

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования

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

Кафедра электронной техники и технологии

СБОРОЧНО-МОНТАЖНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Допущено УМО вузов Республики Беларусь в области информатики и радиоэлектроники в качестве учебно-методического пособия для студентов специальностей

«Электронно-оптические системы и технологии»

«Моделирование и компьютерное проектирование РЭС»

«Проектирование и производство РЭС», «Медицинская электроника» учреждений, обеспечивающих получение высшего образования

Минск 2008

УДК 621.396.69(075.8)

ББК 32.844 – 04 я 73

Л 22

Авторы:

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

Рецензенты:

член–корреспондент НАН Беларуси, д.т.н., профессор *Ф.И. Пантелеенко*,
д.т.н., профессор *Л.П. Ануфриев*

Л 22 Сборочно-монтажные процессы: учебно-методическое пособие к
практическим занятиям по дисциплинам «Конструирование и технология
электронных систем», «Технология РЭУ», «Технология РЭС»,
«Технология средств медицинской электроники» для студ. спец. 36-04-01
«Электронно - оптические системы и технологии», 39-02-01
«Моделирование и компьютерное проектирование РЭС», 39-02-02
«Проектирование и производство РЭС», 39 02 03 «Медицинская
электроника» / В. Л. Ланин [и др.] – Минск : БГУИР, 2008. – 67 с.
ISBN 978-985-488-285-7

Пособие содержит 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 978-985-488-285-7

© 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 процесса16

Практическое занятие №4

Разработка операционной технологии и оформление комплекта технологических документов на процесс сборки электронного блока21

Практическое занятие №5

Проектирование линии и участка сборки27

Практическое занятие №6

Проектирование и расчет технологической оснастки.....35

Практическое занятие №7

Статистическое моделирование технологического процесса сборки.....40

ЛИТЕРАТУРА.....55

ПРИЛОЖЕНИЕ А.....56

ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....58

ПРИЛОЖЕНИЕ В.....59

ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....61

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 φ_i , определяемую в зависимости от его порядкового номера в группе (таблица 1.1)

Таблица 1.1 – Весовые характеристики коэффициентов технологичности

i	φ_i	i	φ_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

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

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 электрорадиоэлементов (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 $N_{ЭРЭ\ скв}$ и $N_{ЭРЭ\ пм}$ – соответственно количество ЭРЭ обычного сквозного и поверхностного монтажа;

$N_{н\ скв}$ и $N_{н\ пм}$ – 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	$K_{АП}$	1,0
2	Коэффициент автоматизации установки ЭРЭ	$K_{АУ}$	1,0
3	Коэффициент снижения трудоемкости сборки и монтажа	$K_{Т\ СБ}$	0,8
4	Коэффициент автоматизации операций контроля и настройки	$K_{АКН}$	0,5
5	Коэффициент повторяемости ЭРЭ	$K_{пов\ ЭРЭ}$	0,3
6	Коэффициент применения типовых техпроцессов	$K_{ТП}$	0,2
7	Коэффициент сокращения применения деталей	$K_{СПД}$	0,1

Коэффициент автоматизации установки ЭРЭ, подлежащих пайке:

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

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

$$N_{АУ} = N_{скв} + N_{пм} \quad (1.5)$$

где $N_{скв}$ и $N_{пм}$ – соответственно количество ЭРЭ, монтируемых в отверстия платы, и поверхностного монтажа, устанавливаемых на плату автоматизированными способами. Значения величин $N_{скв}$ и $N_{пм}$ определяются следующим образом.

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

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

Аналогично рассчитывают и $N_{скв}$.

Коэффициент снижения трудоемкости сборки и монтажа равен

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

где $N_{ВМ}$ – число, характеризующее вид монтажа, определяемое по таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Выбор вида монтажа

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

Коэффициент автоматизации операций контроля и настройки:

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

где N_{AT} – число автоматизированных операций внутрисхемного тестирования модуля;

N_{AF} – число автоматизированных операций 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:

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

где $N_{Т \ ЭРЭ}$ – 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 $N_{Т \ ЭРЭ}$ определяется по спецификации к 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:

$$K_{спд} = 1 / D, \quad (1.11)$$

где D – количество деталей в модуле (без учета нормализованного крепежа). Количество деталей D определяется по спецификации.

Для определения базового значения комплексного показателя вычисляется количество ЭРЭ обычного и поверхностного монтажа в партии изготавливаемых модулей:

$$N_{СКВ} = N N_{ЭРЭСКВ}, \quad N_{ПМ} = N N_{ЭРЭПМ}, \quad (1.12)$$

где N – объем партии изготавливаемых модулей.

Базовое значение комплексного показателя равно

$$K_B = (K_C N_{СКВ} + 0,8 N_{ПМ}) / (N_{СКВ} + N_{ПМ}), \quad (1.13)$$

где $K_C = 0,55$, если $N_{СКВ} < 50\,000$, и $K_C = 0,70$, если $N_{СКВ} \geq 50\,000$.

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

$$K_{УТ} = K / K_B. \quad (1.14)$$

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 следующее:

- 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 Рассчитать базовое значение комплексного показателя.
- 5 Рассчитать уровень технологичности конструкции электронного модуля. Если $K_{yT} < 1$, 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 интегральных микросхем (ИМС) в изделия 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.

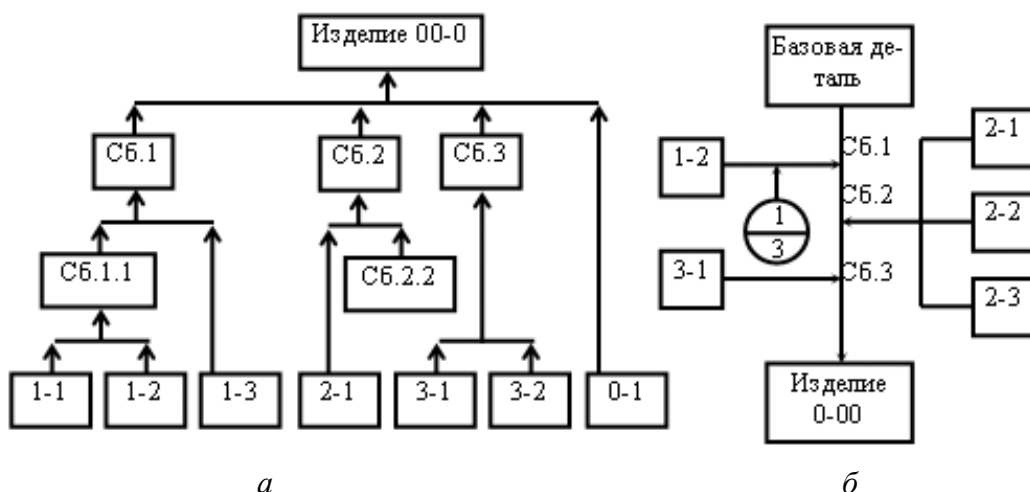
Технологическая схема сборки изделия является одним из основных документов, составляемых при разработке ТП сборки. Она разрабатывается на основе схемы сборочного состава, при разработке которой руководствуются следующими принципами:

- 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.



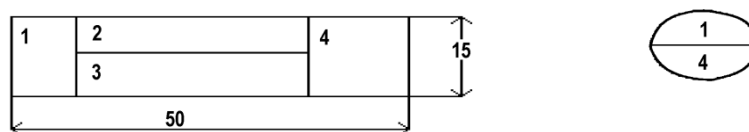
а – «веерного» типа; б – с базовой деталью

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 заключают в прямоугольник, ограниченный

штриховой линией, а место их выполнения указывают наклонной стрелкой, направленной в точку пересечения осей сборки.



а
б
а – детали и сборочные единицы; б – крепеж

Рисунок 2.2 – Условные обозначения на технологической схеме сборки

Также 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).

Содержание технологической схемы сборки электронного блока определяется его конструкцией. При наличии в конструкции изделия 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 ПМ-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 – на обратной стороне.

Технологический процесс сборки модуля типа 1 начинается с нанесения (чаще всего методом трафаретной печати) припойной пасты на контактные площадки (рисунок 2.4). 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 стороне печатной платы, повторно подвергаются нагреву. Однако вследствие действия сил поверхностного натяжения в припойной пасте они остаются на своих местах.

Технологический процесс сборки модуля типа 2 является комбинацией процессов сборки типов 1 и 3 и использует все операции, характерные для этих типов (рисунок 2.5). 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 2.6). Она выполняется на серийном оборудовании. Далее плата переворачивается и на места установки ПМК наносится адгезив.

