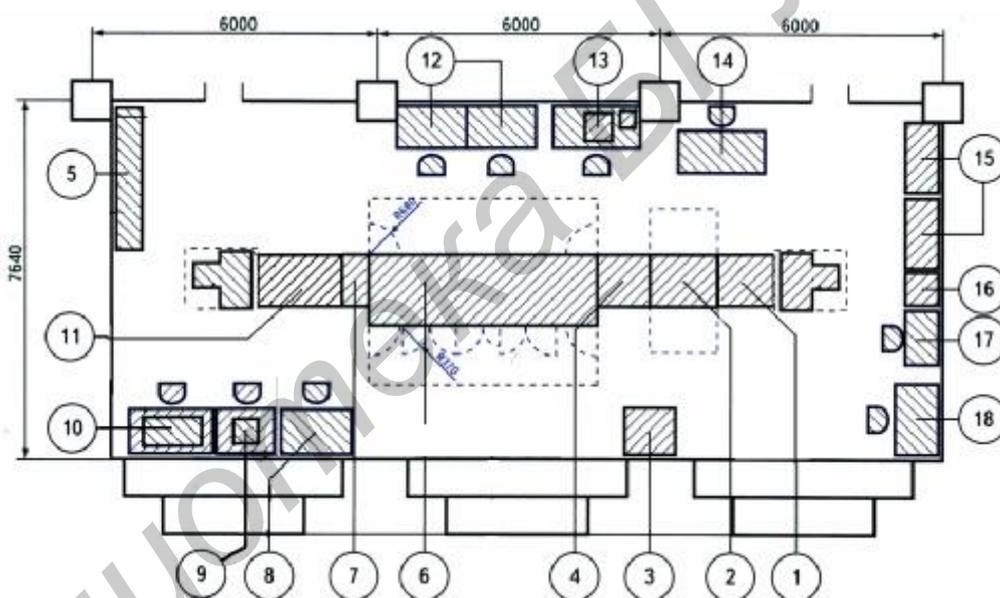


Рисунок 4.4 – Планировка участка поверхностного монтажа

Порядок выполнения занятия

1. Выполнить расчет параметров линии сборки по двум вариантам планировки.
2. Составить планировку линии сборки и оценить ее рациональность с помощью коэффициента использования производственной площади.
3. Планировку участка сборки вычерчивают в масштабе (1:50, 1:100), при этом указывают основную и производственную площадь, вспомогательные помещения, перегородки, окна, двери, колонны, силовые щиты электроснабжения, вентиляционные шахты и др.

Практическое занятие №6

Проектирование и расчет технологической оснастки

Теоретические сведения

Технологическая оснастка представляет собой дополнительные или вспомогательные устройства, предназначенные для реализации технологических возможностей оборудования или работающие автономно на рабочем месте с использованием ручного, пневматического, электромеханического и других приводов. При выборе технологической оснастки в соответствии с ГОСТ14.305.-73 ЕСТПП определяют по каталогам исходя из вида работы принадлежность конструкции к определенной системе технологической оснастки. К системам технологической оснастки относятся:

- неразборная специальная оснастка (НСО);
- универсально-наладочная оснастка (УНО);
- сборно-разборная оснастка (СРО);
- универсально-безналадочная оснастка (УБО);
- специализированная наладочная оснастка (СНО).

Конструкцию оснастки выбирают с учетом стандартных и типовых решений для данного вида технологической операции с учетом габаритных размеров изделия, вида заготовки, характеристики материала изделия, точности параметров изделия, технологических схем базирования и фиксации изделий, характеристик оборудования, типа производства.

Технологическая оснастка применяется для выполнения следующих операций:

- 1) подготовка выводов радиоэлементов к монтажу (гибка, обрезка, формовка, лужение);
- 2) подготовка проводов и кабелей к монтажу (снятие изоляции, зачистка, заделка, маркировка, вязка жгутов, лужение);
- 3) механосборка (расклепка, развальцовка, запрессовка, расчеканка, свинчивание, стопорение резьбовых соединений);
- 4) установка радиоэлементов на печатные платы (укладка, закрепление, склеивание);
- 5) монтажные работы (пайка, сварка, накрутка, демонтаж элементов);
- 6) регулировочные и контрольные операции (подстройка параметров, визуальный и автоматический контроль) и т.д.

Разработка технологической оснастки имеет целью механизировать или автоматизировать отдельные операции технологического процесса. Выбор технологической оснастки проводят в соответствии с ГОСТ14.305-73 путем сравнения вариантов и определения принадлежности к стандартным системам оснастки. На первом этапе используют стандарты: ОСТ4ГО.054.263 - ОСТ4ГО.054.268, научно-технические журналы, патентную и справочную литературу.

Выбор конструкции оснастки осуществляют путем расчета следующих технико-экономических показателей: коэффициент загрузки единицы технологической оснастки и затраты на оснащение технологической операции.

Коэффициент загрузки K_3 единицы оснастки рассчитывается по формуле

$$K_3 = T_{шт}N/\Phi_d, \quad (5.1)$$

где $T_{шт}$ – штучно-калькуляционное время выполнения технологической операции; N – программа выпуска; Φ_d – годового фонда рабочего времени.

На *втором этапе* осуществляется доработка конструкции рабочих узлов технологической оснастки в соответствии с размерами обрабатываемых деталей и радиоэлементов и техническими условиями на изделие. Конструкция приспособления должна быть увязана с конструкцией технологического оборудования, например, расположением стола станка, пресса, крепежных пазов на нем.

К проектированию специализированных групповых приспособлений предъявляются следующие требования:

1) приспособление должно иметь комплект сменных или регулируемых элементов (направляющие, установочные, зажимные и др.), обеспечивающих стабильность установки любой из деталей группы;

2) количество деталей, входящих в сменный комплект, должно быть минимальным;

3) переналадка приспособления должна быть простой, доступной рабочему 2-3 разряда, и проводиться не более 5-10 мин.

Сборочный чертеж технологической оснастки содержит обычно две-три проекции общего вида с соответствующими разрезами и сечениями, обеспечивающими возможность детализации. На нем указывают габаритные и присоединительные размеры, а также размеры, износ, которые влияют на точность приспособления. К таким размерам относятся различного рода посадки, обозначаемые в соответствии со СТ СЭВ 144-75. В технических требованиях приводят следующие сведения:

- характеристики совместно используемого оборудования, тип привода;
- наибольшие габаритные размеры обрабатываемых деталей или элементов;
- характер смазки трущихся деталей и др.

В графической части проекта приводят также чертежи вновь разрабатываемых и оригинальных деталей технологической оснастки. При этом в пояснительной записке дается обоснование выбора материалов деталей, сортамента и вида обработки, степени шероховатости поверхностей, вида термической обработки, типа покрытия. Указанные сведения приводятся в технических требованиях и основной надписи на чертежах деталей. Примерные конструкции технологической оснастки приведены в альбомах оснастки.

На завершающем этапе проектирования технологической оснастки выполняют поверочный расчет, который имеет целью определение ее работоспособности, производительности и других технических характеристик.

При расчетах чаще всего определяют механические характеристики работы приспособления. Усилие, разрабатываемое винтовым механизмом, зависит от величины приложенного момента, формы рабочего торца винта и вида резьбы.

Для винтов со сферическим торцом:

$$F = \frac{F_{\text{прил}} L}{r_{\text{ср}} \operatorname{tg}(\alpha + \xi_{\text{пр}})}, \quad (5.2)$$

где $F_{\text{прил}}$ – усилие, приложенное к рукоятке винтового механизма, Н; L – длина рукоятки, м; $r_{\text{ср}}$ – средний радиус резьбы, м; α – угол подъема резьбы; ξ – приведенный угол и радиус трения.

Угол подъема резьбы и приведенный угол трения:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S}{2\pi r_{\text{ср}}}, \quad (5.3)$$

где S – шаг резьбы, мм; f – коэффициент трения на плоскости; β – половина угла при вершине профиля резьбы, град.

Для винтов с плоским торцом:

$$F = \frac{F_{\text{прил}} L}{r_{\text{ср}} \operatorname{tg}(\alpha + \xi_{\text{пр}} + 1/3\mu D)}, \quad (5.4)$$

где μ – коэффициент трения на плоском торце; D – наружный диаметр плоского торца, м.

Условие самоторможения винтового механизма определяется неравенством:

$$\alpha < \xi_{\text{пр}}. \quad (5.5)$$

Для резьбы величина угла подъема лежит в пределах $1,5 - 4^\circ$, а приведенный угол трения изменяется в зависимости от величины коэффициента трения в пределах от 6 до 16° , условие торможения, как правило, выполняется. Для проверочных расчетов винтового механизма выбирают исходные данные в пределах:

$$F_{\text{прил}} = 15-25 \text{ Н}; \quad L = 0,08-0,24 \text{ м}; \quad f = 0,1-0,15; \quad r_{\text{ср}} = 0,45d;$$

$$D = 0,8d; \quad \mu = 0,1; \quad \beta = 120^\circ,$$

где d – номинальный диаметр резьбы, в мм.

