

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»

С. Ю. Даншина

ПРОИЗВОДСТВО РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ

Учебное пособие по лабораторному практикуму

Харьков «ХАИ» 2016

УДК 621.396.6.002:658.51 (076.5)

ББК 32:65.29Я73

Д 19

Описано лабораторні роботи з курсу «Виробництво радіоелектронних апаратів», що входить до програми підготовки бакалаврів за напрямом «Радіоелектронні апарати». Запропоновано методи розв'язання деяких задач, що виникають під час технологічної підготовки виробництва. Розглянуто питання регламентації виробничих процесів, що вирішуються під час організаційної підготовки виробництва. Подано методи оцінювання точності, стабільності й можливостей виробництва під час упровадження технологічних процесів виготовлення вузлів РЕА.

Наведено необхідні теоретичні відомості, довідкові дані, а також викладено постановку завдань і методику виконання робіт.

Для студентів факультету радіотехнічних систем літальних апаратів.

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. В. А. Краснобаев,
канд. техн. наук, доц. А. В. Чечуй

Даншина, С. Ю.

Д 19 Производство радиоэлектронных аппаратов [Текст]: учеб. пособие по лаб. практикуму / С. Ю. Даншина. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2016. – 56 с.

Описаны лабораторные работы по курсу «Производство радиоэлектронных аппаратов», входящему в программу подготовки бакалавров по направлению «Радиоэлектронные аппараты». Предложены методы решения некоторых задач, возникающих при технологической подготовке производства. Рассмотрены вопросы регламентации производственных процессов, решаемых при организационной подготовке производства. Представлены методы оценки точности, стабильности и возможностей производства при внедрении технологических процессов изготовления узлов РЕА.

Приведены необходимые теоретические сведения, справочные данные, а также изложены постановка задач и методика выполнения работ.

Для студентов факультета радиотехнических систем летательных аппаратов.

Ил.14. Табл. 10. Библиогр.: 17 назв.

УДК 621.396.6.002:658.51 (076.5)

ББК 32:65.29Я73

© Даншина С. Ю., 2016

© Национальный аэрокосмический
университет им. Н. Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт», 2016

ВВЕДЕНИЕ

Радиоэлектронные аппараты (РЭА) широко применяются во всех областях техники, стимулируя ее интенсивное развитие. Для выполнения разнообразных функций РЭА должны отвечать требованиям точности, надежности, экономичности, что обеспечивается высоким уровнем технологии и организации производства [1].

Производство РЭА – это сложный многооперационный процесс, в котором используются новейшие разработки в сфере науки и техники, достижения в области материаловедения, микроэлектроники, автоматизации проектных работ и управления технологическими процессами, что осуществляется путем рациональной подготовки производства, направленной на создание и организацию выпуска новых конкурентоспособных изделий.

Подготовка производства – комплекс взаимосвязанных организационных, технических, технологических, плановых, экономических и прочих мероприятий, обеспечивающих выполнение программы выпуска предприятия в необходимые сроки при минимальных затратах труда, материально-технических и других ресурсов.

В общем случае подготовка производства проходит такие стадии [2]:

- научно-исследовательские работы – проведение исследовательских работ в целях выявления возможностей, принципов и методов создания новой (модернизации старой) продукции;

- конструкторская подготовка производства – проектирование новых и совершенствование уже освоенных изделий с обеспечением процесса их изготовления необходимой конструкторской документацией;

- технологическая подготовка производства – обеспечение на предприятии полных комплектов конструкторской и технологической документации и средств технологического оснащения, необходимых для осуществления заданного объема выпуска продукции с установленными технико-экономическими показателями;

- организационная подготовка производства – адаптация существующих производственных и организационных структур к условиям изготовления новых (модернизации старых) изделий.

Таким образом, подготовка производства охватывает весь комплекс работ по конструктивно-технологическому анализу изделий, организационно-технологическому анализу производства, расчету производственных мощностей, составлению производственно-технологических планировок, определению материальных и трудовых нормативов, отладке технологических процессов и средств технологического оснащения [1, 2].

В учебном пособии предложены лабораторные работы, позволяющие изучить вопросы, связанные с особенностями технологической и организационной подготовки производства.

Лабораторная работа № 1

ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УЗЛОВ РЭА

Цель работы – изучить методику расчета производственной технологичности узла РЭА.

Теоретическое введение

Комплекс работ и мероприятий, обеспечивающих освоение новых и совершенствование освоенных ранее конструкций РЭА, внедряющих новые сложные машины и оборудование, новые технологические приемы в организации производства называется технической подготовкой производства [2]. В технической подготовке производства различают этапы проектирования и освоения выпуска новых изделий, т. е. конструкторскую и технологическую части, которые базируются на результатах, полученных в ходе научно-исследовательских работ, и направлены на обеспечение нормального хода технологического процесса [1, 3].

Одной из центральных задач, решаемых при технологической подготовке производства, является задача отработки конструкции на технологичность. Технологичность конструкции изделия – совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, техническом обслуживании и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ [4].

Обеспечение технологичности конструкции изделия – функция подготовки производства, предусматривающая взаимосвязанное решение конструкторских и технологических задач, разработку мероприятий по управлению технологичностью и совершенствованию условий выполнения работ при производстве, направленных на повышение производительности труда, достижение оптимальных трудовых и материальных затрат, сокращение времени на производство, техническое обслуживание и ремонт изделия [4, 5]. Эта функция включает в себя: отработку конструкции на технологичность на всех стадиях разработки изделия, при технологической подготовке производства; совершенствование условий выполнения работ при производстве, эксплуатации и ремонте; количественную оценку технологичности и пр. [5].

Технологичность конструкции узла РЭА оценивают с помощью [5, 6]:

- базовых (исходных) показателей, которые являются предельными нормативами технологичности, обязательными для выполнения при

разработке изделия (зафиксированы в техническом задании на разработку или, по отдельным изделиям, в отраслевых стандартах);

- достигнутых показателей, полученных при разработке изделия;
- показателей уровня технологичности конструкции разрабатываемого изделия.

Рассматривая базовые и достигнутые показатели технологичности, необходимо учесть, что они с разных сторон характеризует конструкцию изделия РЭА. Обобщенная классификация показателей технологичности представлена на рис. 1.1.

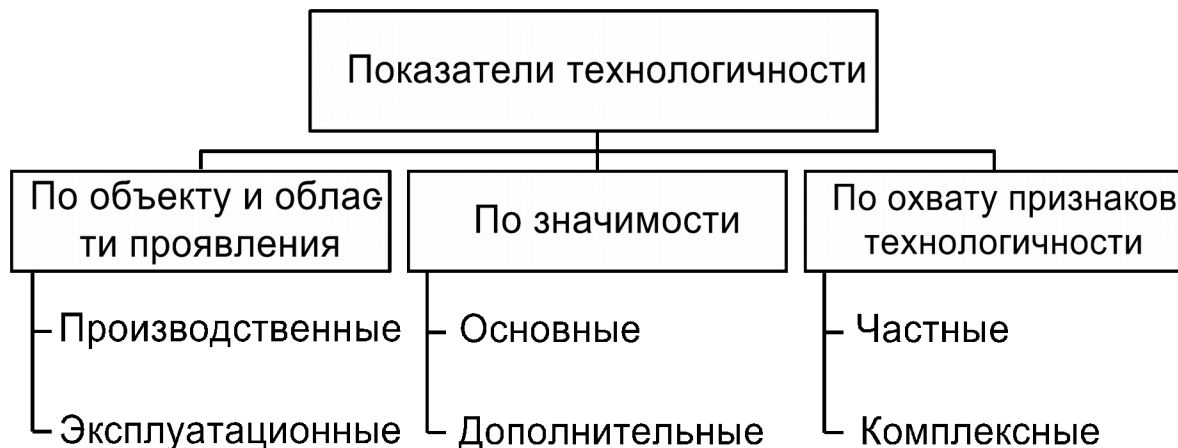


Рис. 1.1. Классификация показателей технологичности конструкции

При отработке конструкции на технологичность необходимо учитывать, что любое изделие можно рассматривать [7]: как объект проектирования, как объект производства и как объект эксплуатации. В связи с этим различают:

- *производственную* технологичность, которая проявляется в сокращении затрат средств и времени на конструкторскую и технологическую подготовку производства и процесса изготовления;

- *эксплуатационную* технологичность, которая дает количественную оценку совокупности конструктивно-технологических свойств, определяющих приспособленность изделия к техническому обслуживанию, ремонту и выполнению других видов работ в условиях эксплуатации.

Основные показатели характеризуют наиболее важные, существенные свойства РЭА, выражая, как правило, технологичность изделия в целом. К ним относятся показатели трудоемкости, материалоемкости, энергоемкости, технологической себестоимости изделия. Кроме основных показателей технологичности (обязательных при расчете) ГОСТ 14.201-83 предусматривает нахождение ряда дополнительных показателей, которые характеризуют различные стороны конструкции РЭА, возможность автоматизации процессов создания

изделия, эффективность применения технологических операций определенного типа.

Номенклатура дополнительных показателей зависит от специфики изделия, этапа проектирования и типа производства. На ее основании формируется набор частных показателей K_i , значения которых задаются в относительных единицах и принимаются в пределах $0 \leq K_i \leq 1$. При этом увеличение значения частных показателей соответствует более высокой технологичности [6, 7].

Частные показатели объединяют в комплексные, характеризующие группу признаков технологичности конструкции. Наиболее распространенным является следующий способ расчета комплексного показателя:

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

где K_i – значение частного показателя технологичности (конструкторского или технологического); φ_i – функция, нормирующая весовую значимость показателя; I – число показателей, определяющих технологичность конструкции соответствующего класса блоков.

Величина φ_i зависит от порядкового номера определяемого показателя в номенклатуре показателей, принятой для оценки изделия соответствующего класса:

$$\varphi_i = \frac{i}{2^{I-1}}, \quad (1.2)$$

где i – порядковый номер показателя в ранжированной таблице состава показателей технологичности.

В отраслевых стандартах на бытовую РЭА в зависимости от класса изделий указаны следующие базовые нормативы комплексных показателей технологичности (табл. 1.1) [6, 7].

Таблица 1.1

Нормативы комплексных показателей технологичности конструкции

Наименование класса узлов	Значения K для стадий разработки рабочей документации		
	Технический проект	Рабочая документация	Опытный образец
Электронные	0,3 ... 0,55	0,55 ... 0,7	0,7 ... 0,85
Радиотехнические	0,2 ... 0,45	0,45 ... 0,6	0,5 ... 0,65

Уровень технологичности конструкции определяют по формуле [9]

$$K_{УТК} = \frac{K}{K_6}, \quad (1.3)$$

где K , K_6 – значения достигнутого и базового показателей технологичности соответственно.

Если $K_{\text{уток}} \geq 1,02$, то конструкция изделия в достаточной степени отработана на технологичность, в противном случае конструкция признается нетехнологичной.

Анализ конструкции изделия на технологичность осуществляют в два этапа [6]:

- находят частные показатели конструкции для определения комплексного показателя технологичности;
- проводят количественный анализ технологичности изделий-аналогов в целях установления и сопоставления достигнутого уровня технологичности для вновь разрабатываемого изделия.

Для расчета частных показателей все узлы РЭА делят на два класса:

- электромеханические и механические;
- электронные и радиотехнические.

Для каждого класса выбирают набор показателей, оказывающих существенное влияние на технологичность конструкции и характеризующих только один ее признак. Следует заметить, что состав показателей, методика и точность их определения изменяются по мере уточнения и полноты конструктивных решений. Обычно они устанавливаются в соответствующих отраслевых документах.

В отраслевом стандарте на бытовую РЭА для оценки технологичности конструкции используют систему относительных частных показателей K_i , число которых минимально и достаточно (должно быть не более 7), и комплексный показатель K [6 - 8]. В качестве примера рассмотрим частные показатели технологичности электронных и радиотехнических узлов РЭА. К ним относят следующие:

1. Коэффициент использования микросхем и микросборок

$$K_{\text{ис.мс}} = \frac{H_{\text{мс}}}{H_{\text{мс}} + H_{\text{ЭРЭ}}}, \quad (1.4)$$

где $H_{\text{мс}}$ – число интегральных микросхем и микросборок; $H_{\text{ЭРЭ}}$ – количество электрорадиоэлементов (ЭРЭ) по спецификации на сборочный чертеж.

2. Коэффициент автоматизации пайки ЭРЭ

$$K_{\text{АП}} = \frac{H_{\text{АП}}}{H_{\text{ЭРЭ}}}, \quad (1.5)$$

где $H_{\text{АП}}$ – количество ЭРЭ, пайка которых осуществляется на автоматах,

$$H_{\text{АП}} = H_{\text{скв}} + H_{\text{пм}} - H_{\text{скв}}^H - H_{\text{пм}}^H.$$

Здесь $H_{\text{скв}}$ и $H_{\text{пм}}$ – количество ЭРЭ сквозного и поверхностного

монтажа; $H_{скв}^H$ и $H_{пм}^H$ – количество нестандартно монтируемых ЭРЭ сквозного и поверхностного монтажа.

3. Коэффициент автоматизации и механизации монтажа

$$K_{AuM} = \frac{H_{AuM}}{H_M}, \quad (1.6)$$

где H_{AuM} – количество монтажных соединений, осуществляемых автоматизированным или механизированным способом*; H_M – общее число монтажных соединений.

4. Коэффициент автоматизации и механизации операций контроля и настройки электрических параметров

$$K_{MKH} = \frac{H_{MKH}}{H_{KH}}, \quad (1.7)$$

где H_{MKH} – число операций контроля и настройки, которые осуществляются механизированным способом*; H_{KH} – общее число операций контроля и настройки.

5. Коэффициент повторяемости ЭРЭ

$$K_{пов} = 1 - \frac{H_{ТЭЭР}}{H_{ЭРЭ}}, \quad (1.8)$$

где $H_{ТЭЭР}$ – общее число типоразмеров ЭРЭ в изделии.

6. Коэффициент применяемости ЭРЭ

$$K_{ПЭРЭ} = 1 - \frac{H_{ТОЭРЭ}}{H_{ТЭРЭ}}, \quad (1.9)$$

где $H_{ТОЭРЭ}$ – общее число типоразмеров оригинальных ЭРЭ в изделии.

7. Коэффициент применения типовых технологических процессов

$$K_{Т.П} = 1 - \frac{Q_{Т.П}}{Q_{П}}, \quad (1.10)$$

где $Q_{Т.П}$ – количество типовых технологических процессов; $Q_{П}$ – общее количество технологических процессов.

Допускается вместо $K_{Т.П}$ использовать коэффициент снижения трудоемкости сборки и монтажа [9]

*Количество монтажных соединений определяют подсчетом выводов навесных элементов, проводов-перемычек и пр. Поскольку на плате монтажные соединения получают пайкой, то возможность ее механизации оценивают с учетом конструкции соединения (планарный, штыревой вывод), способа пайки, наличия оборудования, серийности производства.