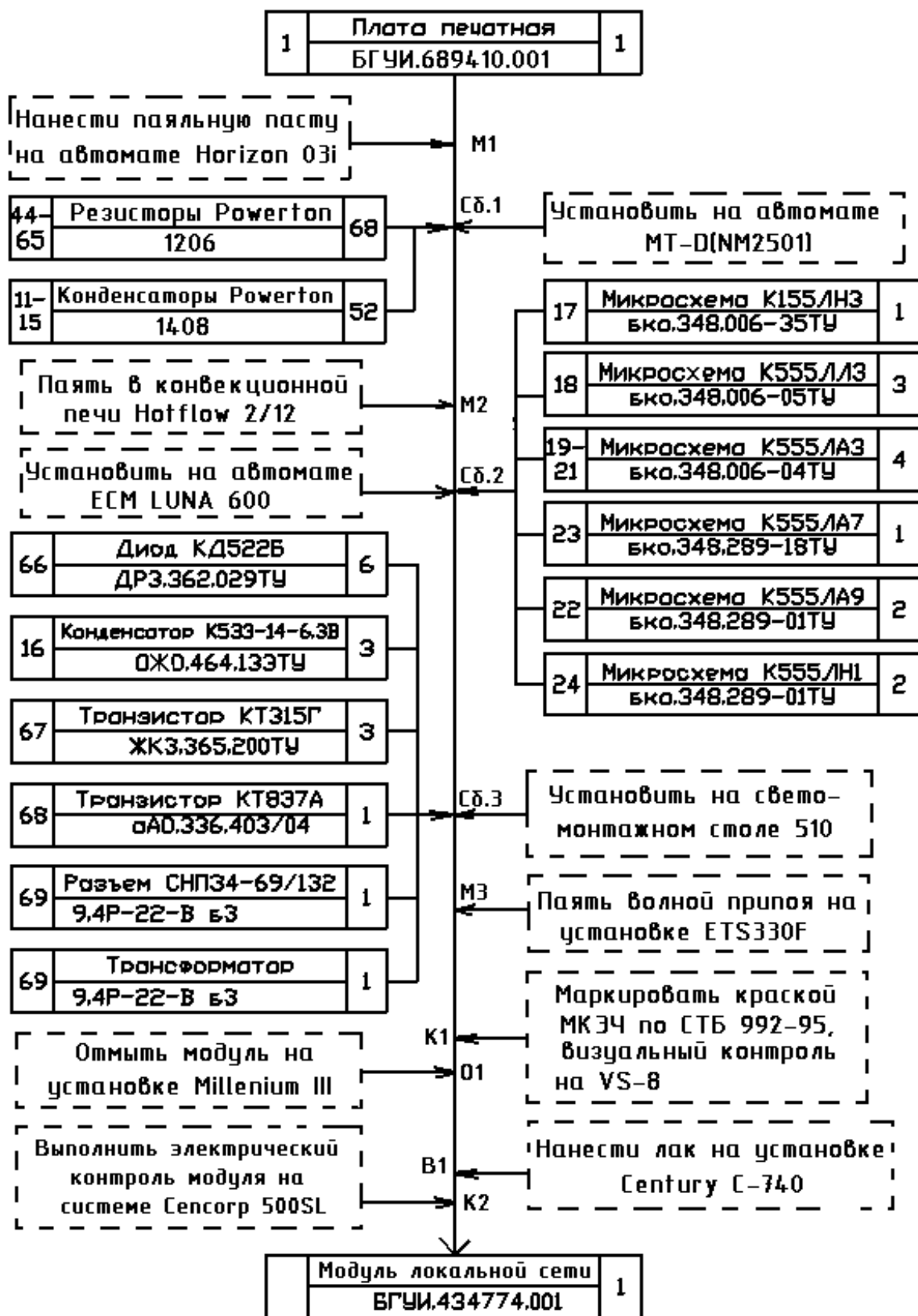


Рисунок 2.3 – Технологическая схема сборки электронного блока

С помощью автоматических укладчиков устанавливаются ПМК 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. Заключительные 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.

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

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

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

Действительный фонд времени за плановый период определяется как:

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

где C – количество рабочих смен; D – количество рабочих дней за плановый период; K_p – коэффициент регламентированных перерывов ($K_p = 0,95$).

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

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

где Π – производительность единицы оборудования, шт/час;

n – количество собираемых электрорадиоэлементов.

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

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

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

После разработки технологической схемы сборки проводят расчет следующих коэффициентов:

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

$$E_{cp} = E / (k - 1), \quad (2.5)$$

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

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

где m_i – число групп, подгрупп, сборочных единиц.

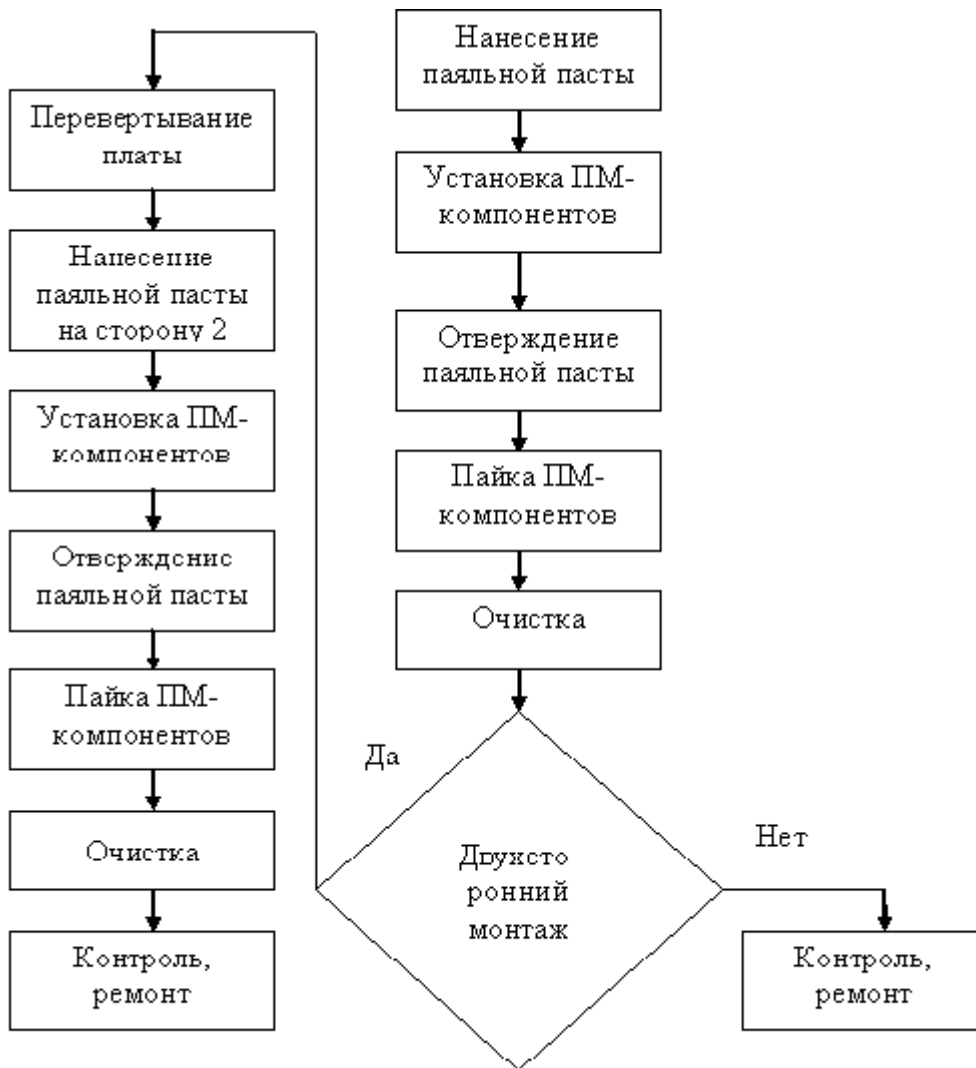


Рисунок 2.4 – Схема технологического процесса сборки модуля типа 1

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:

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

где k – показатель качества точности;

q – число сборочных единиц данного качества точности.