КПД винтового механизма рассчитывается по формуле:

$$\zeta = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg}(\beta + \xi_{\text{ппр}})}. \quad (5.6)$$

Для самотормозящихся винтовых механизмов КПД меньше 0,5. Выбрав номинальный диаметр винта в зависимости от требуемого усилия зажима F , проверяют прочность винта:

$$\sigma_p = \frac{F}{Kd^2} < \sigma_{p,\text{доп.}}, \quad (5.7)$$

где σ_p – напряжение растяжения винта, МПа; $\sigma_{p,\text{доп.}}$ – допустимое напряжение растяжения материала винта, МПа; K – коэффициент, для метрической резьбы с крупным шагом – 0,5.

Для винтов с резьбами М6-М18, изготовленных из углеродистых сталей обыкновенного качества марок Ст3, Ст5, допустимое напряжение до 200 МПа, качественных сталей 10...85 - до 430 МПа.

Усилие, развиваемое рычажным механизмом, определяется по формуле:

$$F = F_{\text{прил}} \frac{L_1 - rf_0}{L_2 + rf_0}, \quad (5.8)$$

где L_1, L_2 – плечи рычага; f_0 – коэффициент трения на оси; r – радиус оси.

В эксцентриковых механизмах применяются круговые и криволинейные эксцентрики, представляющие собой диск или валик со смещенной осью вращения относительно геометрической оси. Угол подъема кругового эксцентрика достигает максимального значения при угле поворота 90° . Однако при этом возможна нестабильность усилия. В связи с этим для обеспечения незначительного изменения зажимного усилия выбирают рабочий участок профиля кругового эксцентрика в пределах $30\text{--}45^\circ$ влево и вправо от расчетной точки контакта детали с эксцентриком. Усилие зажима круговым эксцентриком определяют по формуле

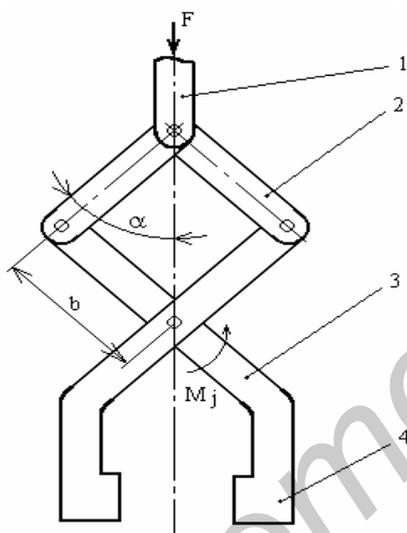


Рис. 5.1. Схема рычажного механизма:
1 – привод; 2 – плечи; 3 – губки

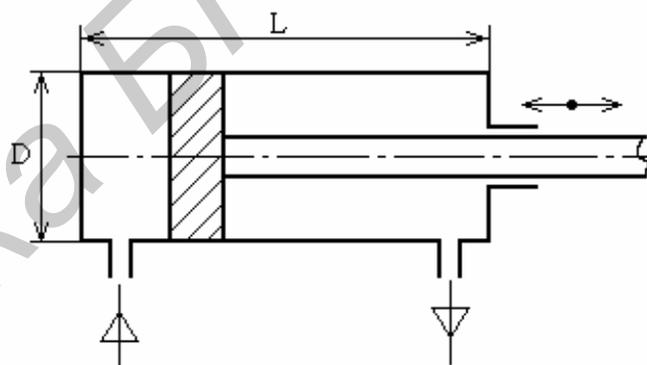


Рис. 5.2. Схема пневмопривода

$$F = \frac{F_{\text{прил}} L_1}{L_2 [\text{tg}(\alpha + \phi) + \text{tg} \phi]}, \quad (5.9)$$

где $F_{\text{прил}}$ – сила, приложенная к рукоятке эксцентрика (100–150 Н); L_1 – плечо приложения силы, м, $L_1 = L + 0,5D$, где L – длина рукоятки; D – диаметр кругового эксцентрика; L_2 – расстояние от оси вращения эксцентрика до точки соприкосновения с изделием, м; ϕ – угол трения между эксцентриком и изделием, град; ϕ_1 – угол трения на оси эксцентрика, град; α – угол подъема кривой эксцентрика, град.

Условие самоторможения кругового эксцентрика:

$$D/L \geq 14, \quad (5.10)$$

где L – эксцентриситет (1,5–5,0 мм).

При выполнении операций сборки неразъемных соединений путем расклепывания усилия, прикладываемые к детали, определяют таким образом:

$$F = (2 - 2,5)\sigma_b S, \quad (5.11)$$

где σ_b – предел прочности материала детали на растяжение; S – площадь приложения давления.

Для развальцовки это усилие определяется так:

$$F = \sigma_b S. \quad (5.12)$$

При свободной гибке выводов радиоэлементов усилие выбирается из условия:

$$F_r = \frac{L d^2}{6B} \sigma_T, \quad (5.13)$$

где L – длина линии изгиба; d – диаметр вывода; B – плечо гибки, равное $r+1,25d$, где r – внутренний радиус гибки; σ_T – предел текучести материала выводов.

Рассчитанное усилие, необходимое для работоспособности приспособления, должно быть в 5-8 раз меньше усилия, развиваемого приводом приспособления или технологическим оборудованием. Усилие, развиваемое пневмоприводом:

$$F_{\Pi} = \pi D p \zeta / 4 - F_c, \quad (5.14)$$

где D – диаметр поршня или диафрагмы в пневмоцилиндре; p – давление сжатого воздуха; F_c – усилие сопротивления возвратной пружины в крайнем рабочем положении поршня.

Время срабатывания пневмопривода:

$$t = \frac{D L}{d^2 v}, \quad (5.15)$$

где L – длина хода поршня, для диафрагмы $L = 0,25-0,35D$; d – диаметр воздухопровода; v – скорость подачи воздуха (1500–2500 м/с).

Порядок выполнения занятия

1. Составить эскиз технологической оснастки и определить параметры, подлежащие расчету.
2. Выполнить расчет параметров технологической оснастки по 2–3 вариантам.
3. Выбрать тип привода и рассчитать потребляемую мощность.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ

Теоретические сведения

При статистическом моделировании необходимо: составить содержательное описание процесса; построить формализованную схему процесса; составить моделирующий алгоритм; выбрать методики получения числовых результатов и использовать их для анализа и синтеза технологической системы.

Содержательное описание концентрирует сведения о физической природе и количественных характеристиках элементов исследуемого процесса, о степени и характере их взаимодействия, о месте и значении каждого элемента в общем процессе функционирования технологической системы. Помимо сведений, непосредственно характеризующих процесс, в содержательное описание включаются: постановка задачи в виде четкого изложения идеи предполагаемого исследования, перечня зависимостей, подлежащих оценке по результатам моделирования; числовые значения известных характеристик и параметров процесса в виде таблиц и графиков; начальные условия.

Когда трудно осуществить переход от содержательного описания к математической модели разрабатывается *формализованная схема* сложных процессов. Для ее построения необходимо выбрать показатели процесса, установить систему параметров, характеризующих процесс, строго определить все зависимости между показателями и параметрами процесса с учетом тех факторов, которые принимаются во внимание при формализации. На этом этапе дается точная математическая формулировка задачи исследования. К формализованной схеме прилагается систематизированная и уточненная совокупность всех исходных данных, известных параметров и начальных условий.

Формализация широкого круга производственных процессов сопровождается учетом следующих основных групп факторов: случайных возмущений, случаев появления брака, режима занятости элементов производственного оборудования, надежности оборудования, а также различных состояний, требующих прекращения работы (наладка станков, замена инструмента и т. д.), которые относятся к случайным объектам.

Современным производственным процессам свойственна частичная или полная синхронизация, которая может нарушаться под действием дестабилизирующих факторов. Вследствие этого образуются очереди изделий или происходит простой станков. Они не остаются неизменными, а интенсивно флуктуируют, создавая динамичный режим занятости элементов производственного оборудования. Для математического описания режима занятости оборудования применяются методы теории массового обслуживания. События, связанные с ненадежностью оборудования, рассматриваются как случайные события. Аналогичные

математические схемы применяются для случаев выхода оборудования из рабочего состояния (износ инструмента, разладка станков и т. д.).

Для моделирования процесса, заданного с помощью математической модели, необходимо построить *моделирующий алгоритм* в таком виде, который бы наглядно отражал особенности структуры процесса. Поэтому моделирующий алгоритм представляют в виде операторной схемы, содержащей последовательность операторов, каждый из которых изображает достаточно большую группу элементарных операций.

Вся совокупность операторов, составляющих моделирующий алгоритм, делится на три группы: основные, вспомогательные, служебные. К *основным* относятся операторы, используемые для имитации отдельных элементов исследуемого процесса и взаимодействия, т. е. описывают процессы функционирования реальных элементов системы с учетом воздействий внешней среды. В отличие от них *вспомогательные операторы* не имитируют элементарные акты процесса, а производят вычисления тех параметров и показателей, которые необходимы для работы основных операторов. *Служебные операторы* обеспечивают взаимодействие основных и вспомогательных операторов при моделировании процесса в автоматическом режиме и синхронизацию работы алгоритма, производя фиксацию величин, являющихся результатами моделирования, а также их обработку.