*Значение K_{MKH} относительно невелико, что связано с реализацией ряда трудоемких и маломеханизированных операций: проверкой плат перед монтажом, оценкой качества отмывки и лакировки плат, приклейки прокладок под корпуса ЭРЭ, пайки их выводов. Только функциональные параметры платы контролируются на специальных стендах.

$$K_{CB}^T = \frac{1}{H_{BM}}, \quad (1.11)$$

где H_{BM} – коэффициент, характеризующий вид монтажа (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Значение коэффициента H_{BM}

Вид монтажа	Поверхностный односторонний	Поверхностный двусторонний	Смешано- разнесенный	Смешанный
H_{BM}	1,2	1,4	1,8	2,8

Примечание. При сборе и монтаже узлов РЭА выделяют три основных варианта конструктивного исполнения: чисто поверхностный монтаж, при котором на одной или двух сторонах печатной платы расположены ЭРЭ; смешанный монтаж, когда на одной или двух сторонах печатной платы размещают сложные поверхностно-монтируемые компоненты и компоненты со штыревыми выводами, и смешанно-разнесенный монтаж, при котором ЭРЭ со штыревыми выводами размещают на лицевой стороне печатной платы, а элементы с планарными выводами – на обратной стороне.

Оценка и анализ технологичности конструкции позволяет рассмотреть возможность выбора и использования методов реализации технологических операций и процессов при изготовлении изделия, сборке и монтаже с применением средств автоматизации и механизации. При этом для повышения технологичности конструкции узла РЭА выполняют следующее:

- увеличивают количество ИМС, микросборок, функциональных и поверхностно-монтируемых элементов;
- сокращают количество 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.

Все это в конечном итоге позволяет снизить затраты, сократить время на проектирование и технологическую подготовку производства, а также на изготовление, технологическое обслуживание и ремонт РЭА при обеспечении необходимого качества изделия.

Порядок выполнения работы

1. Изучить электрическую схему узла РЭА, определить тип печатного узла в соответствии с существующей классификацией узлов РЭА (см. Приложение А).
2. Составить перечень элементов.
3. Для соответствующего типа на основе схемы электрической принципиальной и перечня элементов заполнить таблицу исходных данных (табл. 1.3). Задать необходимый уровень механизации и автоматизации при производстве печатного узла РЭА.

Таблица 1.3

Пример таблицы исходных данных для расчета частных показателей технологичности конструкции

№ п/п	Исходные данные	Обозначение	Значение
1	Число интегральных микросхем и микросборок	H_{MC}	
...	...	...	...
11	Общее количество технологических процессов	Q_{Π}	
12	Коэффициент, характеризующий вид монтажа	H_{BM}	

4. Рассчитать частные показатели технологичности конструкции узла РЭА (см. формулы (1.4) – (1.9), (1.10) или (1.11)). Результаты расчета оформить в виде табл. 1.4.

5. Найти комплексный показатель технологичности рассматриваемой конструкции по формуле (1.1) с учетом выражения (1.2).

6. Оценить достигнутый уровень технологичности (см. выражение (1.3)) по сравнению с нормативами комплексных показателей (см. табл. 1.1).

Таблица 1.4

Значения достигнутых частных показателей для узла РЭА

№ п/п	Наименование показателя	Обозначение	Значение	Весовой коэффициент
1	Коэффициент использования микросхем и микросборок	$K_{ис. MC}$		1
...	...	...	...	...
7	Коэффициент применения типовых технологических процессов (либо коэффициент снижения трудоемкости сборки и монтажа)	$K_{т.п} (K_{CB}^T)$		0,109

По результатам лабораторной работы согласно ГОСТ 3008-95 оформить отчет, который должен содержать титульный лист, теоретическое введение, схему электрическую принципиальную узла РЭА с перечнем элементов, таблицу с исходными данными для расчета частных показателей, полученные значения частных показателей в соответствии с порядком выполнения работы и необходимые выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие задачи решают в рамках обеспечения технологичности конструкции изделий РЭА?
2. По каким показателям оценивают технологичность конструкции

РЭА?

3. Как классифицируют показатели технологичности? Какие показатели относят к основным?
4. Как найти частные показатели конструкции? Чем определяются набор частных показателей, их количество?
5. Приведите формулу получения комплексного показателя технологичности.
6. Как он влияет на достигнутый уровень технологичности конструкции изделия?

Лабораторная работа № 2

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СБОРКИ УЗЛА РЭА

Цель работы – изучить основные операции типового технологического процесса сборки и монтажа электронных устройств, разработать технологическую схему сборки узла РЭА на печатной плате.

Теоретическое введение

Разработка технологических процессов (ТП) – один из основных этапов технологической подготовки производства, включающей в себя комплекс взаимосвязанных работ и осуществляемой для изделий, конструкции которых отработаны на технологичность [6]. В зависимости от формы организации технологических процессов различают типовые, групповые и единичные ТП [10].

Типовой ТП – технологический процесс изготовления группы изделий с общими конструктивными признаками, характеризующийся единством содержания и последовательности большинства технологических операций, обеспечивающий реализацию значений базовых показателей технологичности конструкции изготавливаемого (ремонтируемого) изделия.

Сборка – заключительный этап в производстве РЭА, составляющий 40–60 % общей трудоемкости изготовления радиоаппаратуры [6]. Разработка ТП сборки и монтажа узлов РЭА выполняется в соответствии с рекомендациями Р 50-54-93-88 и состоит из следующих этапов [8, 10]:

1. Анализ исходных данных – предварительное ознакомление с назначением и конструкцией узла РЭА, с требованиями к изготовлению и эксплуатации.
2. Классификация узлов РЭА по конструктивно-технологическим признакам. Выбор типовых представителей групп.
3. Анализ конструкции типовых представителей узлов РЭА, их программ выпуска и типа производства.
4. Разработка схемы сборки – определение состава деталей,

комплектующих и сборочных единиц изделия, выбор базовой детали (сборочной единицы), способов сборки и монтажа. Подбор действующих типовых ТП для данного класса узлов.

5. Составление технологического маршрута сборки – определение последовательности операций, выбор оборудования и технологического оснащения.

6. Разработка технологических операций.

7. Расчет точности, производительности и технико-экономической эффективности вариантов технологического процесса.

8. Оформление документации на технологический процесс.

Технологическая схема сборки узла РЭА является одним из основных документов, составляемых при разработке ТП сборки. Различают технологические схемы сборки веерного типа, где стрелками указывают направление сборки деталей и узлов, и схемы сборки с базовой деталью, где указана последовательность сборочного процесса [6].

При составлении схемы сборки с базовой деталью выделяют *базовый элемент* (базовую деталь или сборочную единицу), в качестве которого выбирают ту деталь, поверхности которой будут в дальнейшем использованы при установке в готовое изделие. В большинстве случаев базовой деталью служат плата (рис. 2.1), панель, конструкционная рамка и другие элементы несущих конструкций изделия.

От базовой детали к готовой сборочной единице проводят главную линию сборки, а от устанавливаемых деталей (сборочных единиц) – линии до пересечения с ней. Расположение точек пересечения на главной линии отражает выбранную последовательность сборки [6, 9].

При построении технологической схемы сборки каждую деталь (сборочную единицу) изображают в виде прямоугольников (см. рис. 2.1), в которых указывают: 1 – номер детали по спецификации; 2 – наименование; 3 – обозначение; 4 – количество. На схеме текстом в прямоугольных рамках также указывают операции получения механических соединений (свинчивание, склеивание, сварка и пр.), электрического монтажа (пайка, сварка, накрутка, раскладка проводов), контроля и герметизации (промывка, сушка, лакирование и т.п.). Эти операции указывают в том месте, где они будут выполняться. Для упорядочения схемы сборки по одну сторону от главной линии изображают устанавливаемые детали (сборочные единицы), по другую – крепежные детали и монтажные операции [6, 9].

Содержание технологической схемы сборки узла РЭА определяется его конструкцией. Как уже отмечалось ранее, при наличии в конструкции изделия поверхностно-монтируемых компонентов (ПМ-компонентов) выделяют три основных варианта конструктивного исполнения узлов РЭА [9]: поверхностный монтаж (тип 1), смешанный монтаж (тип 2) и смешанно-разнесенный монтаж (тип 3).

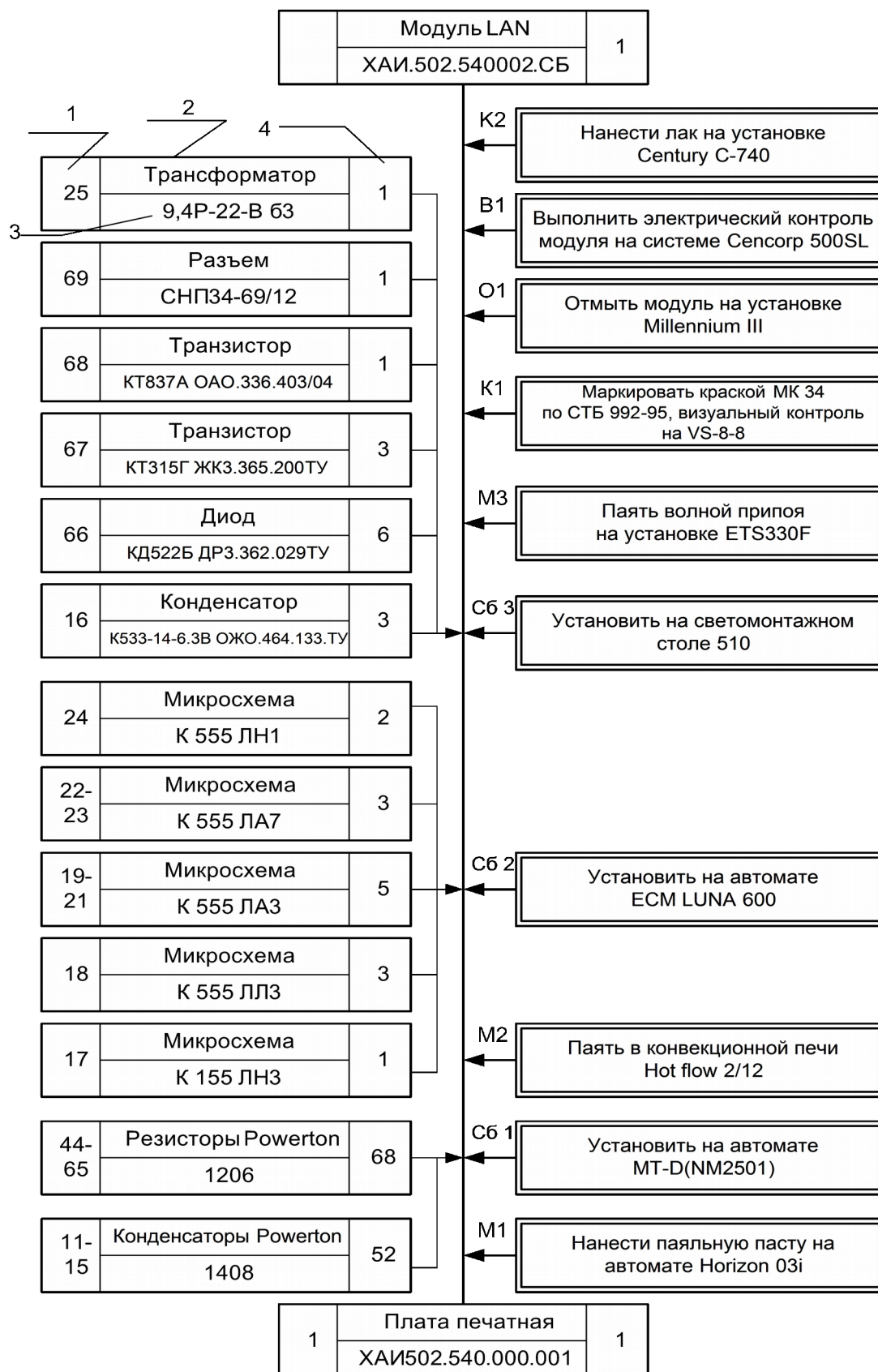


Рис. 2.1. Технологическая схема сборки узла с базовой деталью

Укрупненные схемы типовых ТП сборки для разных вариантов конструктивного выполнения узлов показаны на рис. 2.2 – 2.4.

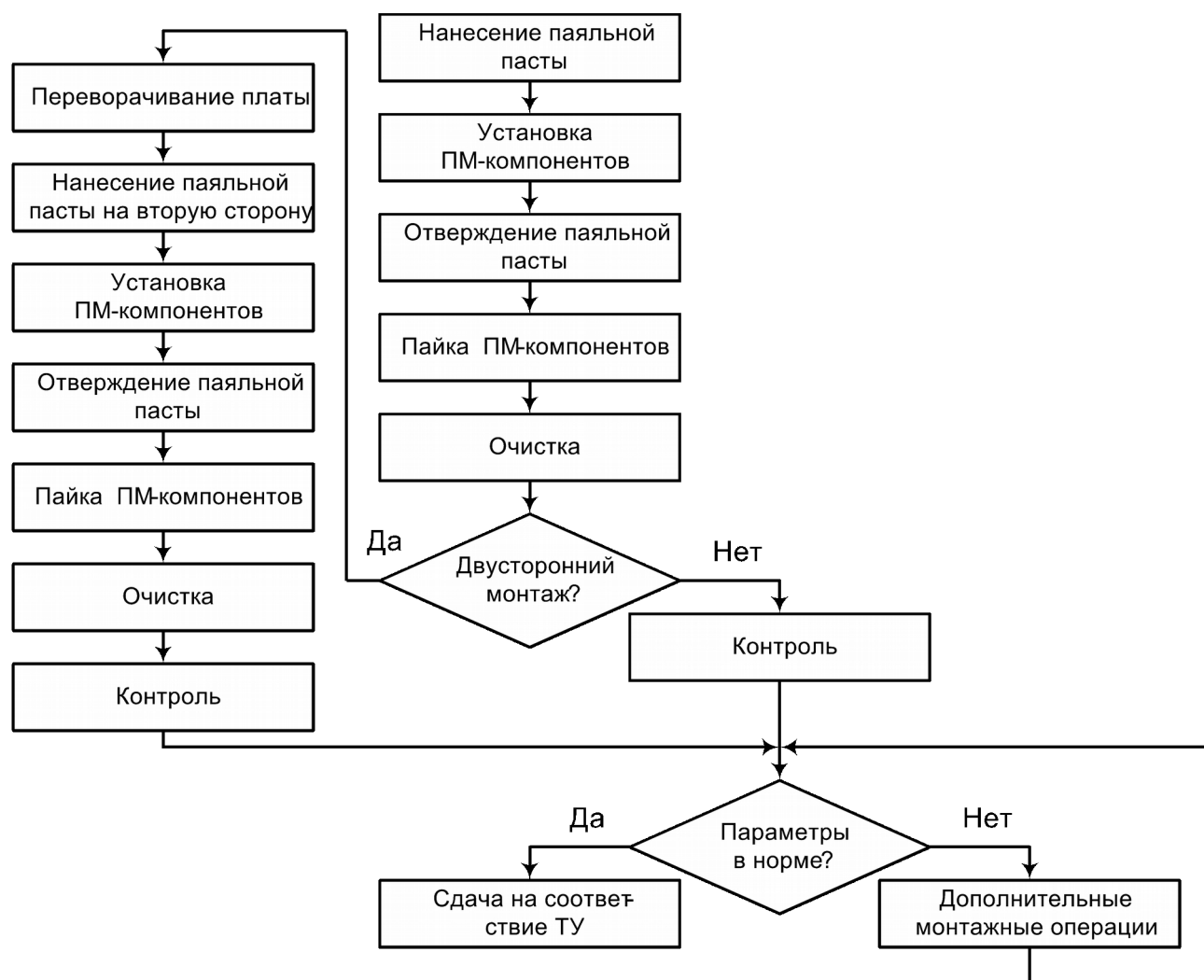


Рис. 2.2. Схема типового ТП сборки при поверхностном монтаже ПМ-компонентов

Обычно типовой ТП сборки узла РЭА начинается с входного контроля параметров деталей узла РЭА, комплектования и размещения в технологической таре необходимых компонентов. Далее готовят к монтажу ПМ-компоненты, проводя формовку и обрезку выводов, их флюсование и лужение.