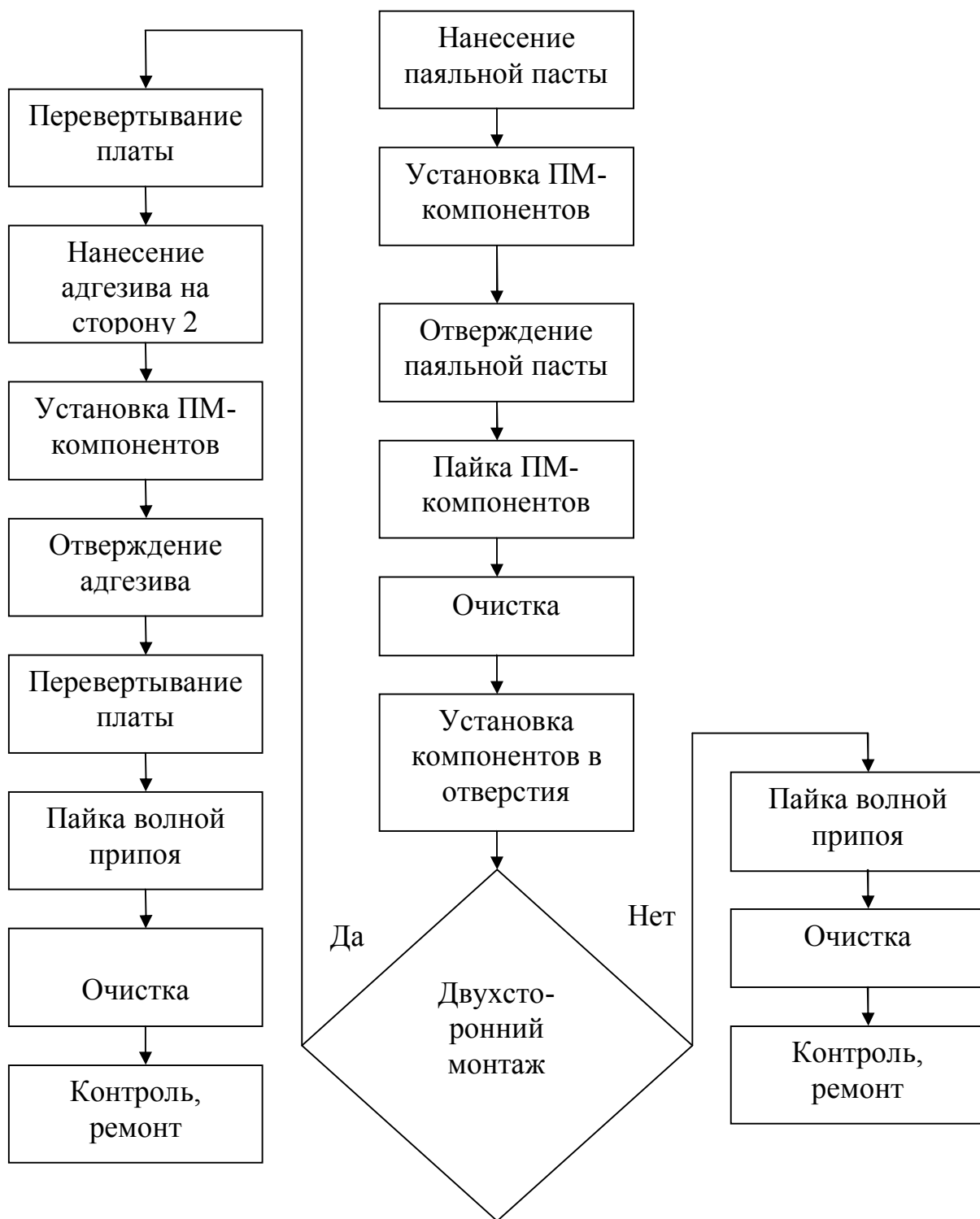


Рисунок 2.5 – Схема технологического процесса сборки модуля типа 2

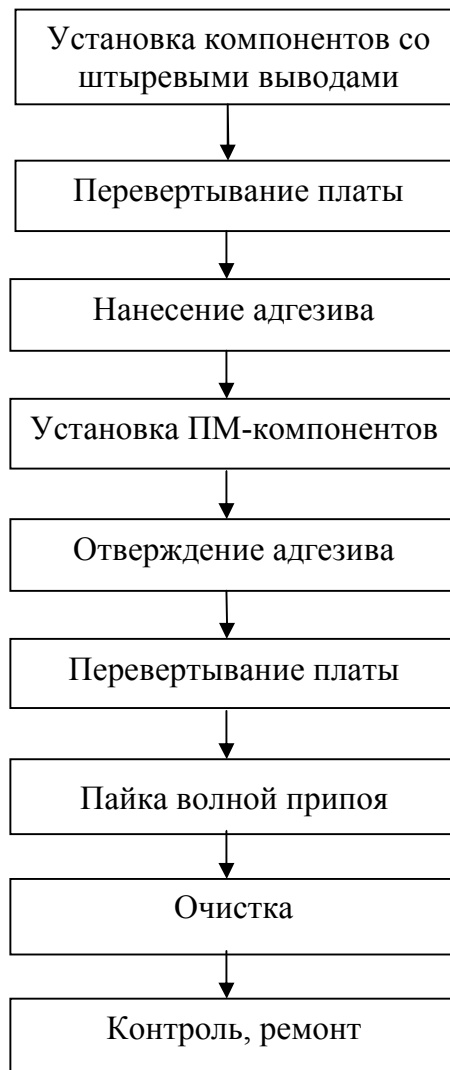


Рисунок 2.6 – Схема технологического процесса сборки модуля типа 3

4 Коэффициент сборности изделия:

$$K_{сб} = E/(E+D), \quad (2.9)$$

где D – количество деталей.

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_B .
- 5 Разработать технологическую схему сборки.
- 6 Внести в 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 (развальцовка, склеивание 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 выборе оптимального варианта ТП используют технико-экономические критерии — *экономичность* и *производительность*.

Экономичным считается процесс, который при заданных условиях обеспечивает минимальную технологическую себестоимость. Производительность соответствует 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 $T_{шт}$ – штучное время, которое затрачивается на каждое изделие;
 $T_{п-з}$ – подготовительно-заключительное время, затрачиваемое на ознакомление с чертежами, получение инструмента, на подготовку и наладку оборудования на всю программу выпуска;
 N – программа выпуска изделий.

Штучное время 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.

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

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

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

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

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

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 – Примерные нормы подготовительно-заключительного времени

Тип оборудования	$T_{п-з.см}, \text{МИН}$
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 ритму 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 3.1).

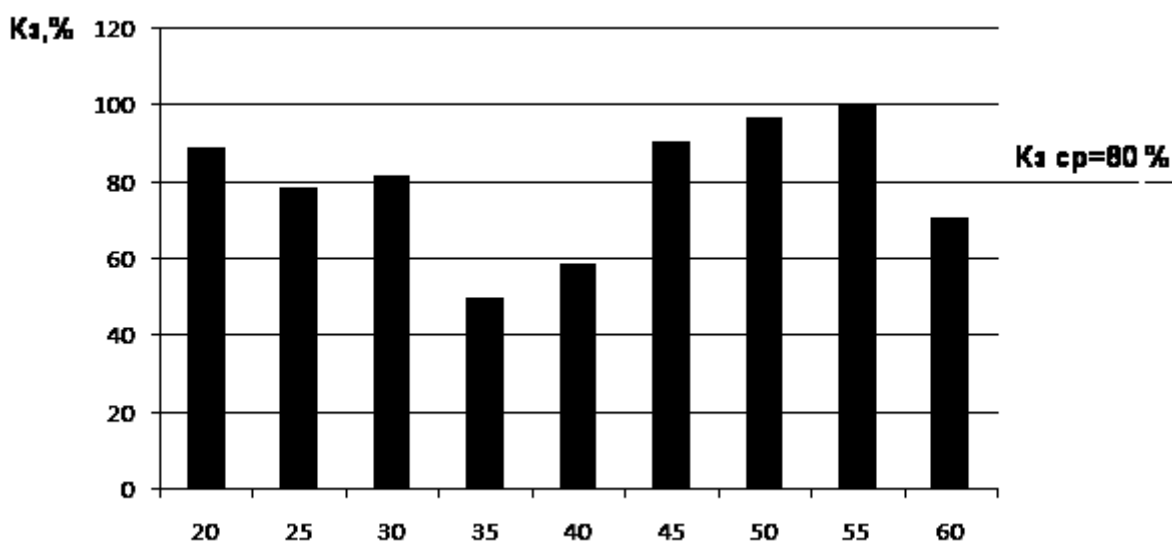


Рисунок 3.1 – График загрузки оборудования на линии

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 техническим характеристикам, приведенных в приложениях А – В.
- 3 Рассчитать трудоемкость операций для каждого из вариантов маршрутного ТП сборки, 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.
- 6 Рассчитать коэффициенты загрузки оборудования по вариантам и определить средний коэффициент загрузки для участка.

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

№ операции	Наименование операции	Оборудование, оснастка	$T_{опер,}$ М.	$T_{шт,}$ М.	$T_{п-з,}$ М.	$T_{шт-к,}$ М.
Итого:						

Таблица 3.5 – Результаты расчета трудоемкости 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	Механосборочная	Стол монтажный СМ-3, электроотвертка	1,5	1,4	—	Стол монтажный СМ-3, электроотвертка	1,5	1,4	—
10	Подготовка ЭРЭ к монтажу	Стол монтажный СМ-3, приспособление для формовки и обрезки выводов	1,5	1,4	—	Стол СМ-3, приспособление для формовки и обрезки выводов	1,5	1,4	—
15	Установка ЭРЭ на плату	Полуавтомат УР-10	0,8	0,74	20	Стол СМ-3, пинцет Пг7879-4512	10	9,2	—
20	Пайка волной припоя	Установка пайки Hollis Engineering Astra-300	0,3	0,3	55	Установка пайки ЛПМ-300	0,5	0,46	50
25	Пайка контактов	Паяльная станция	1,5	1,4	10	Стол СМ-3, паяльник ПСН-40	2,5	1,4	10
30	Очистка и сушка платы	Линия промывки плат ЛПП-901	0,2	0,18	20	Ванна цеховая, щетка	1,8	1,66	—
35	Маркировка	Рабочее место маркера	0,35	0,32	2	Рабочее место маркера	0,35	0,32	2
40	Контроль визуальный	Рабочее место визуального контроля VS8	0,35	0,32	25	Приспособление визуального контроля ГГ63669.012	0,35	0,32	5
45	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

Практическое занятие №4

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 таблице 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 в основном с применением печатного устройства (ГОСТ 2.004-88) шрифтом 11 или 12 пт.

Наименование разделов и подразделов записывают в виде заголовков и подзаголовков и при необходимости подчеркивают. Между заголовками и самим текстом следует оставлять 1–2 свободные строки. Запись данных следует

производить 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
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;

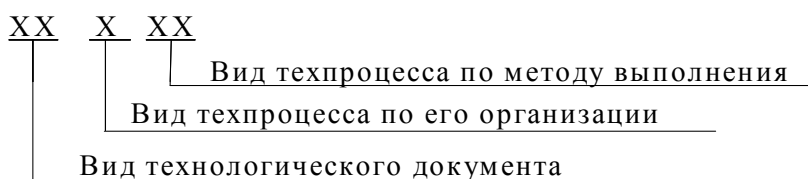
- все операции, включая регулировочные и контрольные, вносить в ТД в порядке их выполнения.

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



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 инструкция
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

Пример обозначения маршрутно-операционной карты на сборку платы: БГУИ.50188.00005, где БГУИ – 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.

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

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 3 наиболее важные операции технологического процесса сборки и монтажа блока электронной аппаратуры.
- 5 Оформить ведомость технологических документов. Примеры оформления 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:

$$r = \frac{\Phi_{\text{д}}}{N_{\text{п}}} \cdot n_{\text{тр}}, \quad (5.1)$$

где $n_{\text{тр}}$ – количество изделий, транспортируемых в пачке;

$\Phi_{\text{д}}$ – базовый действительный фонд времени.

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

$$C_{\text{pi}} = T_{\text{oni}}/r, \quad (5.2)$$

где T_{oni} – норма оперативного времени i -й операции.

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

$$K_{\text{зи}} = C_{\text{pi}}/C_{\text{при}}. \quad (5.3)$$

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

4 Находят общее количество рабочих мест сборщиков на линии:

$$K_{\text{р}} = \sum_{i=1}^n C_{\text{pi}} = \frac{T_{\text{сб}}}{r}, \quad (5.4)$$

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

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:

$$K_{\text{общ}} = K_{\text{р}} + K_{\text{рез}} + K_{\text{комп}} + K_{\text{контр}}, \quad (5.5)$$

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 :

$$d = V_{\text{н}} \cdot r, \quad (5.6)$$

где V_n – скорость непрерывного движения ленты конвейера.
 При пульсирующем движении ленты конвейера со скоростью V_n :

$$d = V_n T_{пр}, \quad (5.7)$$

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

7 Определяют длину конвейера L :

$$L = L_p + L_1 + L_2, \quad (5.8)$$

где L_p – рабочая длина несущего органа конвейера;

L_1, L_2 – длина приводной и натяжной станций соответственно, выбираемые по справочным данным (1,5–2 м).