Для изображения операторных схем алгоритмов удобно пользоваться операторами двух принципиально различных классов — арифметическими и логическими. *Арифметические операторы* обозначаются A_{31} , т. е. оператор № 31. Передача управления данному оператору обозначается номером того оператора, от которого передается управление, записываемым вверху слева от символа данного оператора. Запись $^{10,16}A_{18}$ означает, что оператор A_{18} получает управление от операторов № 10 и № 16. Принципиальным свойством любого арифметического оператора является то, что после выполнения соответствующих операций независимо от результатов расчета производится переход к какому-нибудь одному определенному оператору.

Логические операторы предназначены для проверки справедливости заданных условий и выработки признаков, обозначающих результат проверки. Управление в логическом операторе передается одному из двух операторов алгоритма, в зависимости от значения признака, вырабатываемого логическим оператором. Он обозначается $P_{22}^{\uparrow 35} \downarrow 12$, что означает, что логический оператор № 22 передает управление оператору № 35, если условие, проверяемое P_{22} , выполнено, или же оператору № 12, если оно не выполнено.

При моделировании сложных систем используют следующие операторы:

1. Вычислительные операторы, которые являются арифметическими операторами и обозначаются A_i .

2. Операторы формирования реализаций случайных процессов Φ_i для имитации действия различных случайных факторов, сопровождающих исследуемый процесс. Исходным материалом для формирования в ЭВМ реализаций, несущих в себе элемент случайности, обычно служат случайные числа. Их можно полу-

чать различными способами: введением специальных таблиц случайных чисел и выбором из них отдельных чисел по мере надобности; выработкой случайных чисел в самой машине по особым программам. Операторы Φ_i решают задачу преобразования случайных чисел стандартного вида в реализации случайных процессов с заданными свойствами.

3. Операторы формирования неслучайных величин F_i , которые полностью повторяют либо в каком-то смысле имитируют работу вычислительных и управляющих средств реального оборудования.

4. Счетчики, обозначаемые K_i и подсчитывающие количество различных объектов, обладающих заданными свойствами, например количество деталей, прошедших обработку, количество свободных или занятых станков, количество доброкачественных или бракованных изделий и др. Результаты, выдаваемые счетчиком, являются исходными данными для логических служебных операторов, обеспечивающих синхронизацию моделирующего алгоритма.

Для разнообразных ТП трудно представить единый набор конкретных правил и готовых математических схем для формализации. Поэтому удобно расчленить процесс на элементарные акты, которые имеют достаточно простые математические схемы, и построить математическое описание их взаимодействия для создания единого процесса. Такими элементарными актами являются операции. Но в статистическом моделировании используют не реальные операции, а абстрактные, как преобразователи, определяющие изменение значений параметров изделий. Типичными абстрактными операциями являются операции обработки, сборки и управления.

Под *абстрактной операцией обработки* понимают такой элементарный акт производственного процесса, в результате которого меняется значение хотя бы одного из параметров полуфабриката. К таким операциям относят обработку резанием, штамповку, т. е. операции, связанные с изменением размеров и положения в пространстве (повороты, транспортирование), сообщение дополнительного признака (окрашен, проверен) и т. д. Независимо от реальной структуры и назначения любой комплекс производственного оборудования будем для краткости называть станком. Для построения математического описания операции обработки необходимо установить соотношения параметров, характеризующих взаимодействие станка и полуфабриката в процессе обработки.

Пусть момент начала операции обозначается t^H , а ее длительность — $\tau^{оп}$. В рассматриваемой задаче нам известны значения всех параметров α_{ik} полуфабриката как непрерывных, так и дискретных для моментов времени $t \leq t^H$, т. е. до операции. Требуется определить значение α_{ik} параметров полуфабриката для моментов времени $t \geq t^K$, где величина

$$t^K = t^H + \tau^{оп}, \quad (6.1)$$

является моментом окончания операции обработки. Поэтому первой частью математического описания операции обработки должно быть соотношение

$$a_{\Pi k} = f(a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n}, b_1, b_2, \dots, b_m) \quad (6.2)$$

для всех $k = \overline{1, n}$, где β_m — некоторые параметры, характеризующие станок.

В ряде случаев приходится считаться с тем обстоятельством, что $\alpha_{\Pi k}$ представляют собой случайные величины. Случайными могут оказаться параметры станка β_m , да и сама функция $\alpha_{\Pi k}$ флуктуирует случайно при выполнении операции. Поэтому пользуются соотношением

$$a_{\Pi k} = a_{\Pi k}^0 \pm d_{a_{\Pi k}}, \quad (6.3)$$

где $\delta_{\alpha_{\Pi k}}$ — случайные отклонения величины $\alpha_{\Pi k}$ от некоторого неслучайного значения $\alpha_{\Pi k}^0$, заданные соответствующими законами распределения.

Однако последнее не исчерпывает математического описания операции обработки. К нему необходимо добавить зависимости, определяющие режим функционирования станка во времени. Помимо t^H и t^K введем следующие величины: t_j^H — момент поступления j -го экземпляра полуфабриката к станку; τ^r — время, затрачиваемое на подготовку станка к выполнению следующей операции, а также момент готовности станка к выполнению операции:

$$t^r = t^K + \tau^r. \quad (6.4)$$

Существует класс процессов, не имеющих централизованного управления производственных циклов во времени. В этом случае операция может начаться в любой момент, если только выполнены необходимые для этого условия: станок готов к работе и к нему поступил очередной полуфабрикат. Если дополнительные простои исключить, то условие начала операции будет иметь вид:

$$t_j^H = \begin{cases} t_j^H, & \text{если } t_{j-1}^K + t_{j-1}^r \leq t_j^H, \\ t_{j-1}^K + t_{j-1}^r, & \text{если } t_{j-1}^K + t_{j-1}^r \geq t_j^H. \end{cases} \quad (6.5)$$

Любые дополнительные простои могут быть обобщены и включены в τ^r .

При обработке деталей на автоматических линиях режим работы станков жестко синхронизирован и операция обработки может начаться только в моменты времени, кратные τ^r — длительности такта. Операция также может начаться, если станок готов к работе и уже поступил очередной полуфабрикат, т. е.

$$\left. \begin{aligned} & t^K + \tau^r \geq t^H, \\ & t_0 + k\tau^r < t^K + \tau^r \leq t_0 + (k+1)\tau^r. \end{aligned} \right\} \quad (6.6)$$

Исходя из этого можно записать:

$$t^H = t_0 + (k^* + 1)\tau^T, \quad (6.7)$$

где t_0 — начало отсчета времени; $k^* = \overline{0, n}$.

Под *абстрактной операцией сборки* понимают такой элементарный акт производственного процесса над совокупностью полуфабрикатов (один ведущий и несколько ведомых), в результате которого изменяется значение хотя бы одного из параметров ведущего полуфабриката (за счет присоединения к нему ведомых), а соответствующие ведомые полуфабрикаты прекращают свое существование.

Пусть в сборке участвуют ведущий полуфабрикат и n деталей. Параметры их до момента сборки $t \leq t^H$ обозначим для ведущего полуфабриката α_j , а для ведомых $\alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{ik}$. В результате операции сборки получим новую единицу с новыми значениями параметров Π_j . Тогда зависимость параметров изделия после сборки можно представить в виде:

$$\Pi_j = f(\alpha_j, \alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{ik}, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m). \quad (6.8)$$

Рассмотрим некоторые параметры, характеризующие операцию сборки.

1. Момент начала операции t^H связан с моментом t_j^n поступления на сборку ведущего полуфабриката и моментами $t_{i1}^n, t_{i2}^n, \dots, t_{in}^n$ поступления ведомых деталей уравнением:

$$t_j^H = \max \{ t_j^n, t_{i1}^n, t_{i2}^n, \dots, t_{in}^n, t_{j-1}^k + t_{j-1}^r \}. \quad (6.9)$$

Если сборка начинается по мере поступления деталей или по мере готовности оборудования, то этот случай сводится к предыдущему. При этом достаточно процесс расчленить на несколько последовательно выполняемых операций.

Если операция сборки синхронизирована с тактом выпуска продукции, то

$$t_j^H = t_0 + (k^* + 1)t^m, \quad (6.10)$$

где t_0 — начало отсчета; τ^T — длительность ритма сборки.

2. Длительность операции сборки $\tau^{\text{оп}}$ можно представить в виде суммы длительностей последовательных этапов: установки детали на ведущем полуфабрикате τ^y , крепления (пайки) деталей $\tau^{\text{кр}}$ и регулировки сборочной единицы $\tau^{\text{рег}}$:

$$\tau^{\text{оп}} = \tau^y + \tau^{\text{кр}} + \tau^{\text{рег}}. \quad (6.11)$$

3. Время τ^r , затрачиваемое на подготовку сборочного агрегата к следующей операции, является случайной величиной с экспоненциальным законом распределения:

$$f(\tau^r) = \lambda_r e^{-\lambda_r \tau^r}, \quad (6.12)$$

где $\lambda_r = 1/T^r$ — среднее количество подготовок за единицу времени, ч^{-1} .