ТП сборки узла первого типа начинается с нанесения (чаще всего методом трафаретной печати) припойной пасты на контактные площадки (см. рис. 2.2). Подготовленные компоненты устанавливают на печатную плату и осуществляют их пайку. Некоторые припойные пасты подсушивают перед пайкой для удаления летучих соединений и стабилизации свойств. Для плат с двусторонней установкой ПМ-компонентов приведенные выше операции повторяются [11].

В ТП сборки узлов второго типа используются все операции,

характерные для технологических процессов сборки узлов типа 1 и 3, являясь их комбинацией (рис. 2.3). Это наиболее сложный вариант ТП для практической реализации, потому что содержит максимальное число операций.

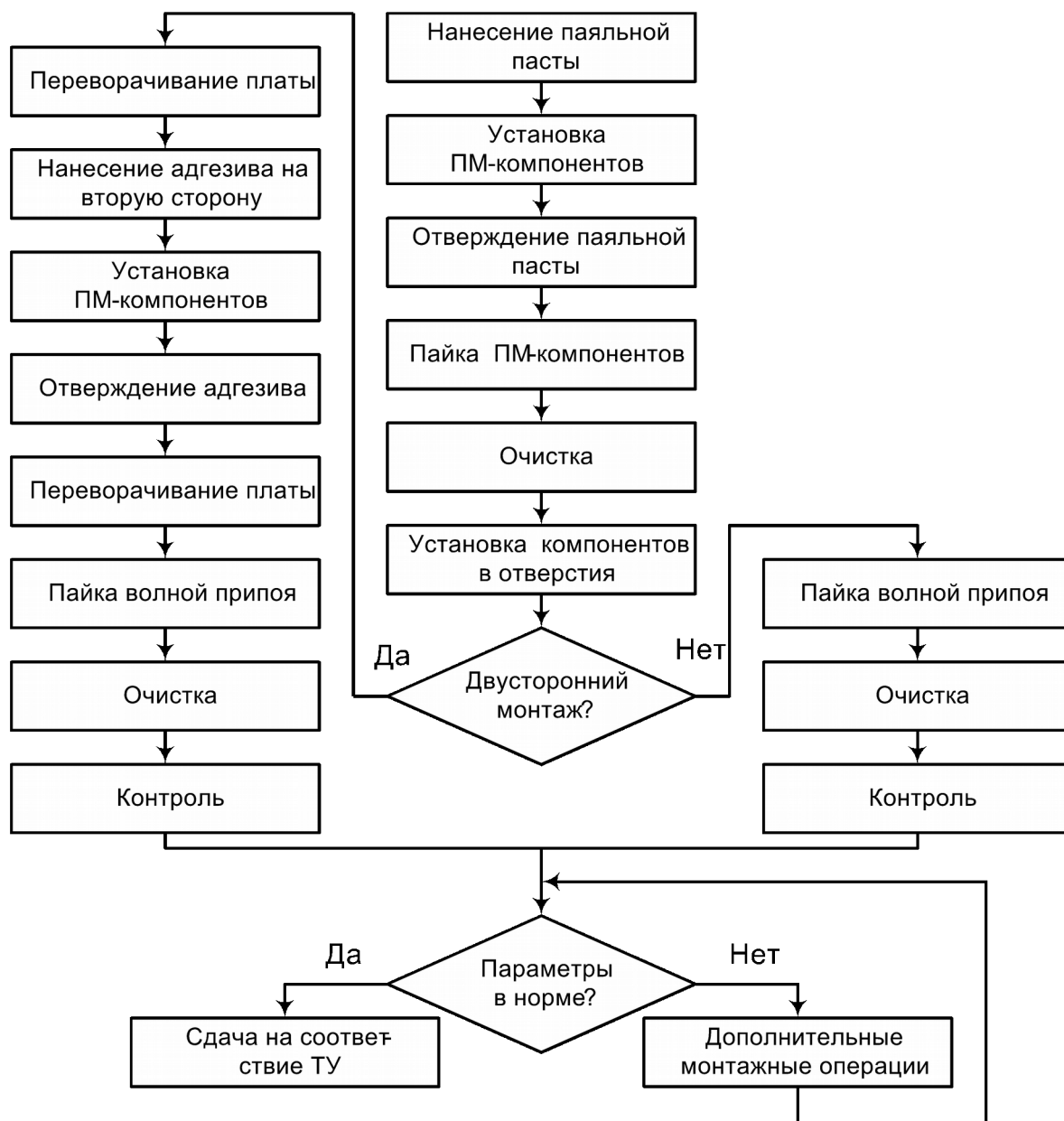


Рис. 2.3. Схема типового ТП сборки при смешанном монтаже ПМ-компонентов

При смешанно-разнесенном монтаже подготовленных ПМ-компонентов первой операцией будет автоматизированная установка компонентов со штыревыми выводами с их подгибкой. Обычно эта операция выполняется на серийном оборудовании. Далее плату переворачивают и на места установки ЭРЭ наносят адгезив. С помощью автоматических укладчиков устанавливают ПМ-компоненты, подсушивают

адгезив в конвекционных или инфракрасных печах. После отверждения адгезива плату переворачивают и проводят пайку выводов волной припоя (см. рис. 2.4) [9, 11].

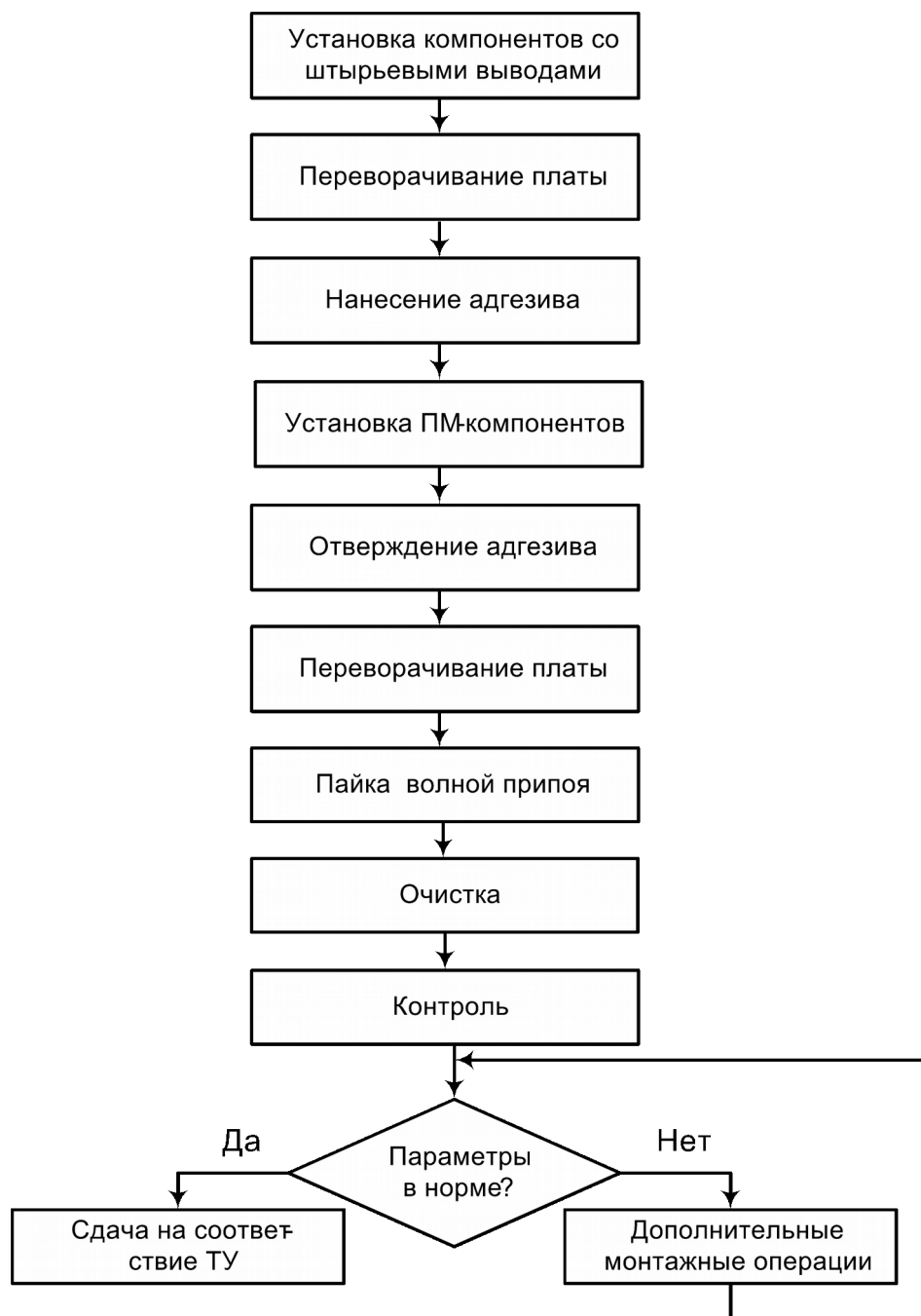


Рис. 2.4. Схема типового ТП сборки при смешанно-разнесенном монтаже ПМ-компонентов

Заключительными операциями типовых ТП сборки узлов РЭА являются очистка и контроль.

Операции очистки готовых узлов необходимы для удаления флюса, продуктов пайки и прочих загрязнений. Обычно они выполняются на механизированных конвейерных линиях.

Этап контроля модулей – наиболее ответственный и трудоемкий. Кроме визуального контроля проводят контроль параметров узла в отладочном, диагностическом и контрольном режимах с помощью специальной аппаратуры, стендов и автоматических систем контроля. Если контролируемые параметры не соответствуют требованиям технической документации, то проводят замену неисправных ПМ-компонентов, что требует дополнительных монтажных операций и повторного контроля параметров. Годные узлы проходят операции лакирования и сушки и, если необходимо, дополнительные испытания на соответствие требованиям технических условий (ТУ) на изделие [11].

На основе схемы сборки разрабатывают маршрутный ТП сборки и монтажа и в соответствии с ГОСТ 3.1118-82 заполняют маршрутную карту. Эти документы являются основными; именно в них описывается весь процесс в технологической последовательности выполнения операций.

Порядок выполнения работы

1. Изучить электрическую схему узла РЭА, оценка технологичности конструкции которого проводилась в соответствии с заданным вариантом.

2. Подготовить сборочный чертеж блока на печатной плате в соответствии с перечнем элементов, разработанным в лабораторной работе № 1. Составить спецификацию.

3. Проанализировать конструкцию узла РЭА, выбрать типовой технологический процесс сборки узла, подобрать необходимое технологическое оборудование (см. Приложение А).

4. Разработать технологическую схему сборки узла РЭА с базовой деталью.

По результатам лабораторной работы согласно ГОСТ 3008-95 оформить отчет, который должен содержать титульный лист, теоретическое введение, сборочный чертеж узла РЭА, его спецификацию, схему сборки узла с базовой деталью и необходимые выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие задачи решают при разработке технологических процессов? Что такое типовой технологический процесс?

2. Перечислите основные этапы разработки технологических процессов на примере типового процесса сборки узла РЭА.

3. Какие типы схем сборки Вы знаете? В чем их преимущества и недостатки?

4. Приведите основные правила построения схемы сборки узла с базовой деталью. Используя результаты, полученные при выполнении лабораторной работы, поясните алгоритм ее построения. Что указывается

на этой схеме?

5. Выполните сравнительный анализ типовых технологических процессов сборки узла РЭА в зависимости от типа поверхностно-монтируемых компонентов.

Лабораторная работа № 3

РЕГЛАМЕНТАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЭА

Цель работы – изучить методы сочетания выполнения технологических операций во времени и их влияние на длительность технологического цикла для разных видов движения партии деталей, а также механизмы сокращения длительности технологического цикла.

Теоретическое введение

Наибольшие возможности для повышения эффективности действующего производства без значительных капитальных вложений открывает рационализация организации производственного процесса во времени. Организация производственного процесса во времени наиболее полно характеризуется структурой и длительностью [1].

Длительность – это календарный период времени между началом и окончанием производственного процесса изготовления одного изделия (партии однотипных изделий), или время между запуском предметов труда в производство и выпуском готовой продукции [12].

В соответствии со структурой производственного процесса длительность производственного цикла определяется рабочим периодом и временем перерывов, т. е. [1, 12]

$$T = T_o + T_k + T_{mp} + T_e + T_{пер} , \quad (3.1)$$

где T_o – длительность операционного цикла; T_k – длительность выполнения контрольных операций; T_{mp} – длительность внутризаводской транспортировки изделий; T_e – длительность естественных процессов, $T_{пер}$ – длительность перерывов.

Основной составляющей длительности производственного цикла является время выполнения технологических операций (операционный цикл), который определяют по одному или нескольким цехам в зависимости от технологического маршрута.

При определении длительности многооперационного цикла в качестве одного из основных факторов учитывают степень одновременности (параллельности) обработки изделий на разных операциях, которая находится методом совмещения во времени операций

технологического процесса.

Существуют три способа совмещения выполнения операций в производстве: последовательный, параллельный, последовательно-параллельный.

Для *последовательного* способа выполнения операций длительность

$$T_o^{noc} = Nt_1 + Nt_2 + \dots + Nt_m = N \sum_{i=1}^m t_i, \quad (3.2)$$

где m – количество операций; $t_{изд} = \sum_{i=1}^m t_i$ – время изготовления одного изделия на всех операциях, мин; N – количество деталей в партии; t_i – время обработки одного изделия на одной операции.

График определения длительности операционного цикла (циклограмма) при последовательном выполнении технологических операций представлен на рис. 3.1.

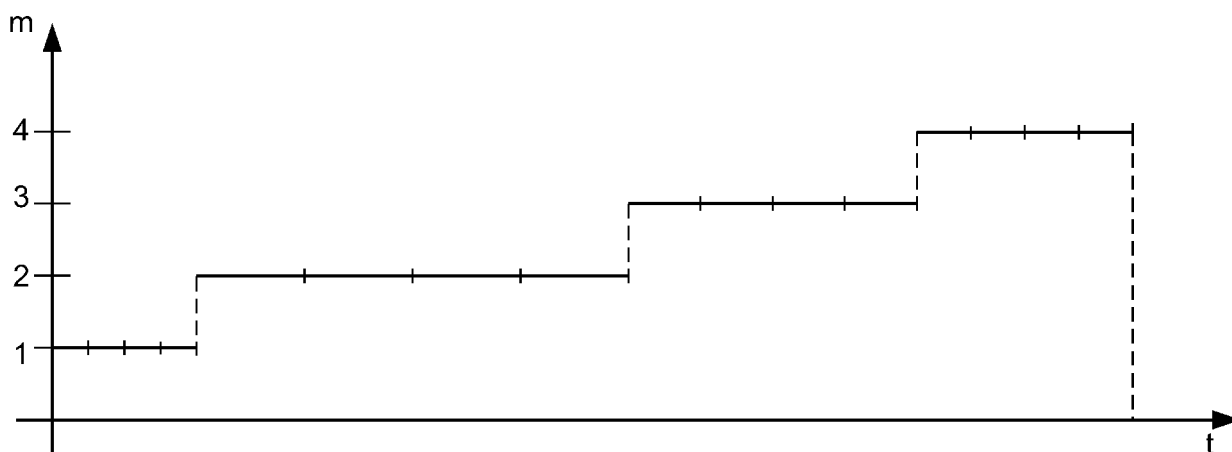


Рис. 3.1. Циклограмма T_o^{noc} при $N = 32$, $t_1 = 1$, $t_2 = 2,5$, $t_3 = 2$, $t_4 = 1,5$

При *параллельном* выполнении операций каждое изделие (партия) переходит на следующую операцию, не дожидаясь пока все остальные изделия пройдут данную операцию программы. Для такого вида движения длительность

$$T_o^{пар} = (N - p)t_{эл} + p \sum_{i=1}^m t_i = (N - p)t_{эл} + pt_{изд}, \quad (3.3)$$

где $t_{эл}$ – время изготовления одного изделия на наиболее длинной (главной) операции; p – количество изделий в передаточной партии.