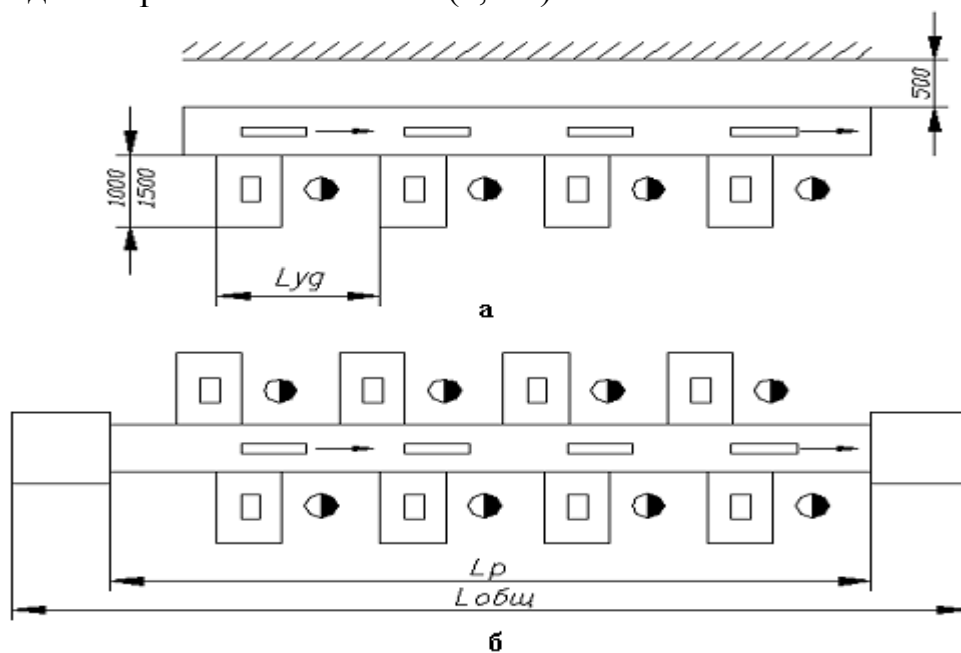
Рабочая длина конвейера при однорядном расположении рабочих мест (рисунок 5.1) рассчитывается так:

$$L_p = K_{общ} l_{уд}; \quad (5.9)$$

для двухрядного расположения рабочих мест

$$L_p = (K_{общ} + 1) l_{уд} / 2, \quad (5.10)$$

где $K_{общ}$ – общее количество рабочих мест на линии; $l_{уд}$ – расстояние между двумя соседними рабочими местами (1,2 м).



а – одностороннее, б – двухстороннее

Рисунок 5.1 – Варианты расположения рабочих мест на линии

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

$$N_3 = N_{тех} + N_{тр} + N_{рез} + N_{обор}, \quad (5.11)$$

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 10% сменной потребности линии.

При составлении технологической планировки поточной линии необходимо обеспечить рациональное направление грузопотока, максимальную прямоочность процесса сборки, рациональную компоновку рабочих мест на линии. При составлении планировки учитывают следующие требования:

- технологический поток изготовления изделия должен быть непрерывным;
- транспортно-складские работы должны быть максимально 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 действующие 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.).

Структура гибкого участка сборки показана на рисунке 5.2.

Рациональность планировки участка определяется коэффициентом использования производственной площади K :

$$K = \left(\sum_{i=1}^n S_{oi} + S_{вспi} \right) / S, \quad (5.12)$$

где S_{oi} – площадь, занятая основным оборудованием;

$S_{вспi}$ – площадь, занятая вспомогательным оборудованием;

S – производственная площадь участка;

n – количество единиц технологического оборудования.

Производственная площадь, занятая основным оборудованием, равна

$$S_{oi} = (L + b + 0,5h_1)(a + 0,5h_2), \quad (5.13)$$

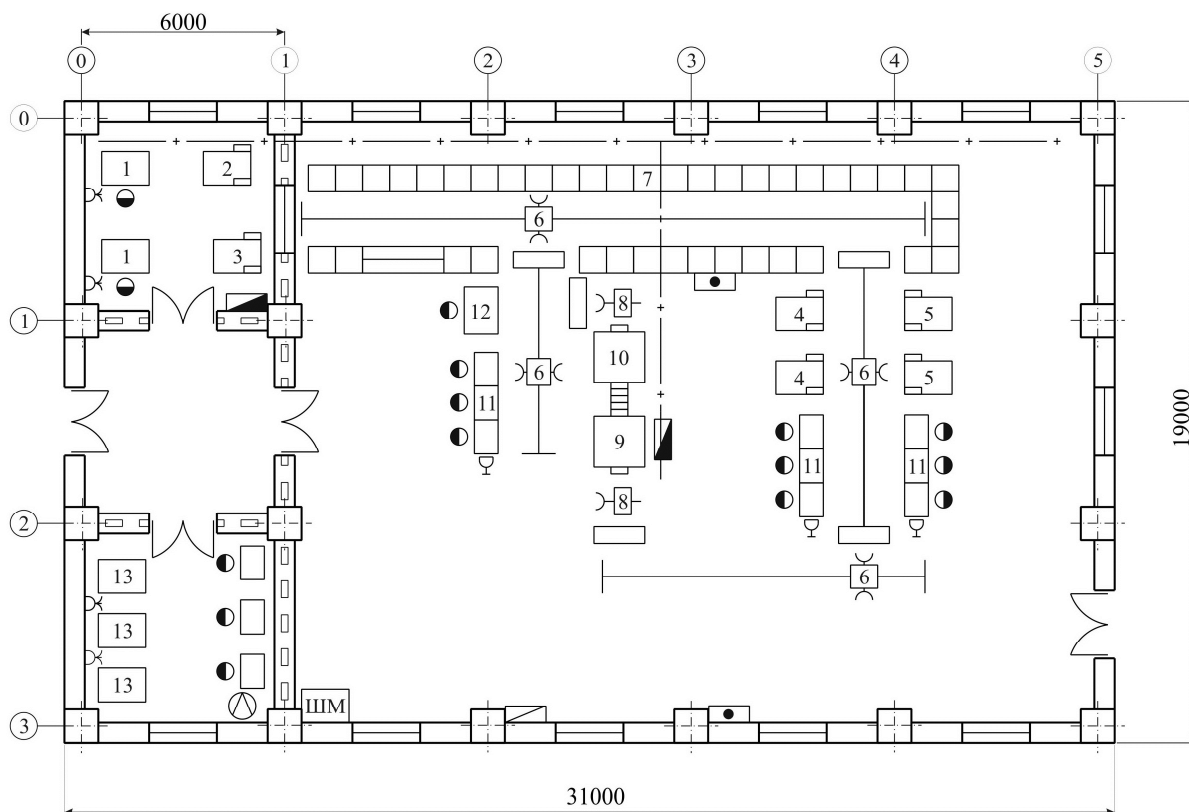
где L – длина основного оборудования вдоль фронта;

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.



Поз	Наименование оборудования	РЭА кВт	Габариты, мм
1	П/автомат подготовки ЭРЭ	0,3	600x500x800
2	Автомат формовки	0,5	330x380x405
3	Автомат лужения	5,0	800x550x1300
4	Автомат установки ЭРЭ (УР-10)	1,0	1100x730x1370
5	Автомат установки ИМС (УР-10)	1,0	1100x730x1370
6	Робот транспортный	2,0	1500x1100x800
7	Склад автоматизированный	2,0	
8	Робот манипулятор	0,5	600x600x1800
9	Установка пайки (ETS-250)	8,0	3200x1100x670
10	Установка отмывки	1,0	3200x1100x670
11	Стол монтажный	0,2	1400x850
12	Рабочее место мастера	0,1	1400x850
13	Управляющая ЭВМ	0,5	600x500x800

Условные обозначения

- стенка из стеклоблоков
- вытяжная вентиляция
- электрощит
- рабочее место
- сеть 36 В
- сеть 380; 220 В
- вентиляция местная (кондиционер)
- автомат горячих напитков

Рисунок 5.2 – Планировка гибкого участка сборки и монтажа

Площадь под вспомогательное оборудование включает:

$$S_{\text{всп } i} = S_{\text{загр}} + S_{\text{разгр}} + S_{\text{пр}}, \quad (5.14)$$

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

$S_{\text{пр}}$ – площадь, занимаемая промышленным роботом (ПР), равна

$$S_{\text{пр}} = K (L + h) b, \quad (5.15)$$

где L – длина ПР,

b – ширина ПР,

h – ширина прохода,

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

Исходными данными для проектирования участка поверхностного монтажа являются:

- 1) годовая программа выпуска изделий;
- 2) трудоемкость изготовления изделия;
- 3) оборудование, тип, цена, потребляемая мощность;
- 4) материалы, комплектующие на одно изделие;
- 5) производственные рабочие, разряд работ, часовая тарифная ставка.

Трудоемкость изготовления изделий электроники при ручной сборке в среднем составляет порядка 20–25 часа, а при переходе на автоматизированную сборку уменьшается до 0,5 часа. Примерное нормирование основных операций технологического процесса (рисунок 5.3):

- 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.

Основным требованием к автоматизированному оборудованию, кроме высокого качества сборки, является его гибкость – возможность быстрой переналадки 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, т.е. тип 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 ПМК и обычных компонентов.