4. Длительность ритма сборки τ^r — детерминированная неслучайная величина.

5. Момент времени готовности агрегата к выполнению следующей операции:

$$t_j^r = t_{j-1}^k + \tau_{j-1}^r. \quad (6.13)$$

6. Плотность распределения вероятности времени выхода из строя оборудования описывается функцией

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad (6.14)$$

где λ — среднее число отказов за единицу времени; t — время.

Можно также пользоваться средним временем безотказной работы $T_{\text{ср}}$. Для экспоненциального распределения $T_{\text{ср}} = 1/\lambda$.

7. Вероятность брака из-за износа оборудования

$$P^{\text{бр}} = P_0^{\text{бр}} + v(t - t^{\text{нл}})^s, \quad (6.15)$$

где $P_0^{\text{бр}}$ — вероятность брака после наладки; v, s — константы; $t^{\text{нл}}$ — момент последней наладки.

В результате *операций управления* выбирается информация, необходимая для согласования работы отдельных элементов производственного комплекса. Примерами операций управления является регулирование скорости производственного процесса, усилий, температуры, распределения полуфабрикатов между параллельно работающими станками, выработка признаков или возобновление подачи полуфабрикатов к станкам в зависимости от длины очереди, некоторые мероприятия, связанные с контролем производственного процесса и качества продукции. Эту информацию удобно представить в виде поправок $\Delta\beta_m$ к параметрам производственного оборудования. В общем случае соотношение для $\Delta\beta_m$ можно записать в виде:

$$\Delta\beta_{mi} = f(\alpha_{Ii}, \beta_{m,i-1}, \alpha_{IIi}), \quad (6.16)$$

где $\alpha_{Ii}, \alpha_{IIi}$ — параметры полуфабриката, связанные с i -м эталоном производственного процесса соответственно до начала акта и после его окончания.

Построение моделирующего алгоритма операции сборки начинается с описания формализованной схемы. Пусть операцией сборки предусматривается присоединение к ведущему полуфабрикату n деталей. Если в необходимый момент

времени соответствующая деталь имеется, то операция сборки продолжается. Если деталь отсутствует, то операция сборки срывается. Деталь, взятая для присоединения к сборочной единице, подвергается проверке за время $\tau^{пр}$. Она может оказаться бракованной с вероятностью $P^{бр}$ и в этом случае заменяется другой деталью, если такая имеется. Операция сборки может продолжаться лишь ограниченное время. Если операция в норму времени не укладывается, то происходит срыв операции сборки. После окончания операции сборки и получения готового изделия или срыва операции сборки происходит переход к сборке последующего изделия. Процесс продолжается до тех пор, пока $t_j^n < T$, где t_j^n — момент поступления на сборку очередного ведущего полуфабриката; T — период функционирования процесса.

Для моделирования данную операцию сборки (которую в дальнейшем будем называть *составной операцией сборки*) разобьем на совокупность операций с номерами $1, 2, \dots, n$. Каждая i -я операция, полученная при разбиении, заключается в присоединении к сборочной единице лишь одной детали. Длительность i -й операции для j -го узла обозначим $\tau_{ij}^{об}$, а момент ее окончания — $t_{ij}^к$. Если к моменту t_{ij}^* данная операция не закончена, то происходит срыв процесса и j -я сборочная единица исключается из рассмотрения.

Операторная схема моделирующего алгоритма для составной операции сборки имеет вид:

$${}^8\Phi_1 P_{2\downarrow 21} {}^{2,18,20}P_{3\downarrow 9} \Phi_4 K_5 K_6 F_7 F_8^1 {}^3F_9 {}^{9,14}P_{10}^{\uparrow 12} {}^{10,17}K_{11}^{19} {}^{10}K_{12} \Phi_{13} P_{14}^{\uparrow 10} \Phi_{15} A_{16} P_{17\downarrow 11} K_{18}^3 {}^{11}F_{19} K_{20}^3 {}^2A_{21} Y_{22}.$$

Суть работы моделирующего алгоритма (рисунок 6.1) состоит в следующем. Оператор Φ_1 формирует момент поступления на сборку ведущего полуфабриката t_j^n . Величина t_j^n сравнивается с моментом окончания сборочных процессов T (оператор P_2). Если $t_j^n < T$, то моделирование продолжается. В противном случае считается, что время работы истекло, и управление передается оператору A_{21} для обработки полученных результатов моделирования. Оператор P_3 проверяет выполнение условия $i > n$. Пусть $i > n$. Это значит, что сборка данного изделия закончена. Тогда осуществляется переход к новой сборочной единице (оператор F_8) с последующим формированием выходного параметра Π_j (оператор Φ_4), подсчетом количества готовых изделий (оператор K_5), определением номера следующего ведущего полуфабриката, т. е. новой сборочной единицы (оператор K_6) и формированием начала сборки $i = 1$ (оператор F_7). Если же условие, проверяемое оператором P_3 , оказывается невыполнимым, то сборка изделия не закончилась, и переходим к оператору Φ_9 для формирования τ_{ij}^r — времени подготовки оборудования к очередной сборочной операции. Оператор P_{10} проверяет, имеется ли k -я деталь, необходимая для i -й операции сборки ($n_{ki} > 0$). Если детали нет (не поступила с участка обработки), то происходит срыв сборки (как i -й сборочной

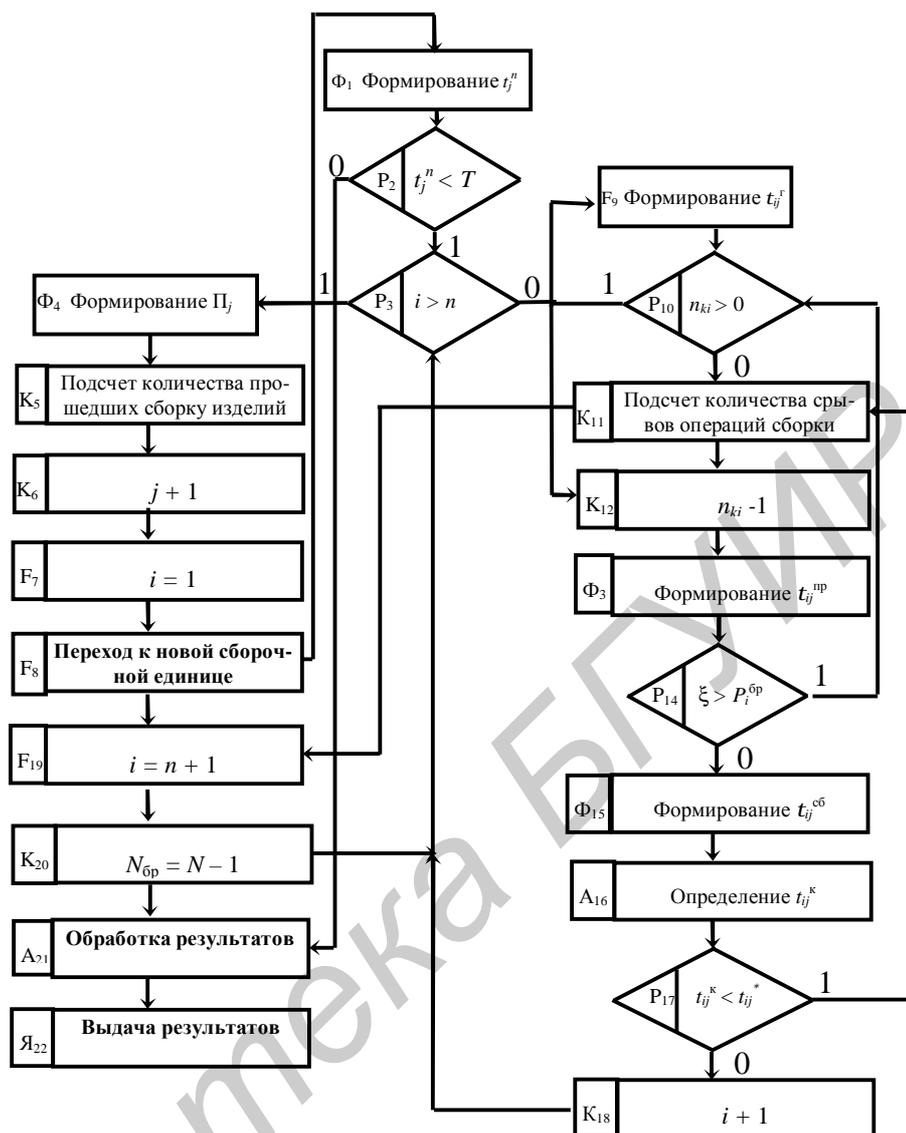


Рисунок 6.1– Моделирующий алгоритм операции

операции, так и j -го изделия в целом) и управление передается оператору K_{11} для подсчета количества срывов, а затем оператору F_{19} .

Оператор F_{19} формирует значение $i = n + 1$ (т. е. имитирует конец сборки), оператор K_{20} вычитает единицу из количества готовых изделий для компенсации действия оператора K_5 , и управление передается оператору P_3 . Поскольку $i > n$ то условно сборка закончена и работа алгоритма будет продолжаться по знакомой цепи $P_3\Phi_4K_5K_6F_7F_8\Phi_1$.