Циклограмма для определения длительности T_o при параллельном выполнении операций (где $N = 32$, $t_1 = 1$, $t_2 = 2,5$, $t_3 = 2$, $t_4 = 1,5$, $p = 8$)

изображена на рис. 3.2.

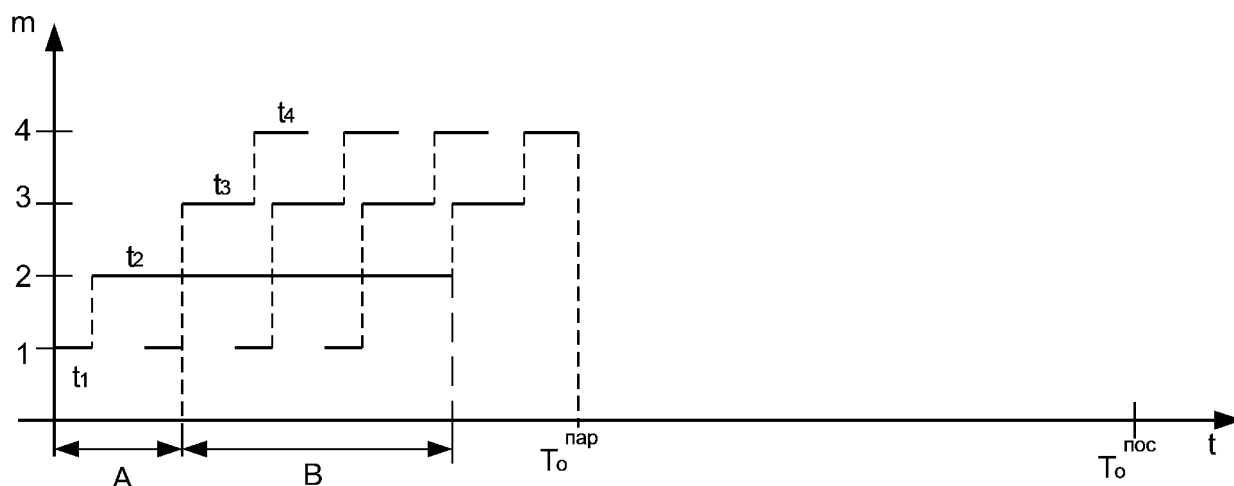


Рис. 3.2. Циклограмма $T_o^{\text{пар}}$, где $B = (n - p)t_{\text{эл}}$, $A = t_1 + t_2$

Для последовательно-параллельного выполнения операций длительность

$$T_o^{n-p} = T_o^{\text{пос}} - \sum_{i=1}^{m-1} \tau_i = T_o^{\text{пос}} - (N - p) \sum_{i=1}^{m-1} t_{\text{кор}}, \quad (3.4)$$

где τ_i – перекрываемое время или время выполнения смежных операций; $m-1$ – количество пар смежных операций при m операций в ТП; $t_{\text{кор}}$ – наиболее короткая операция в рассматриваемой паре смежных операций.

График определения длительности T_o при последовательно-параллельном выполнении операций показан на рис. 3.3.

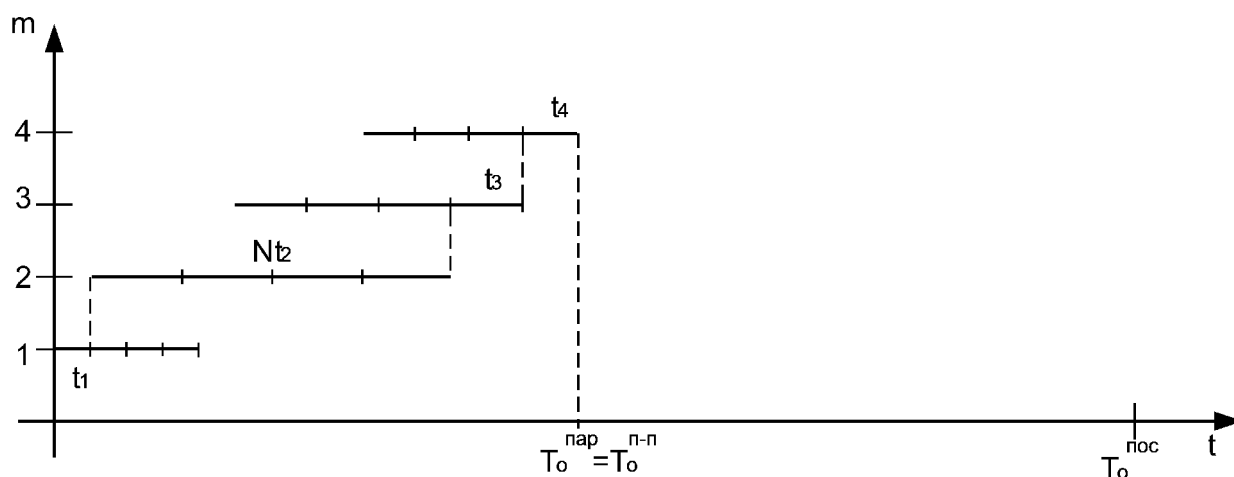


Рис. 3.3. Длительность T_o^{n-p}

Поточное производство – наиболее прогрессивная форма организации производственного процесса, которая базируется на

ритмичной повторяемости согласованных во времени основных и вспомогательных операций, выполняемых на специализированных рабочих местах в последовательности технологического процесса (поточной линии) [1, 13].

Вид поточной линии в основном зависит от степени загрузки рабочих мест на каждой операции. Для осуществления поточного производства должно выполняться следующее условие [1]:

$$0,85 \leq K_n = \frac{t_{um.}}{\tau} \leq 1, \quad (3.5)$$

где K_n – коэффициент потоковости; $t_{um.}$ – норма штучного времени; τ – такт выпуска.

Такт выпуска – интервал времени между последовательным выпуском двух одинаковых единиц продукции на поточной линии, в общем случае определяемый соотношением

$$\tau = \frac{\Phi_{\partial}}{N}, \text{ мин/шт.}, \quad (3.6)$$

где Φ_{∂} – действительный фонд времени работы линии в планируемом периоде (сутки, месяц или год), мин; N – производственная программа выпуска за этот же период, шт.

Если изделия в потоке передаются партиями, то *ритм партии*

$$R = \tau \cdot p, \quad (3.7)$$

где p – количество изделий в транспортной партии.

Величина, обратная такту, называется *темпом* и определяется по формуле

$$r = \frac{N}{\Phi_{\partial}} = \frac{1}{\tau}, \text{ шт./мин.} \quad (3.8)$$

Существует большое количество разновидностей и форм поточного производства. Их число определяется, в частности, типом поточных линии – первичным звеном поточного производства.

Поточная линия – совокупность рабочих мест, предназначенных для обработки или сборки конструктивно и технологически однородных предметов труда одного или нескольких наименований с высокой степенью специализации рабочих мест [1, 12].

Для уточнения специализации линии, номенклатуры групп обрабатываемых деталей, номенклатуры и количества единиц технологического оборудования рассчитывают коэффициент загрузки оборудования (рабочего места)

$$\eta_i = \frac{C_p^i}{C_{np}^i}, \quad (3.9)$$

где C_p^i – количество единиц оборудования на i -й операции, определяемое по формуле

$$C_p^i \geq \frac{t_i^{шт.}}{\tau} \quad (3.10)$$

($t_i^{шт.}$ – норма штучного времени на i -й операции); C_{np}^i – принятое количество оборудования на операциях, которое вычисляется путем округления расчетного значения C_p^i до целого в сторону *увеличения*, если перегрузка рабочего места на операции превышает 10 %; в противном случае округление производят в сторону *уменьшения*.

Далее находят средний коэффициент загрузки оборудования на линии

$$\eta_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^m C_p^i}{\sum_{i=1}^m C_{np}^i} . \quad (3.11)$$

Длительность операционного *цикла* (периода) изготовления изделия на всех операциях по всем рабочим местам на потоке

$$T_o^{поток} = C_{np} \tau = \tau \sum_{i=1}^m C_{np}^i , \quad (3.12)$$

где C_{np} – количество оборудования в линии по всем операциям.

При расчете единиц оборудования необходимо помнить, что площадь цеха ограничена. Площадь под оборудование вычисляется по формуле [13]

$$S = \sum_{i=1}^m C_{np}^i S_i , \quad (3.13)$$

где S_i – площадь под оборудование на i -й операции.

Оптимизация организационно-технических параметров производства происходит пошагово. Последовательно увеличивают загрузку линии так, чтобы при каждом последующем шаге очередная самая загруженная операция догружалась до 100 %. При этом на очередном шаге выбирают максимальный коэффициент загрузки из всех операций η_{max} и через него находят новые скорректированные значения параметров поточной линии [13]:

- скорректированную производственную программу

$$N_{ck} = \frac{N}{\eta_{max}} ;$$

- скорректированное значение такта поточной линии

$$\tau_{ck} = \tau \cdot \eta_{max};$$

- скорректированное расчетное количество оборудования

$$C_p^{ck} = \frac{C_p}{\eta_{max}};$$

- скорректированный коэффициент загрузки на операциях

$$\eta_{ck} = \frac{C_p^{ck}}{C_{np}^{ck}}.$$

Далее рассчитывают площадь под оборудование, находят длительность изготовления изделия на потоке при новых значениях такта и принятом количестве оборудования и пересчитывают средний коэффициент загрузки. Корректировку производят до тех пор, пока скорректированные показатели не превысят максимально допустимых значений. По результатам расчета делают вывод о возможности организации поточного производства на предприятии:

1. Если $\eta_{cp}^{ck} \geq 0,85$, то принимают непрерывно-поточное производство и рассчитывают следующие параметры:

- такт (τ);
- ритм (R);
- темп (r);
- длительность операционного цикла на потоке ($T_o^{поток}$);
- количество рабочих мест на линии (C_{np});
- длину рабочей части конвейера (L_p);
- полную длину конвейера (L_{Σ});
- скорость движения тягового органа конвейера (ленты, цепи, каната).

Такт, ритм и темп поточной линии вычисляют по формулам (3.6) – (3.8) соответственно, длительность операционного цикла на потоке – по формуле (3.12). Количество рабочих мест на линии определяют с учетом принятых правил округления по формуле (3.10).

Чаще всего поточная линия оборудуется конвейером, который поддерживает и регламентирует такт работы, обеспечивая её непрерывность. *Конвейером* называют средство для транспортировки грузов на небольшие расстояния или систему поточного производства на базе движущегося объекта для сборки [1].

Длина рабочей части конвейера определяется по формуле

$$L_p = C_{np} I, \quad (3.14)$$

где I – длина рабочего места (шаг конвейера), т.е. расстояние между осями двух смежных изделий, равномерно расположенных на линии, м.

Длина рабочего места конвейера зависит от характера

технологического процесса, применяемого оборудования, формы и размеров изделия

Обычно длина рабочего места рабочего конвейера принимается в пределах 0,6 ... 0,8 м, а распределенного конвейера – в пределах 1,0 ... 1,2 м.

Размещение рабочих мест на линии может быть односторонним и двусторонним (в шахматном) порядке. В последнем случае длина рабочей части конвейера уменьшится вдвое, т. е.

$$L_p = l \cdot \left(\frac{C_{np}}{2} + 1 \right).$$

Общая (полная) длина конвейера вычисляется так

$$L_{\Sigma} = L_p + 2(1,5 \dots 2) = C_{np}l + 2(1,5 \dots 2). \quad (3.15)$$

Скорость тягового органа конвейера при непрерывном движении рассчитывается по формуле

$$v = \frac{l}{\tau}. \quad (3.16)$$

2. Если $\eta_{ср}^{ск} < 0,85$, то принимают прерывно-поточное производство и переходят к построению стандарт-плана.

По *стандарт-плану* определяют способ и период передачи деталей с операции на операцию (по одной детали или транспортными партиями, через такт или через несколько тактов), периодичность и количество подач заготовок на первую операцию, что позволяет выявить возможность последовательного многостаночного обслуживания станков на линии одним рабочим. Стандарт-план составляют на период оборота, работа по которому повторяется до тех пор, пока действует данная производственная программа. Это позволяет добиться полного использования фонда рабочего времени.

На основании стандарт-плана уточняют количество рабочих, необходимое для обслуживания линии, устанавливают способ и периоды передачи деталей с операции на операцию, виды и размер заделов между операциями, порядок их расходования и восполнения.

Для построения стандарт-плана однопредметной прерывно-поточной линии необходимо вычислить:

1. Количество полностью загруженных рабочих мест на i -й операции

$$C_i = [C_p^i],$$

где $[C_p^i]$ – целая часть от числа рассчитанных рабочих мест на i -й операции.

2. Коэффициент недогрузки рабочих мест на i -й операции

$$\mu_i = C_p^i - C_i = C_p^i - [C_p^i].$$

3. Время работы недогруженного рабочего места на i -й операции

$$T_i = \mu_i t_{об},$$

где $t_{об}$ – длительность периода оборота.

Пример стандарт-плана приведен на рис. 3.4.