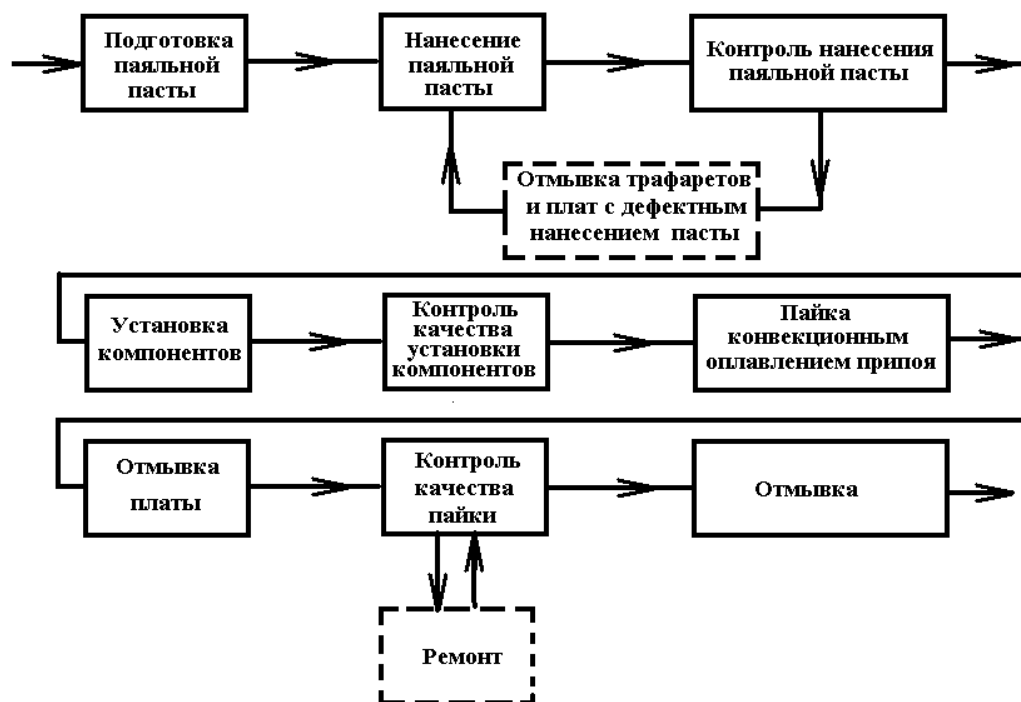


Рисунок 5.3 – Схема технологического процесса сборки и монтажа

Ключевые параметры при выборе оборудования для трафаретной печати:

- 1) тип установки: встраиваемая или 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 размером 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 ПМК:

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

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). Ключевые параметры при выборе печи оплавления:

- 1) тип используемого принципа оплавления;
- 2) равномерность нагрева;
- 3) длина рабочей зоны оплавления;
- 4) число зон нагрева и охлаждения;
- 5) возможная ширина ПП;
- 6) тип конвейера, возможность пайки в среде азота.

Исходные данные для разработки планировки участка поверхностного монтажа (рисунок 5.4) с учетом выбранного оборудования представлены в таблице 5.3. Базовые требования к помещению должны соответствовать требованиям международного стандарта IPC-J-STD-001.

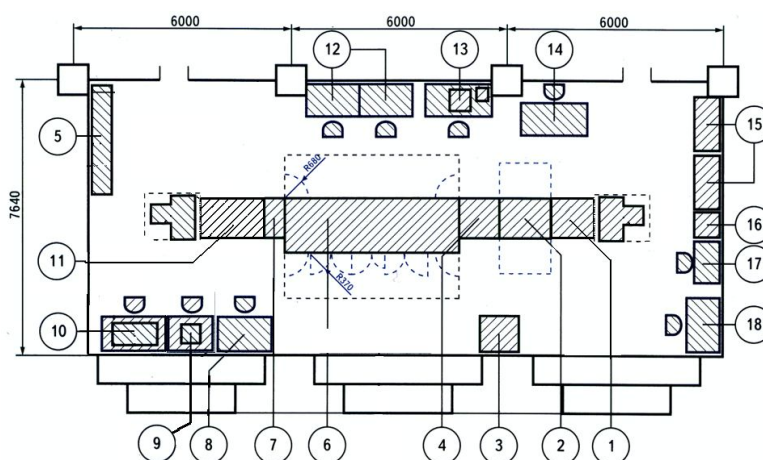


Рисунок 5.4 – Планировка участка поверхностного монтажа

Таблица 5.3 – Исходные данные для разработки планировки участка ПМ

Наименование позиции	Тип	Размеры, мм	Пневмопитание, расход, л/мин	Электропитание
1. Автомат трафаретной 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, 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, 3,6 кВт
11. Установка отмывки	UNICLEAN	1900x880	6 бар	9,6 кВт
12,13. Рабочее место		1800x900	-	220 В, 50 Гц
14. Рабочее место установки компонентов и дозирования клея		1800x900	-	220 В, 50 Гц, 60 Вт
15. Шкаф сухого хранения		1500x700	-	220 В, 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 ИС в корпусе BGA		1500x900	-	220 В, 50 Гц

Порядок выполнения задания

- 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 Вычертить планировку участка сборки в масштабе (1:50, 1:100), при этом указать основную и производственную площадь, вспомогательные помещения, перегородки, окна, двери, колонны, силовые щиты электроснабжения, вентиляционные шахты и др.

Проектирование и расчет технологической оснастки

Теоретические сведения

Технологическая оснастка представляет собой 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 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) механическая сборка (расклепка, развальцовка, запрессовка, расчеканка, свинчивание, стопорение резьбовых соединений);
- 4) установка радиоэлементов на печатные платы (укладка, закрепление);
- 5) монтажные работы (пайка, сварка, накрутка, демонтаж элементов);
- 6) регулировочные и контрольные операции (подстройка параметров, визуальный и автоматический контроль) и т.д.

Использование технологической оснастки имеет целью механизировать или автоматизировать отдельные операции технологического процесса. Выбор технологической оснастки проводят в соответствии с ГОСТ14.305-73 путем сравнения нескольких вариантов. На первом этапе используют стандарты: ОСТ4ГО.054.263 – ОСТ4Г0.054.268, 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

$$K_3 = T_{шт}N/\Phi_d, \quad (6.1)$$

где $T_{шт}$ – штучно-калькуляционное время выполнения операции;

N – программа выпуска;

Φ_d – годовой фонд 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, расположением стола станка, прессы, 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. На нем указывают габаритные и присоединительные размеры, а также размеры, износ которые влияет 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;
- характер смазки трущихся деталей и др.

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:

$$F = \frac{F_{прил} L}{r_{ср} \operatorname{tg}(\alpha + \xi_{пр})}, \quad (6.2)$$

где $F_{прил}$ – усилие, приложенное к рукоятке винтового механизма,

L – длина рукоятки,

$r_{ср}$ – средний радиус резьбы,

α – угол подъема резьбы;

ξ – приведенные угол и радиус трения.

Угол подъема резьбы и приведенный угол трения:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S}{2\pi r_{cp}}, \quad (6.3)$$

где S – шаг резьбы, мм;

f – коэффициент трения на плоскости;

β – половина угла при вершине профиля резьбы, град.

Для винтов с плоским торцом:

$$F = \frac{F_{\text{прил}} L}{r_{cp} \operatorname{tg}(\alpha + \xi_{\text{пр}} + 1/3\mu D)}, \quad (6.4)$$

где μ – коэффициент трения на плоском торце;

D – наружный диаметр плоского торца, м.

Условие самоторможения винтового механизма:

$$\alpha < \xi_{\text{пр}}. \quad (6.5)$$

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 следующие исходные данные:

$$F_{\text{прил}} = 15-25 \text{ Н}; \quad L = 0,08-0,24 \text{ м}; \quad f = 0,1-0,15; \quad r_{cp} = 0,45d;$$
$$D = 0,8d; \quad \mu = 0,1; \quad \beta = 120^\circ,$$

где d – номинальный диаметр резьбы, в мм.

КПД винтового механизма рассчитывается по формуле:

$$\zeta = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{\text{пр}})}. \quad (6.6)$$

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

$$\sigma_p = \frac{F}{Kd^2} < \sigma_{p,\text{доп}}, \quad (6.7)$$

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 резьбой М6-М18, изготовленных из сталей обыкновенного качества марок Ст3, Ст5, допустимое напряжение до 200 МПа, качественных сталей 10...85 – до 430 МПа.

Усилие, развиваемое рычажным механизмом (рисунок 6.1), определяется по формуле

$$F = F_{\text{прил}} \frac{L_1 - r f_0}{L_2 + r f_0}, \quad (6.8)$$

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 $30-45^\circ$ влево и вправо от расчетной точки контакта детали с эксцентриком. Усилие зажима круговым эксцентриком определяют по формуле

$$F = \frac{F_{\text{прил}} L_1}{L_2 [\text{tg}(\alpha + \varphi) + \text{tg}\varphi_1]}, \quad (6.9)$$

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;
 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:

$$D/L \geq 14, \quad (6.10)$$

где L – эксцентриситет (1,5–5,0 мм).

При расклепывании усилие, прикладываемое к детали, определяют как:

$$F = (2 - 2,5)\sigma_b S, \quad (6.11)$$

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

Для развальцовки это усилие определяется так:

$$F = \sigma_b S. \quad (6.12)$$

При гибке выводов радиоэлементов усилие выбирается из условия

$$F_r = \frac{L d^2}{6B} \sigma_T, \quad (6.13)$$

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.