Теперь будем считать, что детали для сборки имеются, т.е. $n_{ki} > 0$ (оператор P_{10}). Оператор K_{12} вычитает единицу из n_{ki} (деталь взята для проверки), а оператор Φ_{13} формирует длительность проверки τ_{ij}^{np} . Затем по жребию (оператор P_{14}) определяется качество детали. Если деталь бракованная, то возвращаемся к оператору P_{10} , с помощью которого выбирается новая деталь. Если деталь годная, то сборка продолжается: оператор Φ_{15} формирует длительность сборки τ_{ij}^{cb} , а оператор A_{16} определяет момент ее окончания t_{ij}^k . Если $t_{ij}^k < t_{ij}^*$ (оператор P_{17}), то осуще-

ствляется переход к оператору K_{18} , который определяет номер следующей операции $(i+1)$, а затем к P_3 . Если это условие не выполнено, то происходит срыв сборки (оператор K_{11}).

Часто приходится сравнивать t_{ij}^* не с t_{ij}^k , свойственным i -й операции, а с t_j^k — моментом окончания составной операции сборки. В этом случае в качестве t_j^k можно взять наибольшее t_{ij}^k и несколько изменить алгоритм. Вместо оператора P_{17} необходимо поставить оператор, обеспечивающий запоминание t_{ij}^k , и оператор сравнения $\max\{t_{ij}^k\}$ с t_{ij}^* , а после оператора P_3 ввести оператор, выбирающий $\max\{t_{ij}^k\}$.

Моделирование ТП сборки электронного модуля на печатной плате проводится в описанной ниже последовательности.

1. На основании ОСТ 4 ГО.054.264-267 операция сборки расчленяется на n операций с одинаковой по возможности длительностью. При расчете длительности учитываются все переходы, связанные с операцией (формовка выводов, установка ЭРЭ, пайка и т. д.).

2. Расчетные значения принимаются за математическое ожидание длительности операции сборки $M(\tau_{ij}^{сб})$. Оценивается масса изделия P_j , и полученное значение принимается за математическое ожидание массы изделия $M(P_j)$.

3. Экспериментально устанавливаются законы распределения случайных величин:

- плотность распределения интервалов между моментами поступления ведущего полуфабриката Δt_j^n подчиняется треугольному закону:

$$f(\Delta t_j^n) = \begin{cases} K(\Delta t_j^n - a_1), & \text{если } a_1 \leq \Delta t_j^n \leq \frac{b_1 + a_1}{2}, \\ -K(\Delta t_j^n - b_1), & \text{если } \frac{b_1 + a_1}{2} \leq \Delta t_j^n \leq b_1, \\ 0, & \text{если } \Delta t_j^n < a_1 \text{ или } \Delta t_j^n > b_1, \end{cases} \quad (6.17)$$

где $K = \frac{4}{(b_1 - a_1)^2}$; математическое ожидание и дисперсия определяются по следующим формулам:

$$M(\Delta t_j^n) = \frac{a_1 + b_1}{2}, \quad \sigma^2 = \frac{1}{24}(b_1 - a_1)^2; \quad (6.18)$$

- плотность распределения длительности проверки качества детали $\tau_{ij}^{пр}$ подчиняется экспоненциальному закону:

$$f(\tau_{ij}^{пр}) = \lambda_{пр} e^{-\lambda_{пр} \tau_{ij}^{пр}}, \quad (6.19)$$

где $\lambda_{\text{пр}}$ — среднее число проверок качества детали за единицу времени: $\lambda_{\text{пр}} = 1/M(\tau_{ij}^{\text{пр}})$; $M(\tau_{ij}^{\text{пр}})$ — математическое ожидание времени проверки;

• плотность распределения длительности операции сборки $\tau_{ij}^{\text{сб}}$ подчиняется нормальному закону:

$$f(\tau_{ij}^{\text{сб}}) = \frac{1}{\sqrt{2ps}} e^{-\left(\frac{t-t_0}{\sqrt{2d}}\right)^2}, \quad (6.20)$$

где τ_0 — математическое ожидание длительности сборки i -й операции $t_0 = M(\tau_{ij}^{\text{сб}})$;

• плотность распределения одного из параметров изделия — массы Π_j — подчиняется равномерностному закону распределения:

$$f(\Pi_j) = \begin{cases} \frac{1}{b_2 - a_2}, & \text{если } a_2 \leq \Pi_j \leq b_2, \\ 0, & \text{если } \Pi_j < a_2; \Pi_j > b_2; \end{cases} \quad (6.21)$$

математическое ожидание для этого закона $M(\Pi_j) = (a_2 + b_2)/2$.

4. Выбирают на основании опытных данных следующие величины:

• относительные допуски на интервалы поступления ведущего полуфабриката:

$$\frac{M(\Delta t_j^{\text{п}}) - a_1}{M(\Delta t_j^{\text{п}})} = \frac{b_1 - M(\Delta t_j^{\text{п}})}{M(\Delta t_j^{\text{п}})} = 1; 2; \dots; 10 (\%), \quad (6.22)$$

где a_1, b_1 — границы изменения параметра;

• продолжительность подготовки к операции: $t_{ij}^{\text{р}} = 1; 2; 3; 4; 5$ с ; выбранное значение принимается за математическое ожидание;

• интенсивность проверки качества деталей: $I_{\text{пр}} = 0, 2; \dots; 0, 5$ (с⁻¹);

• относительное среднеквадратичное отклонение продолжительности сборки:

$$s_{\tau_{ij}^{\text{сб}}} / M(\tau_{ij}^{\text{сб}}) = 2; 4; 6; 8; \dots; 20 (\%); \quad (6.23)$$

• относительные допуски массы изделия:

$$\frac{M(\Pi_j) - a_2}{M(\Pi_j)} = \frac{b_2 - M(\Pi_j)}{M(\Pi_j)} = 2; 4; 6; \dots; 20 (\%), \quad (6.24)$$

где a_2, b_2 — границы изменения параметра;

• вероятности бракованных деталей $P_{kij}^{\text{бп}}$ для транзисторов, диодов и интегральных схем — 0,5; 1,0; 2,5 %, а для резисторов и конденсаторов 0,1; 0,2; 0,3 %.

5. Рассчитывают ритм сборки:

$$\tau^{\text{р}} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n M(\tau_{ij}^{\text{сб}}) + \sum_{i=1}^n M(\tau_{ij}^{\text{р}}) + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{n_{ki}} M(\tau_{kij}^{\text{пр}}) \right). \quad (6.25)$$

Данное значение ритма принимается за математическое ожидание продолжительности интервалов между поступлениями ведущего полуфабриката $M(\Delta t_j^n)$.

6. Рассчитывают:

- количество деталей каждого типа, необходимое для сборки за смену

$$n_{ki}^* = \frac{T}{M(\Delta t_j^n)}; \quad (6.26)$$

- начало операции сборки сборочной единицы

$$t_{ij}^H = \begin{cases} t_{i-1,j}^K, & \text{если } t_{i,j-1}^K < t_{i-1,j}^K, \\ t_{i,j-1}^K, & \text{если } t_{i,j-1}^K \geq t_{i-1,j}^K; \end{cases} \quad (6.27)$$

- конец i -й операции сборки

$$t_{ij}^K = t_j^H + \left(\tau_{ij}^r + \sum_{k=1}^{n_{ki}} \tau_{kij}^{np} + \tau_{ij}^{cb} \right); \quad (6.28)$$

- конец сборки сборочной единицы

$$t_j^K = t_j^H + \sum_{i=1}^n \left(\tau_{ij}^r + \sum_{k=1}^{n_{ki}} \tau_{kij}^{np} + \tau_{ij}^{cb} \right); \quad (6.29)$$

- предельное значение момента сборки i -й операции

$$t_{ij}^* = t_j^H + 1,1 \left(M(\tau_{ij}^r) + \sum_{k=1}^{n_{ki}} M(\tau_{kij}^{np}) + M(\tau_{ij}^{cb}) \right); \quad (6.30)$$

- предельное значение момента сборки j -й сборочной единицы

$$t_j^* = t_j^H + 1,1 \sum_{i=1}^n \left(M(\tau_{ij}^r) + \sum_{k=1}^{n_{ki}} M(\tau_{kij}^{np}) + M(\tau_{ij}^{cb}) \right). \quad (6.31)$$

Порядок выполнения работы

1. В соответствии с электрической схемой (рисунок 6.2) и перечнем элементов (таблица 6.1) составляют технологический процесс сборки. Распределять детали по рабочим местам следует так, чтобы суммарное время ($T_{раб}$), равное МО времени подготовки оборудования + МО времени проверки деталей + МО времени установки деталей, было меньше или равно ритму сборки.

Можно предложить следующий вариант распределения:

на 2-м раб. месте устанавливаются элементы R1-R9 ($T_{раб}=60$ с).

на 3-м раб. месте устанавливаются элементы R10-R19 ($T_{раб}=60$ с).