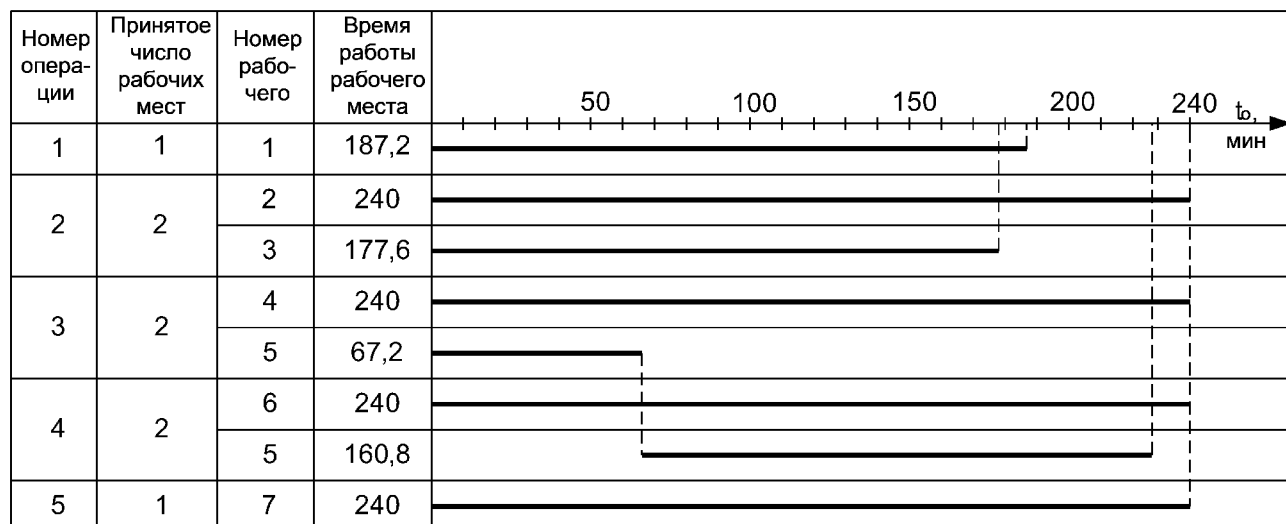


Рис. 3.4. Стандарт-план однопродуктовой прерывно-поточной линии

Порядок выполнения работы

1. Производственный процесс изготовления партии деталей в количестве N шт. за смену состоит из нескольких операций, длительность которых $t_i^{шт.}$ приведена в табл. Б.1. Необходимо:

а) выполнить графические расчеты длительности операционного цикла для трех видов движения партии деталей: последовательного, параллельного, последовательно-параллельного;

б) выполнить аналитические расчеты длительности операционного цикла для трех видов движения партии деталей (см. формулы (3.2) – (3.4));

в) определить длительность всего производственного цикла для разных видов движения партии (см. формулу (3.1));

г) обосновать способ организации производственного процесса.

Следует иметь в виду, что размер передаточной партии равен p , а на передачу партии с операции на операцию затрачивается $T_{тр}$ мин. При выборочном контроле предусматривается проверка 10 % от партии деталей после первой и последней операций. Длительность проверки одной детали составляет T_k мин.

2. Найти организационно-технические параметры производственного процесса с учетом ограничений на площадь под оборудование (см.

табл. Б.2). Результаты расчета представить в виде табл. 3.1.

Таблица 3.1

Организационно-технические параметры процесса производства

Номер операции	Количество оборудования на операциях		Коэффициент загрузки	Площадь под оборудование на операции, м ²
	расчетное	принятое		
1				
2				
3				
4				
5				
Объем производства, шт.				
Площадь под оборудование, м ²				
Такт производственного процесса, мин/шт.				
Средний коэффициент загрузки оборудования				
Длительность операционного цикла изготовления изделия на потоке, мин				

3. Оптимизировать организационно-технические параметры производственного процесса для поточной линии по приведенному выше алгоритму. Полученные результаты представить в виде табл. 3.1.

4. Сделать вывод о типе поточного производства.

5. Если в результате оптимизации значение $\eta_{cp}^{ck} \geq 0,85$, то найти параметры непрерывно-поточного производства (см. формулы (3.6) – (3.8), (3.12), (3.14) – (3.16)).

Если в результате оптимизации $\eta_{cp}^{ck} < 0,85$, то для оптимизации прерывно-поточного производства построить стандарт-план, где в качестве периода оборота взять длительность половины смены.

По результатам лабораторной работы согласно ГОСТ 3008-95 оформить отчет, который должен содержать титульный лист, теоретическое введение, необходимые расчеты, регламентирующие производственный процесс изготовления РЭА, и выводы.

Контрольные вопросы

1. Как найти длительность производственного процесса во времени?
2. Какие виды совмещения производственных операций во времени Вы знаете? Приведите формулы расчета длительности операционного цикла для выбранного способа совмещения производственных операций во времени. На примере своего выполненного задания поясните графический способ расчета длительности операционного цикла при разных способах совмещения технологических операций.

3. Перечислите основные параметры непрерывно-поточного производства.
4. Приведите алгоритм оптимизации организационно-технических параметров производства.
5. Что такое стандарт-план? Приведите алгоритм построения стандарт-плана при организации прерывно-поточного производства.

Лабораторная работа № 4

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА РЭА

Цель работы – изучить статистические методы анализа точности производства, проанализировать возможность применения полученных результатов для решения задач организации производства.

Теоретическое введение

Под точностью производства понимают степень соответствия изготовленного изделия заданным формам, размерам, механическим и физическим свойствам, которые зависят от назначения этого изделия, и т. д. [1].

Точность технологических процессов определяют двумя методами: теоретическим, т. е. предварительным, проведенным заранее, и экспериментальным, проведенным после того, как процесс свершился в производственных условиях. В свою очередь, теоретически определить точность производства можно двумя методами: расчетно-аналитическим и вероятностным.

Расчетно-аналитический метод требует полной детерминированности процесса. При реализации такого метода возникают следующие трудности:

- невозможно учесть все факторы, влияющие на точность технологического процесса;
- расчет требует составления и решения большого количества взаимосвязанных уравнений;
- по точности изготовления одного изделия нельзя сделать выводы о точности технологического процесса в целом.

Поэтому для комплексной оценки точности технологического процесса, охватывающей все практически возможные и важные комбинации условий прохождения процесса, используют вероятностный метод.

В математической статистике широкое распространение получил *выборочный метод*, состоящий в следующем [14].

Пусть есть некоторая большая (генеральная) совокупность объектов,

из которой извлекают n объектов, где n характеризует объем выборки. n объектов подвергают исследованию, по его результатам составляют протокол, регистрирующий номер опыта j ($j = \overline{1, n}$) и значение x_j , которое приняла в этом опыте случайная величина X . Такой протокол называется первичной статистической совокупностью, результаты обработки которой характеризуют всю генеральную совокупность или ее свойства [1, 14].

При большом количестве наблюдений простая статистическая совокупность перестает быть удобной формой записи статистического материала. Для придания ему большей компактности и наглядности статистический материал подвергают дополнительной обработке – строят «статистический ряд» в такой последовательности.

Предположим, что результаты наблюдений над случайной величиной X оформлены в виде простой статистической совокупности.

Шаг 1. Получить упорядоченную статистическую совокупность, т.е. результаты измерений над случайной величиной X (данные) в протоколе перенумеровать и расположить в порядке возрастания.

Шаг 2. Весь диапазон полученных значений данных разделить на интервалы (разряды) и подсчитать количество значений l_i , приходящееся на каждый i -й разряд.

Шаг 3. Найти частоту появления значения данных в i -м разряде по формуле

$$p_i^* = \frac{l_i}{n} \text{ при условии } \sum_{i=1}^n p_i^* = 1,$$

где n – количество данных в статистической совокупности.

Шаг 4. Представить группированный статистический ряд в виде табл. 4.1, где $x_{i-1} \dots x_i$ – границы разрядов; p_i^* – соответствующая частота; k – количество разрядов.

Таблица 4.1

Группированный статистический ряд

Разряды $x_1 \dots x_2$	$x_2 \dots x_3$	...	$x_{k-1} \dots x_k$	
Частота	p_1^*	p_2^*	...	p_k^*

По данным статистического ряда приближенно строят *статистическую функцию* распределения по нескольким точкам (рис. 4.1).

Значение $F^*(x_i) = P^*(X < x)$ находят по формуле

$$F^*(x_i) = P^*(X < x) = \frac{l_i}{n} + F(x_{i-1}),$$

где x_i – границы разрядов в статистическом ряде; i – номер разряда в статистической совокупности.

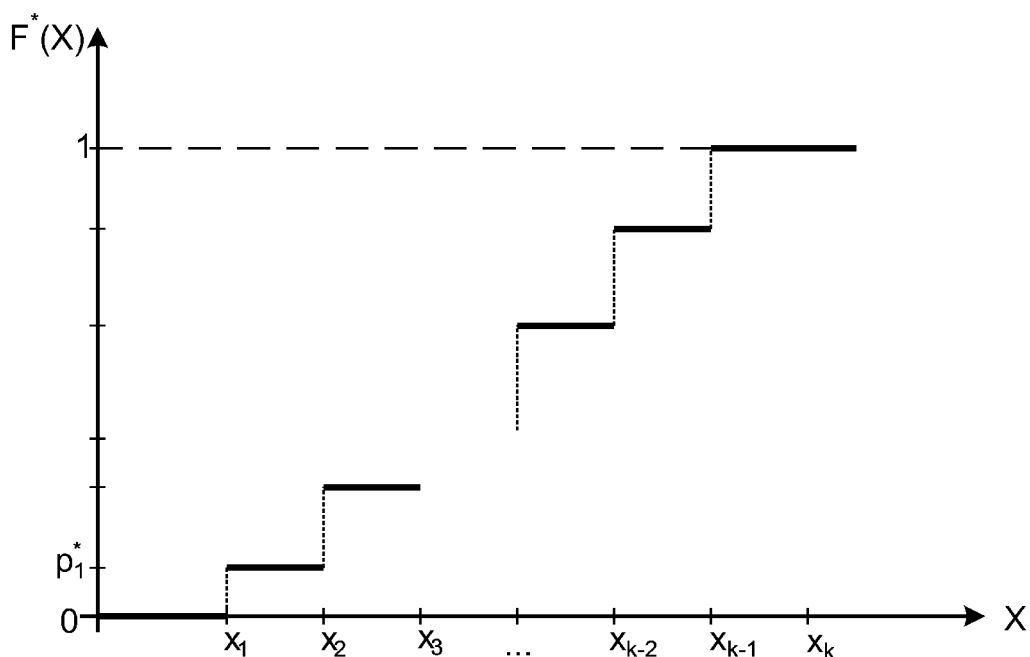


Рис. 4.1. Статистическая функция распределения

Функция $F^*(X)$ изменяется в пределах от 0 до 1 и имеет скачки величиною p_i^* в точках x_i ($i = \overline{1, k}$).

Соединяя полученные точки плавной кривой, строим приближенный график статистической функции распределения.

Графически статистический ряд часто оформляют в виде *гистограммы* – эмпирического распределения. Алгоритм построения гистограммы следующий:

- составить таблицу плотностей частоты, аналогичную таблице группированного статистического ряда, разделяя каждую частоту p_i^* на соответствующую длину разряда $\Delta_i = x_{i+1} - x_i$;

- отложить по оси абсцисс разряды и на каждом разряде как на основании построить прямоугольник площадью p_i^*

Среди основных статистических параметров выборки данных следует выделить:

- математическое ожидание;
- дисперсию;
- среднеквадратическое отклонение;
- закон распределения.

Для случайной дискретной величины *математическое ожидание* – это сумма произведений всех возможных ее значений, умноженная на вероятности этих значений, т. е.

$$m_x = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i, \quad (4.2)$$

где m_x – математическое ожидание случайной величины; x_i – возможное значение случайной дискретной величины; p_i – вероятность появления значения x_i .

Дисперсия случайной величины – математическое ожидание квадрата соответствующей центрированной величины. Для непосредственного вычисления дисперсии случайной величины используют формулу

$$D_x = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 p_i = \alpha_2 - m_x^2, \quad (4.3)$$

где $\alpha_2 = \sum_{i=1}^{\infty} x_i^2 p_i$ – второй начальный момент.

Дисперсия является характеристикой рассеивания (вариации) случайной величины около ее математического ожидания. Она имеет размерность квадрата случайной величины, что не всегда удобно. Для наглядности в качестве меры вариации пользуются числом, размерность которого совпадает с размерностью величины X . Такая величина называется *средним квадратическим отклонением* (иначе – «стандартом», или «стандартным отклонением») случайной величины и определяется по формуле

$$\sigma_x = \sqrt{D_x}. \quad (4.4)$$

При большом количестве опытов вычисление характеристик по формулам (4.2) – (4.4) становится громоздким. Для упрощения расчетов считают приближенно значение случайной величины в каждом разряде постоянным и равным среднему значению, которое выступает в роли «представителя» разряда. Тогда статистические числовые характеристики выражают приближенными формулами

$$m_x^* = \sum_{i=1}^k \hat{x}_i p_i^*, \quad (4.5)$$

$$D_x^* = \sum_{i=1}^k (\hat{x}_i - m_x^*)^2 p_i^* = \alpha_2^* - (m_x^*)^2, \quad (4.6)$$

где $\hat{x}_i$ – «представитель» i -го разряда; p_i^* – частота i -го разряда; k – количество разрядов.

Законом распределения называется соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями. Наиболее общей формой закона распределения, пригодной для всех случайных величин, является функция распределения, т.е.

$$F(x) = P\{X < x\}$$

– вероятность того, что X примет значение, меньшее заданного x .

Кривая распределения характеризует величину случайных ошибок. Ошибка, постоянная в пределах партии, на форму кривой распределения не влияет – она вызывает лишь сдвиг кривой в направлении оси абсцисс. Ошибки, имеющие закономерное изменение, влияют на форму кривой распределения [1].

Многочисленные статистические исследования в этой области показали, что для большинства технологических процессов при отсутствии влияния доминирующих факторов, нарушающих правильный ход операции, распределение ошибок подчиняется закону Гаусса (нормальному закону). Существенных отступлений от этого закона можно ожидать, когда среди действующих факторов есть один или несколько доминирующих.

Практическое граничное поле рассеивания ошибок, подчиняющихся закону Гаусса, определяется соотношением [1]

$$\Delta_p = 6\sigma_x. \quad (4.7)$$

Точность исследуемого технологического процесса сопоставляется с необходимой путем сравнения поля допуска δ с граничным практическим полем рассеивания Δ_p и определяется коэффициентом технологической точности

$$\eta = \frac{\Delta_p}{2\delta} = \frac{6\sigma_x}{Z_B - Z_H}, \quad (4.8)$$

где Z_B и Z_H – предельные верхнее и нижнее значения контролируемого параметра.

Значение коэффициента $\eta \leq 0,75$ соответствует удовлетворительной организации технологического процесса: этот процесс обеспечивает заданную точность изготовления. При $\eta = 0,76 \dots 0,98$ технологический процесс требует внимательных наблюдений, а при $\eta > 0,98$ часть изделий будет браком: необходимо немедленно выяснить причину появления дефектных изделий и принять меры управляющего воздействия [1].

Кроме этого, следует сопоставить среднее значение m_x с серединой поля допуска μ_0 . Разница между значениями m_x и μ_0 должна стремиться к нулю (в идеале равняться нулю). В этом случае партия деталей будет изготовлена без брака.

Площадь под нормальной кривой распределения между нижним предельным значением Z_H и верхним предельным значением Z_B представляет собой ту долю совокупности изделий, для которой значения лежат в пределах поля допуска, т.е. долю годной продукции Q . Эта доля определяется как вероятность того, что случайная величина примет значение в пределах от Z_H до Z_B , т. е. [14, 15]

$$Q = P(Z_H < X < Z_B) = \Phi\left(\frac{Z_B - m_X}{\sigma_X}\right) - \Phi\left(\frac{Z_H - m_X}{\sigma_X}\right), \quad (4.9)$$

где $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ – нормальная функция распределения* (табличная функция, значения которой представлены в табл. Б.4).

Из формулы (4.9) следует, что доля годной продукции зависит от допуска, а также от значений m_X и σ_X .

Метод кривых распределения позволяет оценить физическую точность технологического процесса, но не учитывает последовательность обработки деталей. Для устранения этого недостатка используют точностные диаграммы.

Алгоритм построения точностных диаграмм [15]:

Шаг 1. Измерить контролируемый параметр в генеральной совокупности объектов, составить протокол результатов измерений.

Шаг 2. Статистически обработать данные для получения основных статистических характеристик выборки (m_X , σ_X , закона распределения).