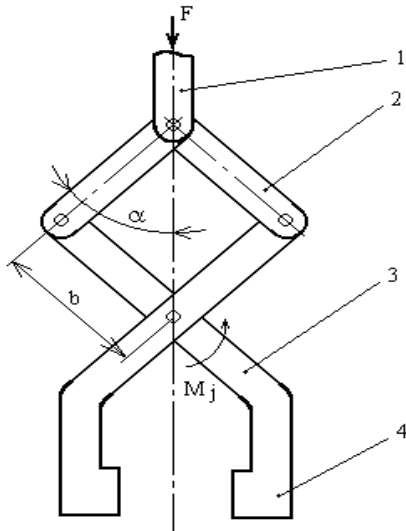
Усилие, развиваемое пневмоприводом (рисунок 6.2):

$$F_{\text{п}} = \pi D^2 p \zeta / 4 - F_{\text{с}}, \quad (6.14)$$

где D – диаметр поршня или диафрагмы в пневмоцилиндре;

p – давление сжатого воздуха;

$F_{\text{с}}$ – усилие сопротивления возвратной пружины в крайнем рабочем положении поршня.



1 – привод; 2 – плечи; 3 – губки
Рисунок 6.1. Схема рычажного механизма

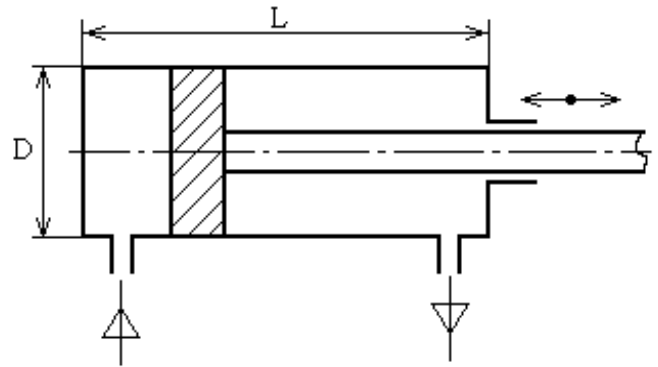


Рисунок 6.2. Схема пневмопривода

Время срабатывания пневмопривода:

$$t = \frac{D L}{d_0 v}, \quad (6.15)$$

где L – длина хода поршня;

d – диаметр воздухопровода;

v – скорость подачи воздуха (150–250 м/с).

Порядок выполнения задания

- 7) Составить эскиз технологической оснастки и определить параметры, подлежащие расчету.
- 8) Выполнить расчет параметров технологической оснастки по 2–3 вариантам.
- 9) 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, перечень 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 совокупность всех исходных данных, известных параметров и начальных условий.

Формализация широкого круга производственных процессов происходит с 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 получать 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 расчленив 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 – $\tau^{оп}$. 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

$$t^K = t^H + \tau^{оп} \quad (7.1)$$

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

$$\alpha_{ik} = f(\alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{in}, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m) \quad (7.2)$$

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

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

$$\alpha_{ik} = \alpha_{ik}^0 \pm \delta_{\alpha_{ik}}, \quad (7.3)$$

где $\delta_{\alpha_{ik}}$ – случайные отклонения величины α_{ik} от некоторого неслучайного значения α_{ik}^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:

$$t^r = t^k + \tau^r. \quad (7.4)$$

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 имеет вид:

$$t_j^h = \begin{cases} t_j^h, & \xi_1 + \tau_1 \leq t_j^h, \\ t_{j-1}^k + \tau_{j-1}, & \xi_1 + \tau_1 \geq t_j^h. \end{cases} \quad (7.5)$$

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 может начаться, если станок готов к работе и поступил очередной полуфабрикат:

$$\begin{aligned} t^k + \tau &\geq t^h, \\ t_0 + k\tau < t^k + \tau \leq t_0 + (k+1)\tau. \end{aligned} \quad (7.6)$$

Исходя из этого можно записать:

$$t^H = t_0 + (k^* + 1) \tau, \quad (7.7)$$

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:

$$\Pi_j = f(\alpha_j, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m). \quad (7.8)$$

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

$$t_j^H = \max \left\{ t_j^n, t_{i1}^n, t_{i2}^n, \dots, t_{in}^n, t_{j-1}^k + \frac{\tau}{\xi} \right\}. \quad (7.9)$$

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

$$t_j^H = t_0 + (k^* + 1) \tau, \quad (7.10)$$

где t_0 — начало отсчета; τ – длительность ритма сборки.

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

$$\tau^{оп} = \tau^y + \tau^{кр} + \tau^{рег}. \quad (7.11)$$

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

$$f(\tau) = \lambda e^{-\lambda \tau}, \quad (7.12)$$

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:

$$t_j^r = t_{j-1}^k + \frac{r}{j-1}. \quad (7.13)$$

6 Плотность распределения вероятности времени выхода из строя оборудования описывается функцией

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad (7.14)$$

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

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

7 Вероятность брака из-за износа оборудования

$$P^{bp} = P_0^{bp} + v(t - t^{nl})^s, \quad (7.15)$$

где P_0^{bp} — вероятность брака после наладки;

v, s — константы;

t^{nl} — 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:

$$\Delta\beta_{mi} = f(\alpha_{1i}, \beta_{m,i-1}, \alpha_{2i}), \quad (7.16)$$

где α_{1i}, α_{2i} — параметры полуфабриката, связанные с i -м эталоном производственного процесса соответственно до начала 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 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 $\tau_{ij}^{сб}$, а момент ее окончания – t_{ij}^k . Если к моменту t_{ij}^k 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 7.1) 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 операции,

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

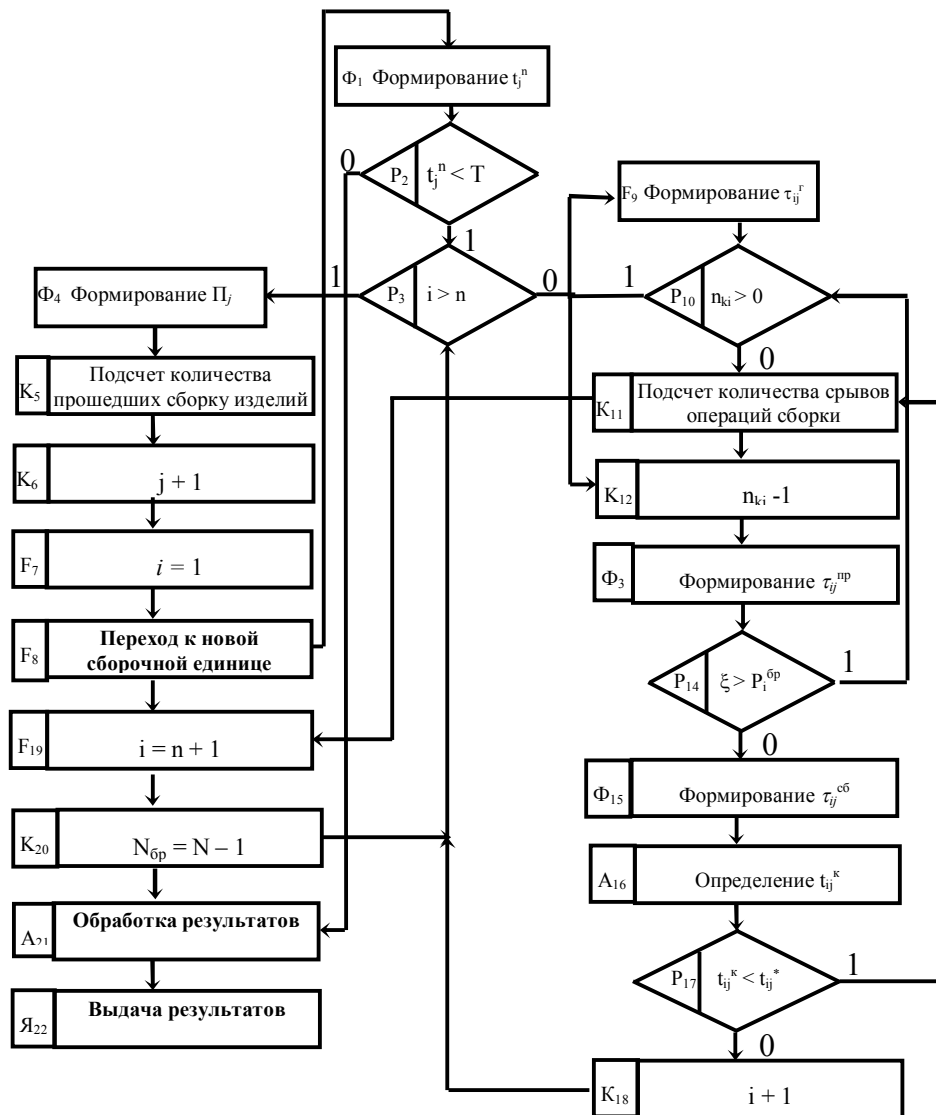


Рисунок 7.1 – Моделирующий алгоритм операции

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}^{mp} . 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 осуществляется 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 Расчетное значение принимается за математическое ожидание длительности операции сборки $M(\tau_{ij}^{сб})$. Оценивается масса и полученное значение принимается за математическое ожидание массы изделия $M(\Pi_j)$.