на 4-м раб. месте устанавливаются элементы C1-C8 ($T_{раб}=60$ с).

на 5-м раб. месте устанавливаются элементы D1,D2,VD1-VD3,VT1-VT3 ($T_{раб}=60$ с).

Также предполагаем следующие операции сборки:

нанесение паяльной пасты – ($T_{раб}=20$ с); ИК-пайка – ($T_{раб}=50$ с);

влагозащита – ($T_{\text{раб}}=30$ с) ; визуальный контроль – ($T_{\text{раб}}=50$ с) ;
 Общее число рабочих мест на участке – 8 .
 Число рабочих мест, где устанавливаются элементы на плату – 4.

2. В таблицы 6.2 и 6.3 следует внести следующие значения:

- МО установки и МО проверки годности каждой детали (с);
- значение половины относительного поля допуска (в %) на каждую операцию установки детали и поступления ведущего полуфабриката;
- вероятности появления бракованной детали;

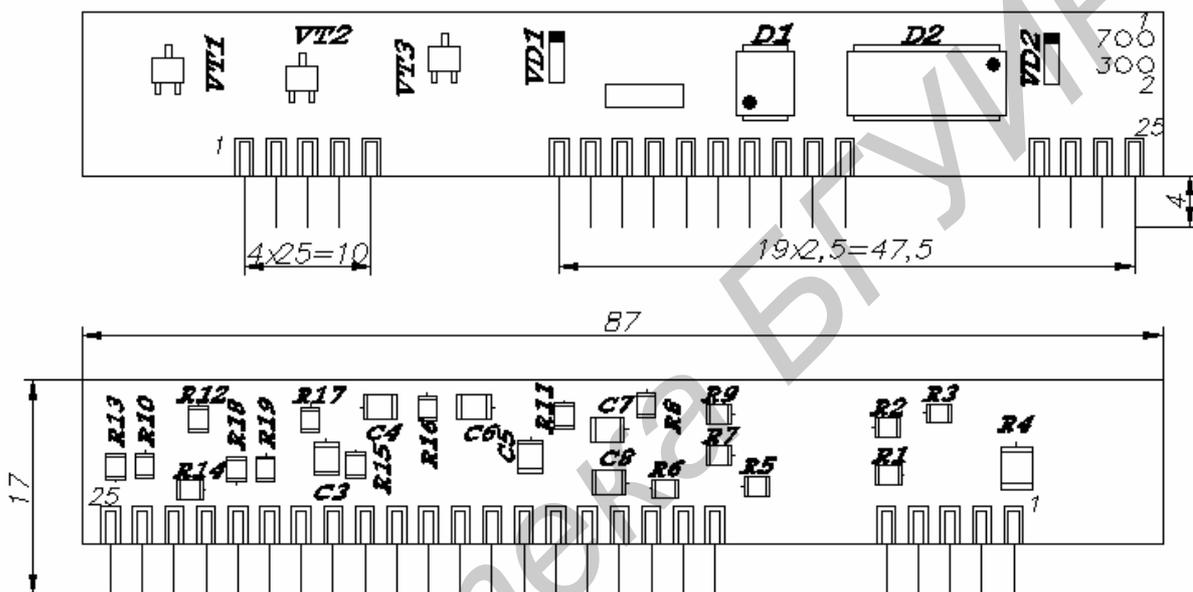


Рисунок 6.2– Схема электронного блока

Таблица 6.1. Перечень элементов

№ позиции	Наименование	Обозначение
1	Гребенка выводная	
2-17	Резистор P1-12	R1- R16
18	Резистор ЧИП 1206	R19
19-20	Резистор P1-12	R17, R18
21	Конденсатор МЧ 2220-2	C1
22-27	Конденсатор МЧ 1206-2	C2-C7,C8
28	Конденсатор МЧ 2220-2	C6
29	Диод LL4448	VD2
30	Стабилитрон 1N822A	VD1
31	Транзистор 2N2221	VT2
32	Микросхема IN311AD	D1
33	Микросхема MC145567 DW	D2

34	Транзистор BD237	VT1
35	Транзистор BD139	VT3

- количество деталей, необходимых за смену по каждому типу деталей;
- МО массы ведущего полуфабриката, каждой детали и изделия в целом;
- значение половины относительного поля допуска (в %) массы ведущего полуфабриката, каждой детали и изделия в целом (в %).

Таблица 6.2. Исходные данные

Тип элемента	Вероятность брака, %	Время установки, с	Время проверки качества, с
ИМС	1	1-2	3
ППП	1	1-2	3
Диоды	0,1	1-2	3
Чип-резисторы	0,1	1-2	3
Чип-конденсаторы	0,1	1-2	3
Программа выпуска изделия, шт.			200 000
Плановый период выпуска изделия, дней			250
Число рабочих мест, на которых производится установка деталей на плату, шт.			6
Общее число рабочих мест, включая пайку, влагозащиту и контроль			10
Сменность работы предприятия			2
Ритм сборки, с			72

Таблица 6.3. Параметры рабочих мест сборки

№ раб. места	Тип элемента	Количество, шт	Время установки, с	1/2 поля допуска установки, %	Время контроля качества, с	Вероятность брака, %	МО массы, г	1/2 поля допуска массы, %	Количество в банке, шт
2	R1-R9	9	1,1	10	3	0,1	1	1	900000
3	R10-R19	9	1,1	10	3	0,1	1	1	900000
4	C1-C8	8	1,1	10	3	0,1	1	1	900000
5	D1,D2,	8	1,1	10	3	0,1	1	1	500000

VT1-VT3, VD1-VD3									
---------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

3. В таблицы 6.4 и 6.5 внести данные о параметрах рабочих мест связанных с обработкой платы после сборки, а также о времени подготовки оборудования по рабочим местам.

Таблица 6.4. Параметры рабочих мест изготовления модуля

Наименование операции	Время, с	1/2 поля допуска времени, %	Вероятность брака, %
Нанесение пасты (1е. р.м)	20	10	1
Пайка(6 р.м.)	50	10	1
Влагозащита(7 р.м.)	30	10	1
Контроль(8 р.м.)	50	10	0
Итого T _{шт} суммарное, с	150		

Таблица 6.5. Время подготовки оборудования для всех рабочих мест

№ рабочего места	МО времени подготовки, с
1	20
2	30
3	30
4	30
5	30
6	50
7	30
8	70
Итого, с	320

4. Выбрать соответствующие исходные данные из табл.6.5 и получить результаты расчета в виде табл. 6.7, а также гистограммы выхода годных изделий по операциям. Проанализировать причины брака по отдельным операциям.

Таблица 6.7. Исходных данные к расчету

Значение относительного допуска на интервалы поступления ведущего полуфабриката в %	50
Значение параметра ведущего полуфабриката (массу печатной платы), г	10
Значение половины относительного поля допуска параметра ведущего полуфабриката (массы) (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 %)	5
Значение контрольного параметра готового изделия. (Сумма масс деталей и ведущего полуфабриката). Данный параметр нужен для оценки правильности сборки и пригодности готового изделия., г	45
Значение половины относительного поля допуска параметра готового изделия, %	10
Время (в часах), в течение которого вы хотите произвести моделирование процесса сборки (8, 16)	16

Таблица 6.8. Результаты расчета

Число полностью собранных изделий, шт	802
Число бракованных собранных изделий, шт	0
Среднее значение массы изделия, г	45
Эмпирическая дисперсия массы изделия	2,35
Общее число срывов сборки изделия	20
Число срывов из-за превышения ритма сборки	1
Число срывов из-за нехватки деталей	0
Число срывов из-за окончания смены	1
Число срывов по причине технологического брака	19
Число бракованных деталей на рабочих местах, шт	21

Операторная схема моделирующего алгоритма
для составной операции сборки

$${}^8\Phi_1 P_{2|21} {}^{2,18,20}P_{3|9} \Phi_4 K_5 K_6 F_7 F_8^1 {}^3F_9 {}^{9,14}P_{10} {}^{12,10,17}K_{11}^{19}$$

$${}^{10}K_{12} \Phi_{13} P_{14}^{10} \Phi_{15} A_{16} P_{17|11} K_{18} {}^{3,11}F_{19} K_{20} {}^{3,2}A_{21} Я_{22}$$