Шаг 3. Построить точностную диаграмму (рис. 4.2):

- на оси y отложить номинальное значение контролируемого параметра и обозначить границы поля допуска (точки А, В, С на рис. 4.2);
- через точки А, В, С провести прямые, параллельные оси x ;
- предполагая, что в начальный момент ($n = 0$) математическое ожидание контролируемого параметра X совпадает с его номинальным значением, а σ_X определяется по формуле (4.4), отложить на оси y значения $X_{НОМ}$, $X_{НОМ} + 3\sigma_X$ и $X_{НОМ} - 3\sigma_X$ (соответственно точки А, D, Е на рис. 4.2);
- обозначить на оси x значение n_1 , соответствующее объему выборки, через нее провести прямую, параллельную оси y ; на этой прямой отложить значения m_X , $m_X + 3\sigma_X$ и $m_X - 3\sigma_X$ (соответственно точки F, G, H на рис. 4.2), полученные при обработке статистического материала;
- провести прямые AF, DG, EH; моменты пересечения границ поля допуска с этими прямыми определяют момент подналадки оборудования (точка n_2 на рис. 4.2).

Порядок выполнения работы

1. По статистическому ряду, полученному в результате контрольных замеров выпускаемых резисторов с заданным номиналом, построить:

- статистическую функцию распределения;

*Из симметричности нормального распределения с параметрами $m = 0$, $\sigma = 1$ относительно начала координат следует, что $\Phi(-x) = 1 - \Phi(x)$.

- эмпирическую кривую распределения.

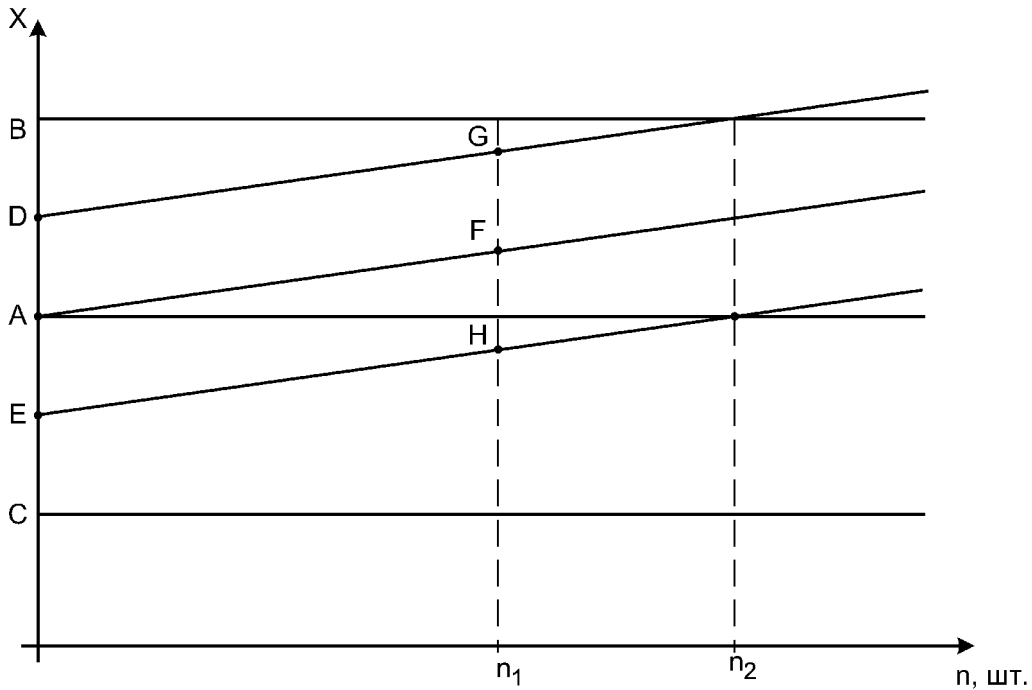


Рис. 4.2. Пример точностной диаграммы, построенной по результатам статистической обработки данных для случая, когда $m_x > x_{ном}$

2. Найти основные статистические характеристики выборки данных.

3. На основе полученных результатов построить точностную диаграмму. Учитывая, что поле допуска прибора составляет $\pm \delta$ %, определить момент подналадки оборудования.

4. По формуле (4.8) найти коэффициент технологической точности с учетом поля допуска δ (см. табл. Б.3). Дать рекомендации по улучшению технологического процесса.

5. Предполагая, что технологический процесс налажен, а распределение случайной величины описывается нормальным законом распределения, найти:

- долю изделий, отвечающую установленным требованиям (см. формулу (4.9));

- долю дефектной продукции.

По результатам лабораторной работы согласно ГОСТ 3008-95 оформить отчет, который должен содержать титульный лист, теоретическое введение, результаты контрольных замеров выпускаемых резисторов, статистическую функцию и эмпирическую кривую распределения, необходимые расчеты статистических характеристик выборки резисторов, точностную диаграмму, расчет коэффициента технологической точности, необходимые рекомендации и выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие статистические параметры выборки Вы знаете? Приведите пример для своего варианта.
2. Как найти математическое ожидание случайной величины? Что характеризует дисперсия? Для чего вводится стандартное отклонение?
3. Приведите пример применения полученных статистических данных на производстве. Чем вызвано появление случайных отклонений на производстве?
4. Сформулируйте алгоритм анализа точности технологического процесса.
5. Как оценить точность технологического процесса по точностной диаграмме? Используя результаты своей работы, поясните алгоритм построения точностной диаграммы.
6. Что такое коэффициент технологической точности?
7. Как по результатам выборочного контроля точности технологических процессов определить долю годной или дефектной продукции?

Лабораторная работа № 5

ОЦЕНИВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ УЗЛОВ РЭА

Цель работы – изучить статистические методы оценки возможностей технологических процессов удовлетворять требования, установленные в нормативной документации, при изготовлении деталей и узлов РЭА; проанализировать возможность применения полученных результатов для решения задач организации технологических процессов на производстве.

Теоретическое введение

Оценка того, насколько производственный процесс способен удовлетворить требования, установленные в нормативных документах, - типовая задача технической подготовки производства, наиболее часто решаемая в период запуска изделий в производство, при аттестации технологических процессов, организации взаимоотношений «поставщик – потребитель», планировании качества продукции и пр. [1, 15]. В случаях, когда на выходе процесса показатель качества измеряют по количественному признаку и заданы наибольшее и наименьшее предельные значения показателя качества (границы поля допуска),

соответствие производственного процесса установленным требованиям оценивают с помощью специальных показателей – показателей возможностей [15].

Особую роль показатели возможностей играют в системах качества предприятий. Современные технологические процессы должны обеспечивать высокую однородность качества продукции и низкую долю несоответствующей продукции [1]. Одним из методов оценки ожидаемого качества изделий РЭА, приемлемым для широкого спектра уровней несоответствий, может стать оценка показателей возможностей технологических процессов. Оценку ожидаемого качества на основе потенциальных характеристик процесса следует также проводить при проектировании РЭА и разработке технологических процессов. Во многих случаях это позволит избежать конфликта между требованиями конструкторских и технологических документов и возможностями реального производственного процесса [1, 15].

Показатели возможностей характеризуют потенциальные и фактические возможности технологических процессов удовлетворять установленным техническим допускам для значений выходного показателя качества, измеряемого по количественному признаку. При оценке возможностей технологических процессов по изготовлению узлов РЭА должны быть выполнены следующие условия [15]:

- индивидуальные значения показателей качества узлов РЭА должны подчиняться нормальному закону распределения (быть близкими к нему);
- предварительно должна быть проведена оценка стабильности технологического процесса;
- изменчивость результатов измерений, обусловленная измерительной системой, должна быть мала по сравнению с техническим допуском.

Стабильность технологических процессов оценивают на основе выборок с использованием контрольных карт Шухарта [16], применение которых при проектировании и внедрении технологических процессов позволяет предупреждать потери из-за брака, избегая производства непригодной продукции.

Контрольная карта – графическое средство оценки стабильности технологического процесса, использующее статистические подходы [1, 16]. В теории контрольных карт различают два вида изменчивости [17]:

1. Изменчивость из-за случайных (обычных) причин, обусловленная множеством причин, существующих на производстве постоянно, которые нелегко или невозможно выявить. Каждая из таких причин составляет очень малую долю общей изменчивости, и ни одна из них не значима сама по себе, но их сумма измерима. Исключение или уменьшение влияния

причин этого типа требует управленческих решений и выделения ресурсов на улучшение процесса и системы.

2. Реальные перемены в технологическом процессе, возникшие вследствие не характерных для него причин, например, поломка инструмента, недостаточная квалификация персонала, несоблюдение технологии производства и пр. Эти причины рассматриваются как «неслучайные» или «особые» причины изменения и теоретически могут быть устранены.

Цель контрольных карт – обнаружить неестественные изменения в данных из повторяющихся процессов и установить признаки отсутствия статистической управляемости.

При построении контрольных карт в определенные моменты времени из совокупности единиц продукции, прошедших технологический процесс, отбирают выборку, измеряют контролируемый параметр, результаты измерений заносят в специальную форму (рис. 5.1) [17].

Наименование изделия _____	Показатель качества _____			Единица измерения _____		Номер стандарта _____	
Дневная норма	Операция			Номер станка		Объем выборки _____	
Оператор			Контролер			Разработчик к/к	
Нормативы UTL _____ LTL _____			Дата			Отдел	
Срок изготовления с _____ по _____			Период сбора данных с _____ по _____			Стоимость детали	
Номер подгруппы (выборки) i	1	2	3	4	5	...	25
Значения измерений j						...	
						...	
						...	
						...	
						...	
						...	
Средние значения						...	
Размахи						...	
Среднее квадратическое отклонение						...	

Рис. 5.1. Форма для получения контрольной карты

По результатам измерений контролируемого параметра определяют статистические характеристики (центральную линию (CL), нижнюю (LCL) и верхнюю (UCL) контрольные границы), значения которых наносят на контрольную карту. ГОСТ Р 50779.42-99 регламентирует применение контрольных карт двух типов: по качественным и количественным признакам.

Рассмотрим карты второго типа, которые, в свою очередь, делят на две группы [1, 17]:

- карты для регулирования уровня настройки (стабильности) технологических операций (карта средних арифметических ($\bar{X}$ -карта), карта медиан ($\tilde{X}$ -карта));
- карты для регулирования точности технологических операций (карта средних квадратичных отклонений (S -карта), карта размахов (R -карта)).

Для статистического регулирования технологических процессов, как правило, используют две карты: одну – для контроля и регулирования уровня настройки, другую – для оценки точности, например $\bar{X}-R$ -карту, $\bar{X}-s$ -карту.

Одновременное введение двух карт называется *методом статистического регулирования*.

Карту средних значений ($\bar{X}$ -карту) используют для контроля отклонений параметра узла РЭА от нормы, а также для настройки на норму. Для построения $\bar{X}$ -карты находят среднее значение в выборке одинакового объема (обычно 3 – 10 узлов РЭА) по формуле [14]

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n}, \quad (5.1)$$

где x_{ij} – измеренное значение контролируемого параметра в i -й выборке; n – объем выборки (подгруппы).

Среднее значение выборок определяет *среднюю линию* на контрольной карте, значение которой находят как среднее из средних значений выборок, т. е. [16]

$$CL = \bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{X}_i}{k}, \quad (5.2)$$

где $\bar{X}_i$ – среднее значение контролируемого параметра в i -й выборке, рассчитанное по формуле (5.1); $k = 20...30$ – число подгрупп.

Контрольные границы вычисляют по формулам

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \text{ и } LCL = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}, \quad (5.3)$$

где $\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k}$ – средний размах в выборках; A_2 – коэффициент, который определяется выражением для доверительного интервала и находится по табл. 5.1.

Размах в i -й выборке

$$R_i = X_{\max}^i - X_{\min}^i, \quad (5.4)$$

где $X_{\max}^i$ и $X_{\min}^i$ – максимальное и минимальное значения в i -й выборке.

Таблица 5.1

Значение коэффициента A_2 в зависимости от объема выборки узлов РЭА

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A_2	1,800	1,023	0,729	0,577	0,483	0,419	0,373	0,337	0,308

Дополнительно рассчитывают среднее квадратическое отклонение для всей совокупности полученных данных [14]

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^k \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{X}_j)^2}{n}}}{k} = \frac{\sum_{i=1}^k \sqrt{\sigma_i}}{k}, \quad (5.5)$$

где σ_i – среднее квадратическое отклонение в i -й выборке.

Полученные значения наносят на карту (рис. 5.2), где кроме центральной линии (CL) и контрольных границ (LCL и UCL) точками указаны средние значения каждой выборки (соединяют ломаной линией), а также предупредительные границы на уровне полтора и два σ .

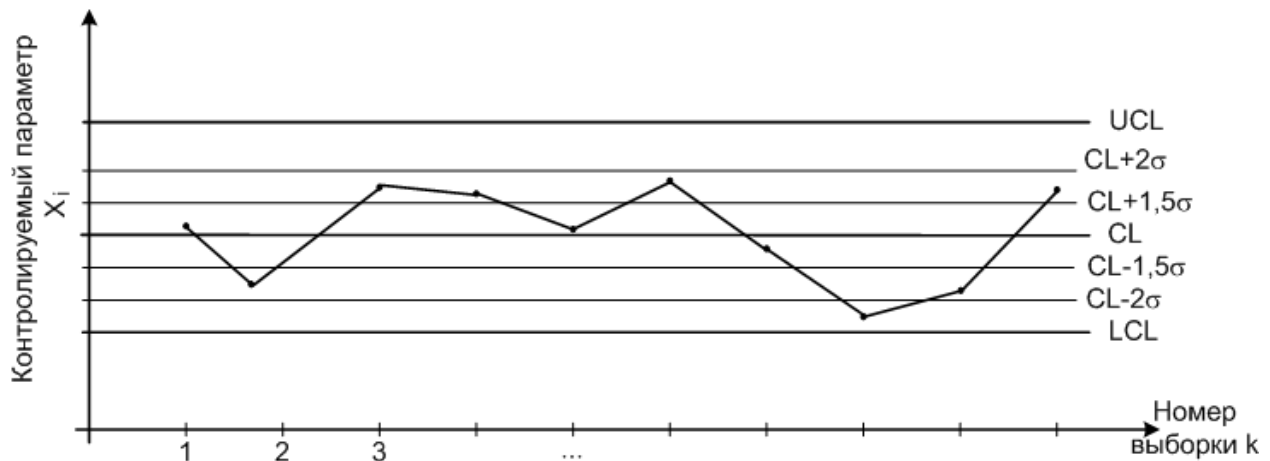


Рис. 5.2. Карта средних значений

Далее переходят к построению карты размахов (R-карты), вид которой аналогичен виду $\bar{X}$ -карты. Точки на карте – размахи выборок, вычисленные по формуле (5.4) [17].

Средняя линия $\bar{R}$ – это среднее размахов выборок, т. е.

$$CL_R = \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k}. \quad (5.6)$$

Контрольные границы рассчитывают по формулам

$$UCL = D_4 CL_R \text{ и } LCL = D_3 CL_R, \quad (5.7)$$

где D_3 , D_4 – коэффициенты, которые для уровня значимости 0,0027, соответствующие доверительной вероятности 0,9973, записаны в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Коэффициенты для построения R-карты, где $v=n-1$

v	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_3	0	0	0	0	0	0,076	0,136	0,184	0,223
D_4	3,267	2,575	2,282	2,115	2,004	1,924	1,864	1,816	1,777

Примечание. При $n < 7$ нижняя контрольная граница не используется.