3 Экспериментально устанавливаются законы распределения случайных величин:

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

$$f(\Delta_j^n) = \begin{cases} K(\Delta_j^n - a_1), & \text{если } a_1 \leq \Delta_j^n \leq \frac{b_1 + a_1}{2}, \\ K(\Delta_j^n - b_1), & \text{если } \frac{b_1 + a_1}{2} \leq \Delta_j^n \leq b_1, \\ 0, & \text{если } \Delta_j^n < a_1 \text{ или } \Delta_j^n > b_1, \end{cases} \quad (7.17)$$

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

$$M(\Delta_j^n) = \frac{a_1 + b_1}{2}, \quad \sigma^2 = \frac{1}{24}(b_1 - a_1)^2; \quad (7.18)$$

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

$$f(\tau_{ij}^{пр}) = \lambda_{пр} e^{-\lambda_{пр} \tau_{ij}^{пр}}, \quad (7.19)$$

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:

$$f(\tau_{ij}^{\text{сб}}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{\tau_{ij}^{\text{сб}} - \tau_0}{\sigma}^2}, \quad (7.20)$$

где τ_0 — математическое ожидание длительности сборки i -й операции
 $\tau_0 = M(\tau_{ij}^{\text{сб}})$;

- плотность распределения одного из параметров изделия – массы Π_j – подчиняется равномерностному закону распределения:

$$f(\Pi_j) = \begin{cases} \frac{1}{b_2 - a_2}, & \text{если } a_2 \leq \Pi_j \leq b_2, \\ 0, & \text{если } \Pi_j < a_2; \Pi_j > b_2. \end{cases} \quad (7.21)$$

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:

$$\frac{M(\Delta_j^{\text{п}}) - a_1}{M(\Delta_j^{\text{п}})} = \frac{b_1 - M(\Delta_j^{\text{п}})}{M(\Delta_j^{\text{п}})} = 1; 2; \dots; 10 (\%), \quad (7.22)$$

где a_1, b_1 — границы изменения параметра;

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

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

- относительное среднеквадратичное отклонение продолжительности сборки:

$$\sigma_{\tau_{ij}^{\text{сб}}} / M(\tau_{ij}^{\text{сб}}) = 2; 4; 6; 8; \dots; 20 (\%); \quad (7.23)$$

- относительные допуски массы изделия:

$$\frac{M(\Pi_j) - a_2}{M(\Pi_j)} = \frac{b_2 - M(\Pi_j)}{M(\Pi_j)} = 2; 4; 6; \dots; 20 (\%), \quad (7.24)$$

где a_2, b_2 – границы изменения параметра;

- вероятности бракованных деталей $P_{\text{кij}}^{\text{бр}}$ 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:

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M\left(\frac{c^{\delta}}{t_j}\right) + \sum_{i=1}^n M\left(\frac{r}{t_j}\right) + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{n_{ki}} M\left(\frac{pp}{t_{kij}}\right) . \quad (7.25)$$

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

6 Рассчитывается:

- количество деталей каждого типа, необходимое для сборки за смену,

$$n_{ki}^* = \frac{T}{M(\Delta t_j^n)}; \quad (7.26)$$

- начало операции сборки сборочной единицы:

$$t_{ij}^n = \begin{cases} t_{i-1,j}^k, & \text{если } t_{i,j-1}^k < t_{i-1,j}^k, \\ t_{i,j-1}^k, & \text{если } t_{i,j-1}^k \geq t_{i-1,j}^k; \end{cases} \quad (7.27)$$

- конец i -й операции сборки

$$t_{ij}^k = t_j^n + \frac{r}{t_j} + \sum_{k=1}^{n_{ki}} \frac{pp}{t_{kij}} + \frac{c^{\delta}}{t_j} ; \quad (7.28)$$

- конец сборки сборочной единицы

$$t_j^k = t_j^n + \sum_{i=1}^n \frac{r}{t_j} + \sum_{k=1}^{n_{ki}} \frac{pp}{t_{kij}} + \frac{c^{\delta}}{t_j} ; \quad (7.29)$$

- предельное значение момента сборки i -й операции

$$t_{ij}^* = t_j^n + 1,1 \left[M\left(\frac{r}{t_j}\right) + \sum_{k=1}^{n_{ki}} M\left(\frac{pp}{t_{kij}}\right) + M\left(\frac{c^{\delta}}{t_j}\right) \right] ; \quad (7.30)$$

- предельное значение момента сборки j -й сборочной единицы

$$t_j^* = t_j^n + 1,1 \left[\sum_{i=1}^n M\left(\frac{r}{t_j}\right) + \sum_{k=1}^{n_{ki}} M\left(\frac{pp}{t_{kij}}\right) + M\left(\frac{c^{\delta}}{t_j}\right) \right] . \quad (7.31)$$

Порядок выполнения задания

1 В соответствии с электрической схемой (рисунок 7.2) и перечнем элементов (таблица 7.1) составляют технологический процесс сборки. Распределять детали по рабочим местам следует так, чтобы суммарное время ($T_{РАБ}$), равное математическому ожиданию (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 ($T_{\text{раб}}=60$ с).

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

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

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

Также предполагаем следующие операции сборки:

нанесение паяльной пасты – ($T_{\text{раб}}=20$ с); ИК-пайка – ($T_{\text{раб}}=50$ 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 7.2 и 7.3 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;

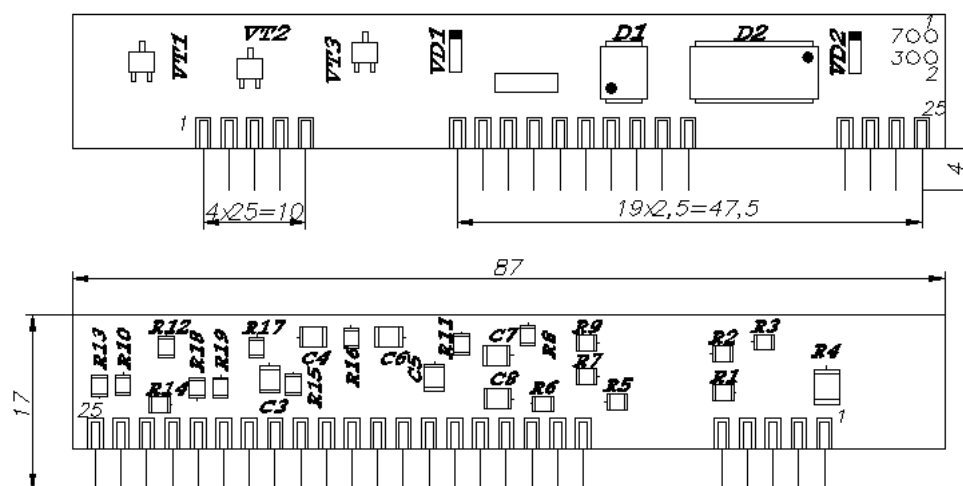


Рисунок 7.2 – Схема электронного блока

Таблица 7.1 – 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;
- 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 %).

ЗВ таблицы 7.4 и 7.5 внести данные о параметрах рабочих мест связанных с обработкой платы после сборки, а также о времени подготовки оборудования по рабочим местам.

Таблица 7.2 – 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 7.3 – Параметры рабочих мест сборки

№ раб. места	Тип элемента	Кол-во, шт	Время установки, с	1/2 поля допуска установки, %	Время контроля, с	Вероятность брака, %	МО массы, г	1/2 поля допуск. массы, %	Кол-во в банке, шт
2-е	R1-R9	9	1,1	10	3	0,1	1	1	900000
3-е	R10-R19	9	1,1	10	3	0,1	1	1	900000
4-е	C1-C8	8	1,1	10	3	0,1	1	1	900000
5-е	D1,D2, VT1-VT3, VD1-VD3	8	1,1	10	3	0,1	1	1	500000

Таблица 7.4 – Параметры рабочих мест изготовления модуля

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

- 4 Выбрать соответствующие исходные данные из таблицы 7.6 и получить результаты расчета в виде таблицы 7.7, а также гистограммы выхода годных изделий по операциям. Проанализировать причины брака по отдельным операциям.

Таблица 7.5 – 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

Таблица 7.6 – Исходные 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) моделирования сборки (8, 16)	16

Таблица 7.7 – 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

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

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

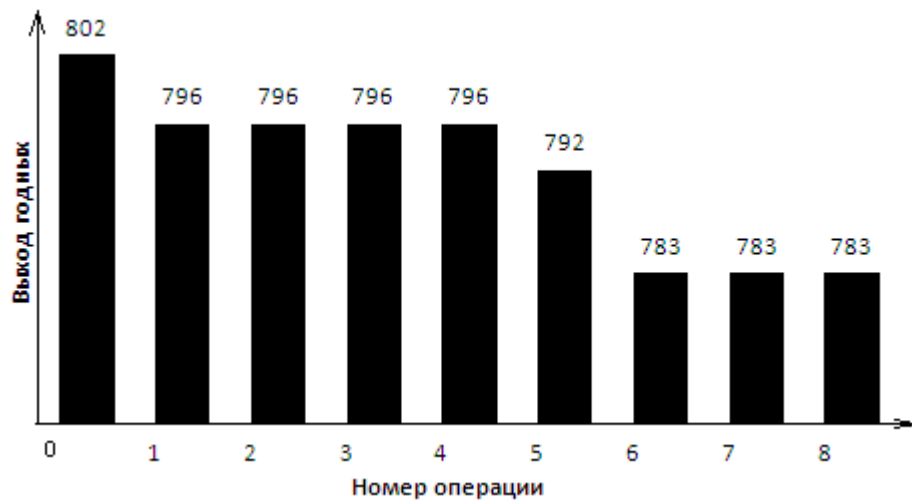


Рисунок 7.3– Гистограмма выхода годных изделий по операциям

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 Ланин, В.Л. Технология сборки, монтажа и контроля в производстве электронной аппаратуры / В.Л. Ланин. – Минск : Инпредо, 1997. – 64 с.
- 4 Технология поверхностного монтажа: учебное пособие / С. П. Кундас [и др.]. – Минск : «Армита – Маркетинг, Менеджмент», 2000. – 350 с.
- 5 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.
- 6 Технология радиоэлектронных устройств и автоматизация производства: учебник / А. П. Достанко [и др.]; под общ. Ред. А. П. Достанко. – Минск : Выш. Школа, 2002. – 415 с.
- 7 Проектирование и производство РЭС. Дипломное проектирование: учеб. Пособие / А. П. Достанко [и др.]. – Минск : БГУИР, 2006. – 219 с.
- 8 Медведев, А. М. Сборка и монтаж электронных устройств / А. М. Медведев. – М.: Техносфера, 2007. – 256 с.
- 9 Сайт компании «Остек» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.ostek-smt.ru.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