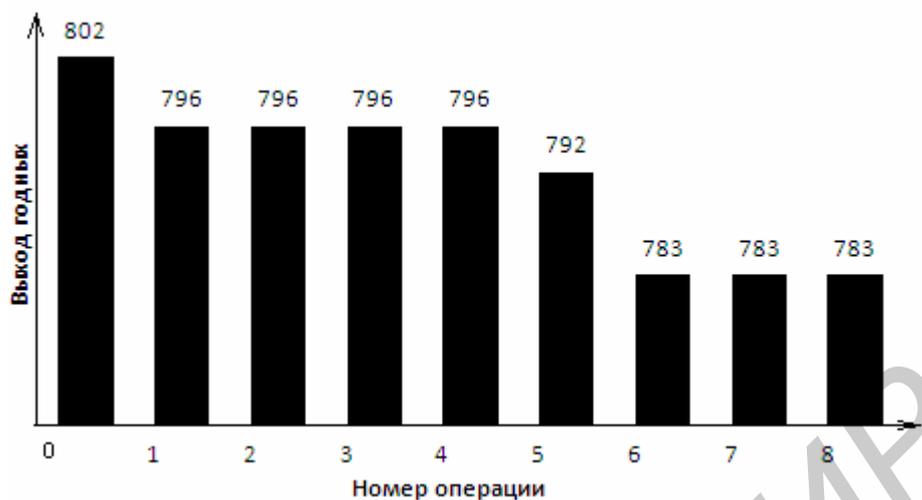


Рисунок 6.3– Гистограмма выхода годных изделий по операциям

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология и автоматизация производства радиоэлектронной аппаратуры : Учебник / И. П. Бушминский [и др.]; под ред. А. П. Достанко, Ш. М. Чабдарова. – М.: Радио и связь, 1989. – 264 с.
2. Достанко, А. П. Технология производства ЭВМ: Учебник / А. П. Достанко, М. И. Пикуль, А. А. Хмыль. – Минск: Выш. школа, 1994. – 347 с.
3. Технология поверхностного монтажа: Учебное пособие / С. П. Кундас [и др.]. – Минск : «Армита – Маркетинг, Менеджмент», 2000.– 350 с.
4. Ланин, В.Л. Практические занятия по дисциплинам Технология РЭУ и автоматизация производства, Конструирование и технология ЭОА, Технология СМЭ / В.Л. Ланин. – Минск: БГУИР, 2001. – 56 с.
5. Технология радиоэлектронных устройств и автоматизация производства: Учебник / А. П. Достанко, В.Л. Ланин, А.А. Хмыль, Л.П. Ануфриев; под общ. ред. А. П. Достанко. – Минск: Выш. школа, 2002. – 415 с.
6. Проектирование и производство РЭС. Дипломное проектирование: Учеб. пособие / А. П. Достанко [и др.]. – Минск: БГУИР, 2006. – 219 с.
7. Медведев, А.М. Сборка и монтаж электронных устройств / А.М. Медведев.– М.: Техносфера, 2007. – 256 с.
8. Сайт компании Остек www.ostek-smt.ru.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ И МОНТАЖА ЭЛЕМЕНТОВ

Наименование	Тип, условный шифр	Тип ЭРЭ, ИМС	Производительность шт/час	Габаритные размеры, мм
1	2	3	4	5
ЭРЭ С ОСЕВЫМИ ВЫВОДАМИ				
Полуавтомат подготовки резисторов и диодов	ГГ-2420	П-образная формовка резисторов С2 (0,125-1,0, диодов 2Д 503,504	3000	600x500x800
Полуавтомат формовки выводов ERSA	ТР6/PR-B	Зиг формовка компонентов с осевыми выводами россыпью и из ленты	5000/ 25 000	180x230x210
Полуавтомат формовки выводов ERSA	ТР6/V-PR	Зиг формовка компонентов с осевыми выводами для вертикальной установки	25000	180x230x210
Полуавтомат формовки UNITRA	PK-R-707	ЭРЭ с осевыми выводами и установочными размерами 5-40 мм	5000	480x230x220
Полуавтомат формовки H.Streckfueck	C-043	ЭРЭ с осевыми выводами диаметром 2-15мм, длина 6-15 мм, устан. размер 7,5-50 мм	7000	
ЭРЭ С ОДНОНАПРАВЛЕННЫМИ ВЫВОДАМИ И ИМС				
Полуавтомат подготовки диодов	ДМВМ 2.241.00 6	Диоды Д223, П-образная формовка в установочный размер 20 мм	4500	900x850x900
Полуавтомат рихтовки и обрезки выводов транзисторов	ГГ-2293	МП42, МП416, ГТ309	300	295x215x275
Автомат подготовки транзисторов	2.241.009	Транзисторы КТ 315, установочный размер 2,5 мм	1500	1700x450x1200
Автомат формовки выводов микросхем	ГГ-2629	Корпуса 101 МС 14-1,401,403	1200	900x400x1500
Автомат формовки (СССР)	А Ф3-1	Транзисторы КТ1-КТ26. Конденсаторы К-10-7В с устан. Размером 5-30 мм	6000	800x500x600
Полуавтомат формовки UNITRA (Польша)	PK-R-042	Конденсаторы КТ1-КТ12, КМ5 с установочным размером 5-30 мм	2000	360x470x400
Полуавтомат подготовки ИМС	ГГ-2125	Корпуса типа 301.12-1;301.8-1	300	335x300x305
Автомат комплексной подготовки микросхем	АКПМ-020	ИМС типа 401.14. Формовка, лужение, напресовка припоя	900	1650x640x1450
Полуавтомат формовки выводов ИМС	ИСМ 83	Формовка и обрезка выводов ИМС в корпусе DIP	300-8000	500 × 330 × 550
УСТАНОВКИ ЛУЖЕНИЯ				
Установка лужения ИМС	ГГ-2630	ИМС типа 401.14	1200	1200x400x1400

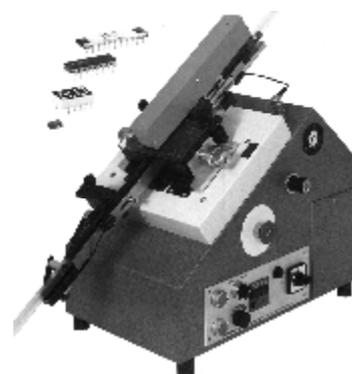
Автомат лужения микросхем	АЛМ-1	ИМС типов 429.42, 402.16, 405.24, 244.46	600	920x700x1500
Автомат лужения ЭРЭ с осевыми выводами	ДМВМ 2,241,003	Резисторы типа С2, конденсаторы МБМ и др.	3500	800x550x1300
СВЕТОМОНТАЖНЫЕ СТОЛЫ				
Стол программной сборки	ТРЕК	ЭРЭ из 80 ячеек на плату 410x410 мм	500–.600	2800x2100
Светомонтажный стол Logpoint	6235	ЭРЭ из 120–280 ячеек на плату 280x200 мм	1000	1400x850
Светомонтажный стол	ТС-1400	ИМС из 30 ячеек на плату 410x250 мм	500	1760x600
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УСТАНОВКИ ЭРЭ И ИМС				
Полуавтомат	УР-5	Установка ЭРЭ с осевыми выводами на плату и их подгибкой: резисторы С2-23 0,125-0,5; диоды Д9, конденсаторы КМ	2500	500x700x500
Полуавтомат	УР-6	ЭРЭ с осевыми выводами	4800	110x730x1370
Полуавтомат	УР-7	Транзисторы типа КТ306	2400	500x500x500
Полуавтомат	УР-10	Установка ЭРЭ и ИМС на плату: резисторы С2-23 0,125-1,0; диоды Д9, ИМС201.14-1. Размер платы до 250x160 мм	4800	1100x730x1370
Автомат	"Трофей"	ЭРЭ с осевыми выводами	9000	1650x1500x1500
Автомат–секвенсор Universal	6380В radial 8ХТ	Высокопроизводительная установка компонентов с радиальными выводами, включая транзисторы, светодиоды, разъемы, с шагом 2,5 мм на поле до 508x470 мм	21 000	



6380B radial 8XT



Logpoint



ICM 83

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПАЙКИ И ОЧИСТКИ			
Наименование	Характеристика	Скорость движения конвейера, м/мин	Габаритные размеры, мм
Автомат пайки микросхем АРГМ	Микросхемы в корпусе 401.14, 50 шт в кассете, 30 кассет. Производительность - 400 шт/ч	-	1400x850x1020
Автомат сборки плат АСП 902П	Установка и пайка ИМС в корпусе 401.14-3,4 на платы групповым паяльником. Производительность - до 800 шт/ч	-	1380x830x1300
Установка пайки волной УПВ- 903Б	Пайка плат волной припоя с шириной до 300 мм. Механический нагнетатель припоя, пенное флюсование	0,5-3,0	2020x700x1460
Установка пайки Astra-300 Hollis Engineering (США)	Пайка плат широкой волной припоя (до 400 мм). Воздушный нож для удаления излишков припоя.	0,5-5,0	3600x1067x1620
Установка пайки 6TF /160 Kirsten (Швейцария)	Пайка плат шириной до 160 мм. Электромагнитный нагнетатель припоя. Настольное исполнение	0,3-3,0	2300x680x560
Установка пайки Econopak-229 Electrovert (Канада)	Пайка обычных и чиповых элементов двойной волной припоя шириной до 380 мм. Микропроцессорное управление	0,3-3,0	4267x1700x1910
Установка пайки ETS-250 ERSA	Пайка смешанного монтажа на платах шириной до 250 мм с ИК подогревом в серийном производстве	0,3-3,0	2300x580x560
Установка пайки EWS-400 ERSA	Пайка смешанного монтажа на платах шириной до 400 мм в инертной атмосфере и в крупносерийном производстве	0,3-4,0	
Линия промывки плат ЛПП-90 1	Групповая 4-стадийная отмывка плат в растворителях. Мощность - 30 кВт	0,1-1,2	3200x900x1400
Линия промывки плат Адуарак	Многостадийная отмывка плат после пайки. Число ванн - 2 - 5	2-6	5000x600x1100