В зависимости от положения точек на $\bar{X}$ –R-картах относительно полученных границ в соответствии с ГОСТ 50779.42–99 судят о налаженности или разлаженности технологического процесса.

Процесс считают разлаженным, если [17]:

1. Некоторые точки выходят за контрольные пределы.
2. Серия из семи точек оказалась по одну сторону от средней линии.
3. Имеется тренд (точки образуют непрерывно повышающуюся или непрерывно понижающуюся кривую).

4. Две-три точки оказываются за предупредительными двухсигмовыми границами.

5. Если большинство точек находится внутри полуторасигмовых линий (это означает, что в подгруппах смешиваются данные из различных распределений) и пр.

По результатам оценки стабильности технологических процессов по контрольным картам делают такие выводы (рис. 5.3) [16]:

- процесс стабилен по разбросу и положению среднего арифметического (состояние А), а значит, отсутствуют признаки особых причин на $\bar{X}$ - и R-картах;

- процесс стабилен по разбросу (отсутствуют признаки особых причин на R-карте, но нестабилен по положению среднего арифметического (наличие особых признаков на $\bar{X}$ -карте) (состояние Б);

- процесс нестабилен, что подтверждается наличием признаков особых причин на R-карте (состояние В).

Алгоритм оценивания показателей возможностей технологического процесса по ГОСТ 50779.44-2001 следующий [16].

Шаг 1. Выбрать вид карты статистического регулирования (в данной лабораторной работе рассматривается ($\bar{X}$ –R)-карта). Построить контрольные карты соответствующего вида.

Шаг 2. Оценить стабильность технологического процесса.

Шаг 3. Если процесс стабилен (состояние А), то оценить

собственную изменчивость процесса по формуле

$$\hat{\sigma}_I = \frac{\bar{R}}{d_2},$$

где d_2 – коэффициент для оценки собственной изменчивости технологического процесса (табл. 5.3).

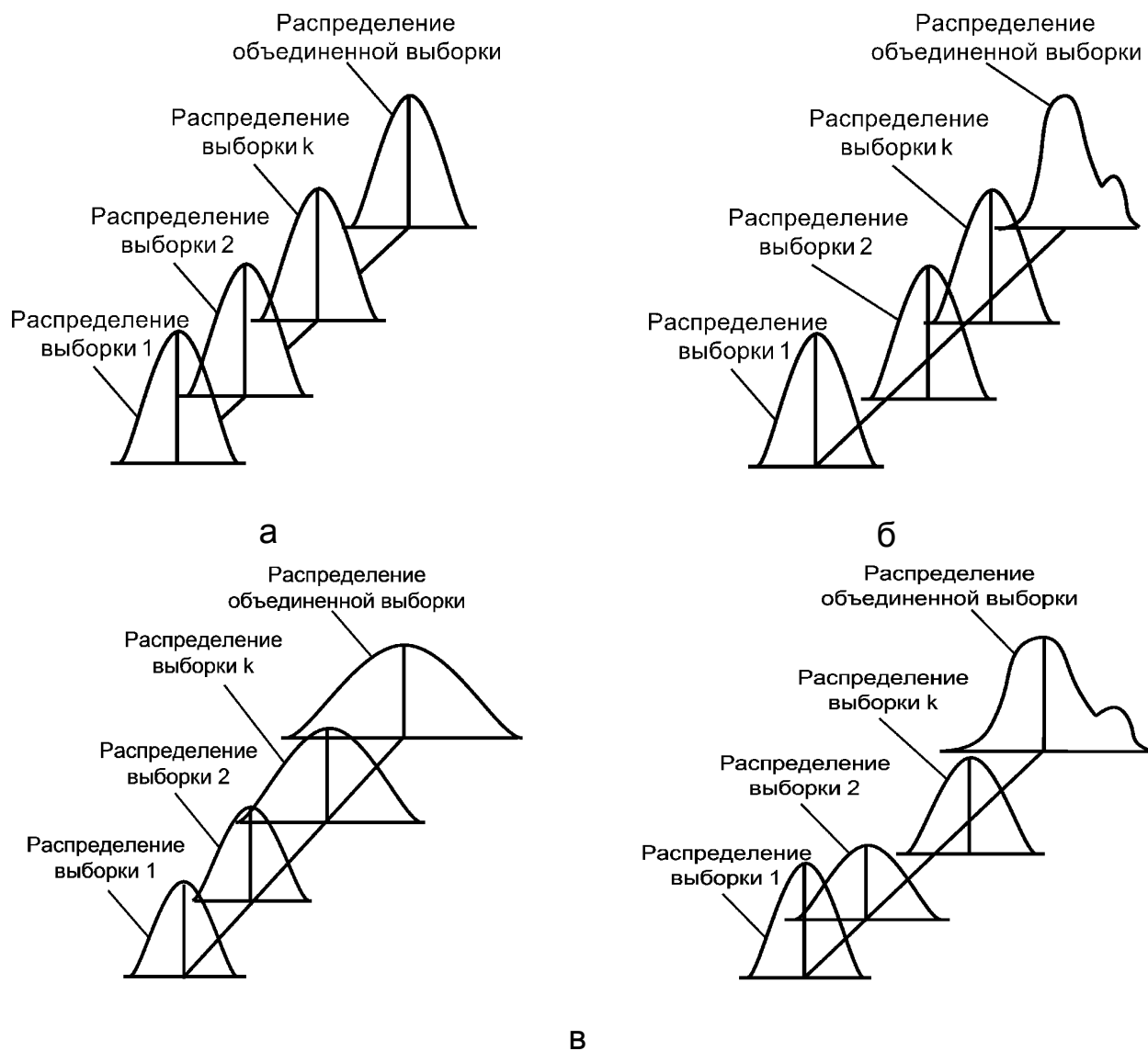


Рис. 5.3. Графическая иллюстрация типичных состояний технологического процесса:

а – процесс в состоянии А (стабильность по разбросу и положению среднего); б – процесс в состоянии Б (стабильность только по разбросу); в – процесс в состоянии В (стабильность не подтверждена)

Таблица 5.3

Значения коэффициента d_2 в зависимости от объема выборки

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_2	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,970	3,078

Шаг 4. Найти показатели возможности процесса:

- по индексу возможности технологического процесса, характеризующему потенциальную способность процесса удовлетворять технический допуск без учета положения среднего значения (применяется для стабильных по разбросу процессов (в состояниях А и Б)),

$$C_p = \frac{UTL - LTL}{6\hat{\sigma}_I}, \quad (5.8)$$

где UTL , LTL – соответственно верхнее и нижнее предельно допустимые значения контролируемого параметра, величина которых определяется требованиями нормативно-технической документации на изделие;

- по индексу воспроизводимости процесса, оценивающему возможность процесса удовлетворять технический допуск с учетом фактического положения среднего значения (применяется для стабильных по разбросу и настройке процессов (в состоянии А)),

$$C_{pk} = \min\left(\frac{UTL - \bar{X}}{3\hat{\sigma}_I}, \frac{\bar{X} - LTL}{3\hat{\sigma}_I}\right).$$

Шаг 5. По известным значениям C_p и C_{pk} оценить возможности процесса путем определения интервала, в котором находится ожидаемый уровень несоответствий (табл. 5.4), причем:

- по значению C_p вычисляются минимально возможные значения ожидаемого уровня несоответствий, которые могут быть достигнуты при настройке на центр поля допуска;

- по значению C_{pk} определяются максимально возможные значения ожидаемого уровня несоответствий, если настройка процесса не изменяется.

При высоких значениях C_{pk} возможен выход ряда значений за установленные пределы, поэтому важно оценить расстояние между средним и ближайшим предельно допустимыми значениями процесса, т. е. рассчитать критический индекс возможности процесса

$$C_{pk}^{крит} = \frac{|\bar{X} - TL|}{3\hat{\sigma}_I},$$

где $\bar{X}$ – среднее процесса, TL – один из пределов поля допуска.

Оптимальным значением $C_{pk}^{крит}$ считается 1,33. Уменьшение $C_{pk}^{крит}$ (что соответствует перемещению кривой от нижней границы к верхней) повышает вероятность возникновения брака в сторону увеличения размера выше допустимого. Увеличение $C_{pk}^{крит}$ (перемещение кривой от верхней границы к нижней) повышает вероятность возникновения брака в

сторону уменьшения размера ниже допустимого.

Таблица 5.4

Связь индексов C_p и C_{pk} стабильных процессов с ожидаемым уровнем несоответствий

Значение C_{pk} или C_p	Уровень несоответствий в изделии РЭА		Значение C_{pk} или C_p	Уровень несоответствий в изделии РЭА	
	в процентах несоответствующих единиц, %	в числе несоответствий единиц на миллион изделий		в процентах несоответствующих единиц, %	в числе несоответствий на миллион изделий
0,33	32,2	322000	1,00	0,27	2700
0,37	26,7	267000	1,06	0,15	1500
0,55	9,9	99000	1,10	0,097	970
0,62	6,3	63000	1,14	0,063	630
0,69	3,8	38000	1,18	0,04	400
0,75	2,4	24000	1,22	0,025	250
0,81	1,5	15000	1,26	0,016	160
0,86	0,99	9900	1,30	0,0096	96
0,91	0,64	6400	1,33	0,0066	66
0,96	0,40	4000			

Шаг 6. Если процесс нестабилен, то устранить влияние особых причин и оценить возможности технологического процесса в соответствии с шагами 3 и 4.

Шаг 7. В случае, когда устранить влияние особых причин нельзя, определить возможный вариант состояния процесса:

- если процесс нестабилен только по положению среднего арифметического (наличие особых признаков на $\bar{X}$ -карте) (состояние Б), то перейти к шагу 8;

- если процесс нестабилен, что подтверждается наличием признаков особых причин на R -карте (состояние В), то перейти к шагу 12.

Шаг 8. Рассчитать значение собственной изменчивости процесса по формуле

$$\hat{\sigma}_I = \frac{\bar{R}}{d_2}.$$

Шаг 9. Найти полную изменчивость процесса по формуле

$$\hat{\sigma}_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{X}_i)^2}{N-1}}, \quad (5.9)$$

где $N = kn$ – суммарный объем данных во всех k выборках объемом n ;

x_{ij} – возможное значение контролируемого параметра в i -й выборке; $\bar{X}_i$ – среднее значение контролируемого параметра в i -й выборке.

Шаг 10. Рассчитать значения индексов:

- возможности технологического процесса C_p по формуле (5.8);
- пригодности технологического процесса удовлетворять технический допуск без учета положения среднего значения (для процессов, стабильность которых по разбросу не подтверждена)

$$P_p = \frac{UTL - LTL}{6\hat{\sigma}_T}; \quad (5.10)$$

- пригодности технологического процесса удовлетворять технический допуск с учетом положения среднего значения (для процессов, стабильность которых по разбросу не подтверждена)

$$P_{pk} = \min\left(\frac{UTL - \bar{X}}{3\hat{\sigma}_T}, \frac{\bar{X} - LTL}{3\hat{\sigma}_T}\right). \quad (5.11)$$

Если P_{pk} имеет большое значение или задано одно из предельных значений, то аналогично рассчитать критический индекс пригодности процесса

$$P_{pk}^{крит} = \frac{|\bar{X} - TL|}{3\hat{\sigma}_T}.$$

Шаг 11. Оценить потенциальные возможности процесса по показателю C_p , а также фактические возможности процесса по индексам P_p и P_{pk} .

Если значения $P_p, P_{pk} < 1$, то процесс не пригоден для установленных требований. Необходимо принять меры, направленные на обеспечение стабильности среднего значения. Если процесс оставить без улучшений, то уровень несоответствий будет непрогнозируемым. Оптимальным значением считается $P_{pk} \geq 1,67$.

Шаг 12. По формуле (5.9) найти полную изменчивость процесса.

Шаг 13. Рассчитать значения индексов:

- пригодности технологического процесса удовлетворять технический допуск без учета положения среднего значения P_p по формуле (5.10);
- пригодности технологического процесса удовлетворять технический допуск с учетом положения среднего значения P_{pk} по формуле (5.11).

Шаг 14. Оценить возможности технологического процесса по индексам P_p и P_{pk} . Принять меры, направленные на обеспечение стабильности размахов.

Порядок выполнения работы

1. Провести замеры контролируемых параметров узла РЭА, результаты которых занести в форму (см. рис. 5.1).

2. Построить $\bar{X}$ - и R -карты. Сделать вывод о стабильности протекания технологического процесса изготовления узла РЭА.

3. Найти показатели возможностей технологического процесса по изготовлению узла РЭА. Оценить его возможности.

По результатам лабораторной работы согласно ГОСТ 3008-95 оформить отчет, который должен содержать титульный лист, теоретическое введение, заполненную форму для получения контрольных карт, необходимые расчеты, карты средних значений и размахов, оценки возможностей технологических процессов изготовления узла РЭА, необходимые выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое контрольная карта? Какие выводы можно сделать, анализируя разные виды контрольных карт?

2. Используя результаты, полученные при выполнении лабораторной работы, поясните алгоритм построения контрольных карт.

3. Приведите пример применения полученных статистических данных на производстве. Чем вызвано появление случайных отклонений на производстве?

4. Какие типичные состояния технологических процессов выделяют в результате оценки стабильности?

5. Приведите алгоритм оценки возможностей технологического процесса.

6. Что характеризуют индексы возможности, воспроизводимости и пригодности технологического процесса?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Невлюдов, І. Ш. Основи виробництва електронних апаратів [Текст]: підручник / І. Ш. Невлюдов. – Х.: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 592 с.
2. Медведева, С. А. Основы технической подготовки производства [Текст]: учеб. пособие / С. А. Медведева. – СПб.: СПб. ГУ ИТМО, 2010. – 69 с.
3. ГОСТ 14.004-83. Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий. – Введ. 1993-07-01. – М.: Стандартиформ, 2008. – 7 с.
4. ГОСТ 14.205-83. Технологичность конструкции изделия. Термины и определения. – Введ. 01.07.1983. – М.: Стандартиформ, 2007. – 4 с.
5. ГОСТ 14.201-83. Единая система технологической подготовки производства. Обеспечение технологичности конструкции изделия. Общие требования. – Взамен ГОСТ 14.201-73; введ. 01.01.1984. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 18 с.
6. Павловский, В. В. Проектирование технологических процессов изготовления РЭА [Текст]: учеб. пособие для вузов / В. В. Павловский, В. И. Васильев, Т. Н. Гутман. – М.: Радио и связь, 1982. – 160 с.
7. Пашков, В. П. Анализ и оценка технологичности изделий приборостроения [Текст]: метод. указания / В. П. Пашков, Я. А. Поповская. – СПб.: СПб. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения, 2007. – 22 с.
8. Селиванова, З. М. Технология радиоэлектронных средств [Текст]: лаб. работы / З. М. Селиванова, А. В. Петров. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 32 с.
9. Сборочно-монтажные процессы [Текст]: учеб.-метод. пособие к практ. занятиям / В. Л. Ланин, А. А. Костюкевич, А. П. Достанко, А. А. Хмыль. – Минск: Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники, 2008. – 67 с.
10. Классификация, разработка и применение технологических процессов: Р 50-54-93-884; утв. ВНИИНМАШ 04.07.88. – Взамен ГОСТ 14.301-83, ГОСТ 14.303-73, ГОСТ 14.316-75; введ. 01.07.89. – М., 1988. – 15 с.
11. Технология и автоматизация производства радиоэлектронной аппаратуры [Текст]: учеб. для вузов / И. П. Бушминский, О. Ш. Даутов,

А. П. Достанко и др.; под ред. А. П. Достанко, Ш. М. Чабдарова. – М.: Радио и связь, 1989. – 624 с.