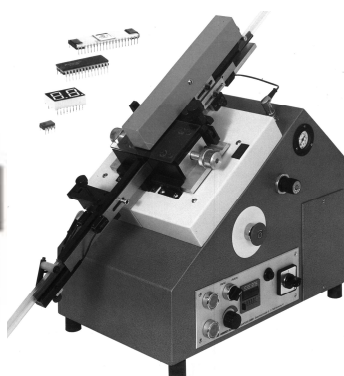
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ И МОНТАЖА ЭЛЕМЕНТОВ

Наименование	Тип, условный шифр	Тип ЭРЭ, ИМС	Производительность шт/час	Габаритные размеры, мм
1	2	3	4	5
ЭРЭ С АКСИАЛЬНЫМИ 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	РК-R-707	ЭРЭ с осевыми выводами и установочными размерами 5-40 мм	5000	480x230x220
Полуавтомат формовки Н.Streckfuck	С-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	А ФЗ-1	Транзисторы КТ1-КТ26. Конденсаторы К-10-7В с устан. Размером 5-30 мм	6000	800x500x600
Полуавтомат формовки UNITRA (Польша)	РК-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, напрессовка припоя	900	1650x640x1450
Полуавтомат формовки выводов ИМС	ИСМ 83	Формовка и обрезка выводов ИМС в корпусе DIP	300–8000	500 × 330 × 550

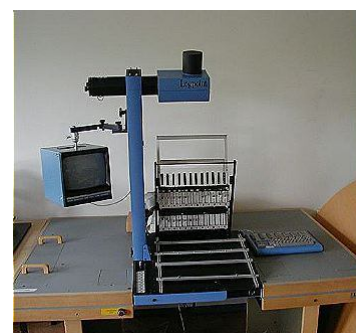
УСТАНОВКИ ЛУЖЕНИЯ				
Установка лужения ИМС	ГГ-2630	ИМС типа 401.14	1200	1200x400x1400
Автомат лужения микросхем	АЛМ-1	ИМС типов 429.42, 402.16, 405.24, 244.46	600	920x700x1500
Автомат лужения ЭРЭ с осевыми выводами	ДМВМ 2.241.003	Резисторы типа С2, конденсаторы МБМ и др.	3500	800x550x1300
СВЕТОМОНТАЖНЫЕ 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	ЭРЭ с осевыми выводами: 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	Резисторы С2-23 0,125-1,0; диоды Д9, ИМС201.14-1.	4800	1100x730x1370
Автомат	«Трофей»	ЭРЭ с осевыми выводами	9000	1650x1500x1500
Автомат–секвенсор Universal	6380B radial 8XT	Компоненты с радиальными выводами, включая транзисторы, светодиоды, разъемы с шагом 2,5 мм	21 000	



radial 8XT



ICM 83



Logpoint

6380B

Рисунок А.1 – Оборудование для сборки

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПАЙКИ И ОЧИСТКИ			
Наименование	Характеристика	Скорость конвейера, м/мин	Габаритные размеры, мм
Автомат пайки микросхем АРГИМ	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)	Широкая волна 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 Esonopak-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 Aquarak	Многостадийная отмывка плат после пайки. Число ванн – 2 – 5	2–6	5000x600x1100



ETS–250



EWS–400

Рисунок Б.1 – Оборудование волновой пайки

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 500x400мм. 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 типономеров – 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 типономеров – до 32
Установка монтажа SMD ЭВ-8317-2М Беларусь	Установка компонентов 0603, 0805, 1206, SOT23, SOD 110	Производительность – 2,0 тыс. шт/ч. Количество типономеров – 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 чипа до PLCC 40x40 мм' Производительность до 10000 шт/ч

Автомат МСМШ (<i>Philips, Holland</i>)	Автоматическая установка компонентов с возможностью гибкой переналадки и управлением от ПЭВМ	Производительность – до 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 0,5–2,5 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

Рисунок В.1 – Оборудование для монтажа SMD

Пример заполнения первого листа маршрутной карты

							БГУИ.01188.00001	7	1						
							БГУИ.406124.001	—	БГУИ.10188.00001						
			Модуль контроллера						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	ГГ 7879 – 4053											
			12	Тара технологическая											
			В13					3		015	8531 Формовка и обрезка выводов ЭРЭ				
			Г14	БГУИ.25185.00014, ИОТ для слесаря-сборщика радиоаппаратуры											
			Д15	Стол рабочий СМ-3											
			Е16	03		18596		3		1	1	1	1,0	10	13,25
			Т17	ГГ 1420-4023											
			18	Приспособление для формовки и обрезки											
			В19					5		020	8870 Установка и пайка резисторов				
			Г20	БГУИ.25188.00012, ИОТ для слесаря-сборщика радиоаппаратуры											
			Д21	Стол рабочий СМ-3											
			Е22	03		14544		4		1	1	1	1,0	5	5,56
			О23	Установить и паять припоем ПОС-61 ГОСТ 21931-76 резисторы R50...R65,											
			24	R72...R76 на плату согласно чертежа											
			Т25	Кусачки монтажные ГОСТ 24244-87											
			Т26	Паяльник ПВНРС 65-42											
			27												
			28												
Дубл.	Взам.	Подл.							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	5	14,0					
		Т06	VS8 63669/0.12					Рабочее место визуального контроля								
		07														
		О08	1.Извлечь плату из тары и установить на рабочее место контроля.													
		О09	2.Осуществить визуальный контроль качества сборки изделия.													
		010	3.Сделать отметку в сопроводительных документах.													
		11														
		В12	1		1		130		0320 Электрический контроль							
		Д13	SPEA 4040					Автоматический тестер контроля								
		Е14	1	12920	3	1	1	1	1	1	20	5,45				
		О15	1.Извлечь плату из тары.													
		О16	2.Установить плату на адаптер тестера контроля, осуществить электрический контроль по программе.													
		О17	3.Сделать отметку в сопроводительном документе.													
		О18	4.Уложить плату в тару.													
		Т19	ГГ 7879 – 4053					Тара цеховая								
		20														
		21														
		22														
		23														
		24														
		25														
		26														
		27														
		28														
		29														
		30														
		31														
		32														
Дубл.	Взам.	Подл.														
		МК														

Пример заполнения комплекточной карты

						БГУИ.01188.00001	3	1						
						БГУИ.406124.001	—	БГУИ.30196.00001						
						Сигнализатор концентрации паров аммиака		0						
						В	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции			
						Л/М	Поз.	Наименование детали, сборочной единицы или материала						
						Н/М	Обозначение		ОПП	ЕВ	ЕН	Кп	Н. расх.	
						Я			Раз. П.	Общ. П.	Такт. П.			
						01								
						В02	2	010	8831 Установка модуля питания					
						Л03	1	Модуль питания						
						Н04	АРС 6.122.001			шт	1	1		
						Л05	2	Основание						
						Н06	АРС 8.074.002			шт	1	1		
						Л07	3	Винт самонарезной 4x8.05						
						Н08	ГОСТ 10620-80			шт	1	4		
						Л09	4	Шайба 4.04.016						
						Н10	ГОСТ 10450-78			шт	1	4		
						11								
						В12	3	015	8831 Установка выключателя					
						Л13	1	Втулка предохранительная резиновая 6-6						
						Н14	ГОСТ 19421-74			шт	1	1		
						Л15	2	Выключатель сетевой						
						Н16	тип 8600 SPST			шт	1	1		
						17								
						В18	4	020	8831 Установка шнура сетевого					
						Л19	1	Шнур сетевой с евровилкой						
						Н20	АС-162			шт	1	1		
						Л21	2	Стяжка для кабеля CCCV-CV-075						
						Н22	UL94V-2			шт	1	1		
						Л23	3	Скоба для кабеля (Рвн 6 мм)						
						Н24	NF 1, 2			шт	1	1		
						Л25	4	Лепесток 1-2-3,2x12-05						
						Н26	ГОСТ 22376-77			шт	1	1		
						27								
						28								
						29								
						30								
						31								
Дубл. Взам. Подл.										Разраб.	Егоров И.В.			
										Проверил	Бондарик В.М.			
										Т. Контр.	Ланин В.Л.			
						Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Н. контр.	Сидоров А.Н.		
						КК								

Пример заполнения операционной карты

						БГУИ.01188.00001		1	1						
						БГУИ.406124.001	—	БГУИ.60188.00001							
						Контроллер			0						
			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	5	020	8870 Установка и пайка резисторов									
			Г03	БГУИ.25188.00001, ИОТ для слесаря-сборщика РЭА											
			Д04	Стол рабочий СМ-5											
			Е05	03	14544	4	1	1	1	1,0	5	7,56			
			Т06	Пинцет ГОСТ 21241-89											
			Т07	Кусачки монтажные ГОСТ 24244-87.											
			Т08	Паяльник ПВНРС 65-42											
			О09	1. Извлечь плату из тары и установить в приспособление.											
			О10	2. Установить резисторы R50...R65, R72...R76 на плату согласно чертежу.											
			О11	3. Паять резисторы припоем ПОС-61 ГОСТ 21931-76.											
			О12	4. Проверить внешним осмотром качество пайки.											
			О13	5. Заполнить сопроводительную документацию и отправить изделие по маршруту.											
			14												
			15												
			16												
			17												
			18												
			19												
			20												
			21												
			22												
			23												
			24												
			25												
			26												
			27												
			28												
			29												
								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.						
			OK												

Учебное издание

СБОРОЧНО-МОНТАЖНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРОНИКЕ

Учебно-методическое пособие к практическим занятиям по дисциплинам
«Конструирование и технология электронных систем», «Технология РЭУ»,
«Технология РЭС», «Технология средств медицинской электроники»

для студентов специальностей

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

Ланин Владимир Леонидович
Костюкевич Анатолий Александрович
Достанко Анатолий Петрович
Хмыль Александр Александрович

Редактор Е.Н. Батурчик
Корректор М.В. Тезина

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.