ETS-250



EWS-400

ПРИЛОЖЕНИЕ В

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА		
Наименование	Назначение	Технические характеристики
Установка трафаретной печати Трасса-43025 НПП «Радуга»	Ручное нанесение паяльной пасты через металлические шаблоны ракелем	Рабочее поле 200x300 мм. Скорость движения ракеля – 3,8-15,2 мм/с
Полуавтомат трафаретной печати SP-20	Нанесение паяльной пасты в полуавтоматическом режиме. Ручная загрузка-выгрузка плат	Рабочее поле до 521x470 мм. Скорость движения ракеля - 9,5-12,7 мм/с
Полуавтомат трафаретной печати SPM	Нанесение паяльной пасты в полуавтоматическом режиме. Встроенная система управления, система технического зрения	Рабочее поле до 508x406 мм. Скорость движения ракеля - 6,35-12,7 мм/с
Автомат трафаретной печати UImprint 2000	Нанесение паяльной пасты в автоматическом режиме: загрузка и выгрузка плат, совмещение, контроль качества.	Производительность - до 300 шт/ч. Компоненты - от чип до микросхемы PLCC
Полуавтомат трафаретной печати ERSA 248	Обеспечивает высокую точность нанесения паяльной пасты и гибкость в управлении	Рабочее поле - до 500x400 мм. Скорость движения ракеля – 10-70мм/с
Автомат трафаретной печати INFINITI	Высокая скорость и точность	Рабочее поле - до 510x508 мм. Скорость движения ракеля – 20-150мм/с
Манипулятор Трасса-4301 НПП «Радуга» Россия	Ручная установка компонентов на платы вакуумным пинцетом, перемещаемым по осям x/y/z	Рабочее поле 200x300 мм. Производительность 600–1000 шт/ч
Манипулятор LM901 (Philips, Holland)	Ручная установка компонентов на платы, автоматическое включение вакуума при захвате	Габариты платы - до 440x245 мм. Производительность - до 1000 шт/ч. Количество типонаминалов - до 1500
Полуавтомат SM902 (Philips, Holland)	Установка компонентов по программе с 2- координатным механизмом наведения головки	Производительность - 1,5-2,4 тыс. шт/ч. Количество типонаминалов - до 32
Установка монтажа SMD ЭВ-8317-2М Беларусь	Установка компонентов 0603, 0805, 1206, SOT23, SOD 110	Производительность - 2,0 тыс. шт/ч. Количество типонаминалов - до 40/ Габариты 890x980x1350 мм
Полуавтомат ECM96 (Philips, Holland)	Полуавтоматическая установка компонентов на платы. Техническое зрение с 2 камерами	Производительность – до 3500 шт/ч. Питатели –ленты, кассеты, матричные поддоны
Автомат монтажа SMD ЭМ-4425 Беларусь	Автомат монтажа SMD на платы размером до 250x 350 мм с одной головкой и техническим зрением	Производительность – до 4500 шт/ч. 64 питателя из ленты. Габариты 700x800x850 мм
Автомат MT-D(NM-2501) (Panasonic, Japan)	Автоматическая установка компонентов с шагом до 0,5 мм и возможностью гибкой наладки	Компоненты – от чип до PLCC 40x40 мм' Производительность до 10000 шт/ч
Автомат МСМIII	Автоматическая установка ком-	Производительность – до

<i>(Philips, Holland)</i>	понентов с возможностью гибкой переналадки и управлением от ПЭВМ	12000 шт/ч. Компоненты – чип, ИМС. Габариты платы – до 450x450 мм
Автомат HSI80 <i>(Siemens, Germany)</i>	Автоматическая установка компонентов с возможностью гибкой переналадки и управлением от ПЭВМ	Производительность – до 10000 шт/ч. Компоненты – чип, SOT –23, SOT –89. Габариты платы-до 380x210 мм
Установка ИК конвекционной пайки Трасса-5610	Ширина конвейера 250 мм, 5 зон нагрева,	Скорость конвейера 0,50–2,5 м/мин. Габариты 1630x465x180 мм
Установка ИК пайки Радуга-21М	Ширина конвейера 400 мм. Компьютерное управление температурным профилем	Скорость конвейера 0,15–2,5 м/мин. Габариты 2000x770x1150
ИК печь конвекционного оплавления Omni Flex Electrovert	Ширина конвейера 300–500 мм, 7 зон нагрева, 2 охлаждения, для плотного двухстороннего смешанного монтажа	Скорость конвейера 0,5–3,5 м/мин. Габариты в плане 4940x1168



ЭМ-4425



Манипулятор LM901



Радуга-21



Omni Flex



Рабочее место контроля VS8

Пример заполнения первого листа маршрутной карты

							БГУИ.01188.00001	7	1										
							БГУИ.406124.001	---	БГУИ.10188.00001										
							Контроллер			О									
							В	Цех	Уч	РМ	Опер	Код, наименование операции							
							Г	Обозначение документа											
							Д	Код оборудования			Наименование, модель оборудования								
							Е	СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт.	Тп.з.	Тшт.	
							Л/М	Наименование детали, сборочной единицы или материала											
							Н/М	Обозначение, код			ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н.расх				
							01												
							В02			1		005	0200 Входной контроль деталей						
							Г03	БГУИ.60102.00012, ИОТ при контроле плат, микросхем и радиоэлементов											
							Д04	Стол рабочий ОМ-1971											
							Е05	03		12920	3		1	1		5		11,21	
							06												
							В07				2		010	8879 Комплектование					
							Г08	БГУИ.30188.00010, ИОТ при комплектовании, упаковке и распаковке изделий											
							Д09	Стол рабочий ОМ-1971											
							Е10	03		12837	2		1	1	1	1,0	5	5,0	
							Т11	Тара технологическая											
							12												
							В13				3		015	8531 Формовка и обрезка выводов ЭРЭ					
							Г14	БГУИ.25185.00014, ИОТ для слесаря-сборщика радиоаппаратуры											
							Д15	Стол рабочий ОМ-1971											
							Е16	03		18596	3		1	1	1	1,0	10	13,25	
							Т17	Приспособление для формовки и обрезки											
							18												
							В19				5		020	8870 Установка и пайка резисторов					
							Г20	БГУИ.25188.00012, ИОТ для слесаря-сборщика радиоаппаратуры											
							Д21	Стол рабочий ОМ-1971											
							Е22	03		14544	4		1	1	1	1,0	5	7,56	
							О23	Установка и пайка припоем ПОС-61 ГОСТ 21931-76 резисторов R50...R65,											
							24	R72...R76 на плату согласно чертежу											
							Т25	Кусачки монтажные ГОСТ 24244-87											
							Т26	Паяльник ПВНРС 65-42											
							27												
							28												
													Разраб.	Егоров И.В.					
													Проверил	Бондарик В.М.					
													Т. контроль	Ланин В.Л.					
													Согл. БМН						
							Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Н. контр.	Сидоров А.Н.						
							МК												

Пример заполнения второго листа маршрутной карты

		БГУИ.406124.001				---		БГУИ.10188.00001				7						
		В	Цех	Уч	РМ	Опер	Код, наименование операции											
		Г											Обозначение документа					
		Д					Код оборудования							Наименование, модель оборудования				
		Е	СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт.	Тп.з.	Тшт.					
		Л/М											Наименование детали, сборочной единицы или материала					
		Н/М					Обозначение, код		ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н.расх					
		01																
		В02	26		125		0310 Визуальный контроль											
		Г03	БГУИ.25103.00034, ИОТ для контролеров															
		Д04	Стол рабочий ОМ-1971															
		Е05	03	13460	5	1	1	1	1,0	3	24,0							
		Т06	VS8 63669/0.12					Рабочее место визуального контроля										
		Т07	Пинцет ГОСТ 21241-															
		О08	1.Извлечь плату из тары и установить на приспособление.															
		О09	2.Осуществить визуальный контроль качества сборки изделия.															
		010	3.Сделать отметку в сопроводительных документах.															
		11																
		12																
		13																
		14																
		15																
		16																
		17																
		18																
		19																
		20																
		21																
		22																
		23																
		24																
		25																
		26																
		27																
		28																
		29																
		30																
		31																
		32																
			МК															

Учебное издание

СБОРОЧНО-МОНТАЖНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Методическое пособие к практическим занятиям по дисциплинам
«Конструирование и технология электронных систем», «Технология РЭС»,
«Технология средств медицинской электроники»

для студентов специальностей

36 04 01 «Электронно– оптические системы и технологии»
39 02 02 «Проектирование и производство РЭС»
39 02 01 «Моделирование и компьютерное проектирование РЭС»
39 02 03 «Медицинская электроника»

Ланин В.Л.
Костюкевич А.А
Достанко А.П.
Хмыль А.А.

Редактор
Корректор

Подписано в печать	. .2006.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».		Печать ризографическая.	Усл. печ. л.
Уч.- изд. л.		Тираж 120 экз.	Заказ.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ № 02330/0056964 от 01.10.2004. ЛП № 02330/0131666 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6.