12. Осиевский, А. Г. Основы организации производственных процессов на предприятиях приборостроения [Текст]: учеб. пособие / А. Г. Осиевский, М. И. Варсак. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1988. – 34 с.

13. Филатова, Е. Ю. Организация поточного производства [Текст]: метод. указания / Е. Ю. Филатова, А. В. Рухов. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 20 с.

14. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст]: учеб. для вузов / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

15. Мелешенко, С. Ю. Информационные компьютерные технологии в производстве электронных аппаратов [Текст]: учеб. пособие / С. Ю. Мелешенко, Р. В. Колесник, Т. И. Бондарева. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2005. – 51 с.

16. ГОСТ Р 50779.44-2001. Статистические методы. Показатели возможностей процессов. Основные методы расчета. – Введ. 02.10.2001. – М.: Из-во стандартов, 2001. – 20 с.

17. ГОСТ Р 50779.42-99 (ИСО 8258-91). Статистические методы. Контрольные карты Шухарта. – Введ. 15.04.1999. – М.: Госстандарт России, 1999. – 37 с.

Приложение А

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ № 1, 2

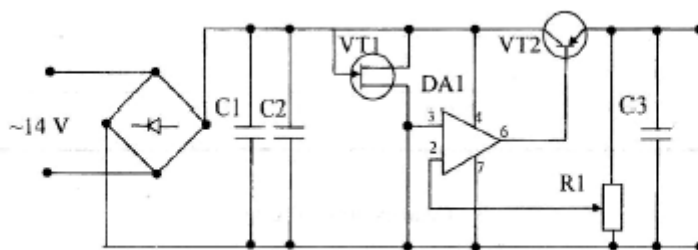


Рис. А.1. Принципиальная электрическая схема стабилизатора напряжения: C1, C2 – К50-16-6,8 мкФ-16 В; DA1 – КР140УД7; R1 – СП-1-4,7 кОм; VD1 – VD4 – Д237Б; VD5 – Д814Г; VT1 – КП303И; VT2 – КТ315 (КТ837)

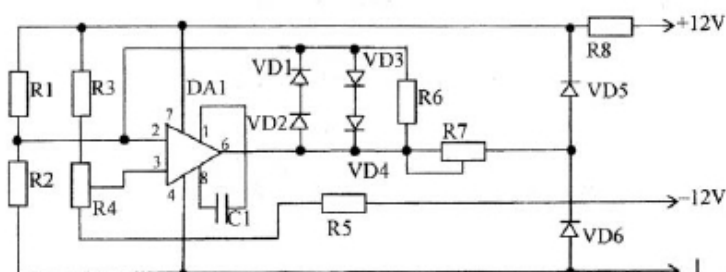


Рис. А.2. Принципиальная электрическая схема индикатора тока: DA1-К153УД2; VD1-VD4-Д223Б; VD5, VD6-КС133А; R1 – R3, R5 – 0125 Вт-5,1 кОм; R4 – СП0-0,5-2,2 кОм; R6-0,125 Вт-100 Ом; R7 – СП0-0,5-51 кОм; R8 – 0,5 Вт-390 МОм

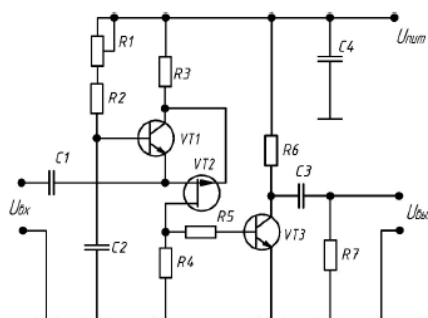


Рис. А.3. Принципиальная электрическая схема формирователя задержанных импульсов: C1 – К10-17а-Н90-1 нФ; C2 – К10-17а-Н90-2,2 нФ; C3 – К10-62а-М750-10 нФ; C4 – К10-17а-М47-0,1 пФ; R1 – СП3-19а-0,5-10 кОм; R2 – С2-33Н-0,125-100 кОм; R3 – С2-33Н-0,125 – 30 кОм; R4 – С2-33Н-0,125-4,7 кОм; R5 – С2-33Н-0,125-3,3 кОм; R6 – С2-33Н-0,125-2 кОм; R7 – С2-33Н-0,125-10 кОм; VT1, VT3 – КТ315; VT2 – КП103

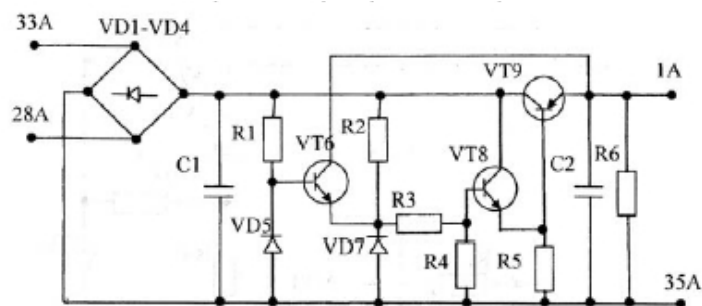


Рис. А.4. Принципиальная электрическая схема стабилизатора напряжения: VD1 – VD5, VD7 – Д226Б; VT6, VT8 – МП40; VT9 – П216В;
R1 – 0,25 Вт-10 кОм; R2 – 0,5Вт-470 Ом; R3, R5 – 0,25 Вт-1 кОм;
R4 – 0,25Вт-3 кОм; R6 – 0,5 Вт-1,5 кОм; C1 – К50-16-100 мкФ-16 В;
C2 – К50-12-100 мкФ-12 В

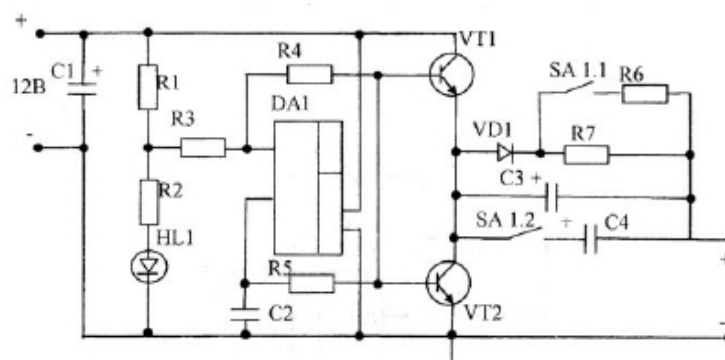


Рис. А.5. Принципиальная электрическая схема зарядного устройства:
C2-33 нФ-0,125; R1 – 1 кОм; R2 – 750 Ом; R3 – 47 кОм; R4 – 100 кОм;
R5 – 470 кОм; R6 – 30 Ом; R7 – 130 Ом; DA1 – К553УД2;
C1 – 490-16-50 мкФ-16 В; C2 – КМ6-0,22 мкФ; C3 – К50-16-20 мкФ-16 В;
C4 – К50-16-30 мкФ-16 В; HL1 – АЛ307Б; VT1 – КТ815Б;
VT2 – КТ361Б; VD1 – КД105Б

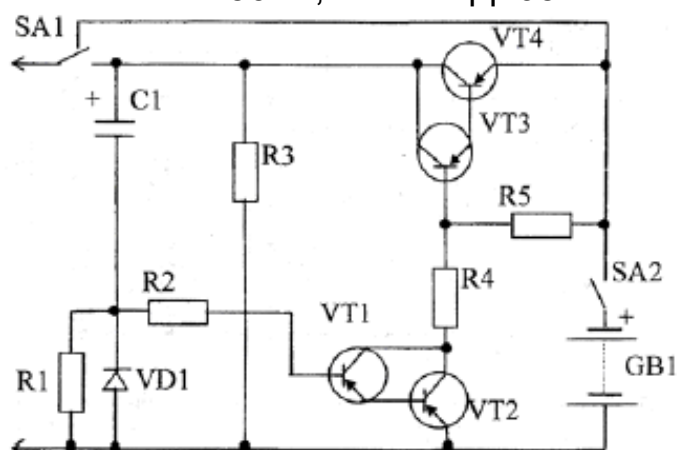


Рис. А.6. Принципиальная электрическая схема таймера: C2-33 нФ-0,25;
R1 – 4,7 МОм; R2 – 1,3 МОм; R3 – 6,8 кОм; R4 – 15 кОм; R5 – 18 кОм; C1 –
К50-16-500 мкФ-16 В; VT1, VT2 – КТ315 В; VT3, VT4 – КТ361Б; SA1 – ПД9-2

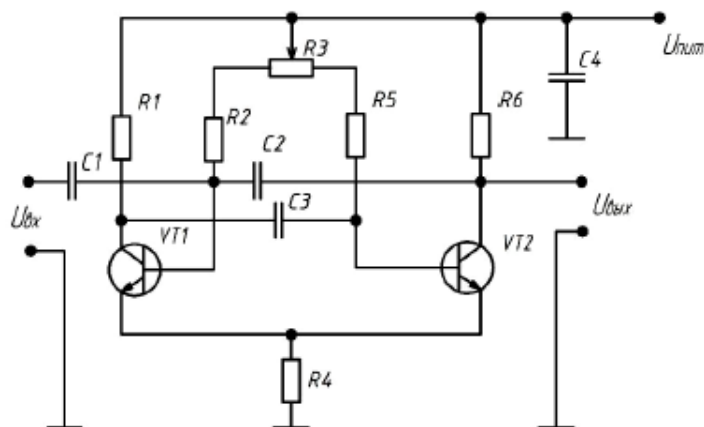


Рис. А.7. Принципиальная электрическая схема генератора прямоугольных импульсов: C1 – К10-17-1нФ; C2-C4 – К10-17-0,1пФ; C2-33 нФ-0,125; R1, R6-2 кОм; R2, R5 – 10 кОм; R4 – 200 Ом; СП3-19а-0,125; R3 – 10 кОм; VT1, VT2 – КТ3102

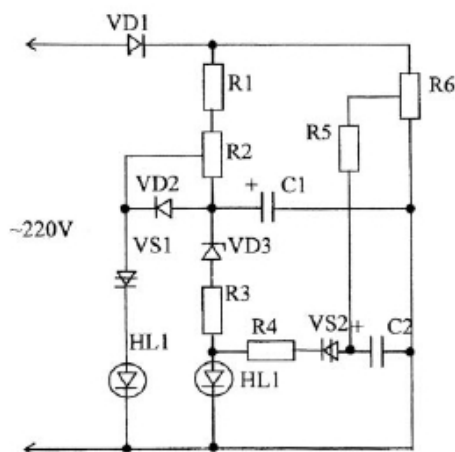


Рис. А.8. Принципиальная электрическая схема сигнализатора изменения напряжения: C1 – К50-16-20 мкФ-16 В; C2 – К50-16-5 мкФ-50 В; HL1, HL2 – АЛ307А; VD1 – Д226Б; VD2 – Д226Б; R1 – 2 Вт-7,5 кОм; R2 – СП0-0,5-7,5 кОм; R3 – R5 – 0,25 Вт-150 Ом; R6 – 0,25 Вт-100 кОм; VS1, VS2 – КН102В; VD3 – КС147А

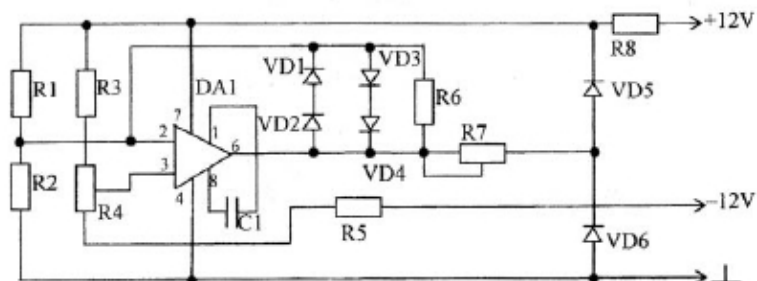


Рис. А.9. Принципиальная электрическая схема индикатора тока: DA1- К153УД2; VDI-VD4-Д223Б; VD5, VD6-КС133А; R1 – R3, R5 – 0,125 Вт-5,1 кОм; R4 – СП0-0,5-2,2 кОм; R6-0,125 Вт-100 Ом; R7 – СП0-0,5-51 кОм; R8 – 0,5 Вт-390 МОм

Таблица А.1

Оборудование для сборки и монтажа узлов РЭА

Наименование	Тип, условный шифр	Тип ЭРЭ, ИМС, назначение	Производительность, шт./ч
ЭРЭ с аксиальными выводами			
Полуавтомат подготовки резисторов и диодов	ГГ-2420	П-образная формовка выводов	3 000
Полуавтомат формовки выводов ERSA	TP 6/PR-B	Зиг-формовка компонентов с осевыми выводами россыпью из ленты	5 000 / 25 000
Полуавтомат формовки выводов ERSA	TP 6/V-PR	Зиг-формовка компонентов с осевыми выводами для вертикальной установки	25 000
Полуавтомат формовки выводов UNITRA	PK-R-707	ЭРЭ с осевыми выводами и установочными размерами 5 — 40 мм	5 000
Полуавтомат формовки выводов H. Streckfuss	C-043	ЭРЭ с осевыми выводами диаметром 2 — 15 мм, длиной 6 — 15 мм, установочным размером 7,5 — 50 мм	7 000
ЭРЭ с однонаправленными выводами и ИМС			
Полуавтомат подготовки диодов	ДМВМ 2.241.006	П-образная формовка диодов в установочный размер 20 мм	4 500
Автомат подготовки транзисторов	2.241.009	Транзисторы КТ 315, установочный размер 2,5 мм	1 500
Автомат подготовки выводов микросхем	ГГ-2629	Корпуса 101 МС 14-1, 401,403	1 200
Автомат формовки	А ФЗ-1	Транзисторы КТ1 - КТ26, конденсаторы К-10-7В с установочным размером 5 — 30 мм	6 000
Полуавтомат формовки UNITRA	PK-R-042	Транзисторы КТ1 - КТ12, конденсаторы с установочным размером 5 — 30 мм	2 000
Автомат комплексной подготовки	АКПМ-020	ИМС типа 401.14, формовка, лужение, напресовка припоя	900
Светомонтажные столы			
Стол программной сборки	ТРЕК	ЭРЭ из 80 ячеек на плату 410х410 мм	500 - 600
Светомонтажный стол	6535	ЭРЭ из 120 - 280 ячеек на плату 280х210 мм	1 000
Светомонтажный стол	ТС-1400	ИМС из 30 ячеек на плату 410х250 мм	500

Продолжение табл. А.1

Наименование	Тип, условный шифр	Тип ЭРЭ, ИМС, назначение	Производительность, шт./ч
Оборудование для установки ЭРЭ и ИМС			
Полуавтомат	УР-6	ЭРЭ с осевыми выводами	4 800
Полуавтомат	УР-7	Транзисторы типа КТ 306	2 400
Полуавтомат	УР-10	Резисторы, диоды, ИМС типа 201.14-1	4 800
Автомат	Трофей	ЭРЭ с осевыми выводами	9 000
Автомат-секвенсор	Universal 6380 B radial 8 XT	Компоненты с радиальными выводами, включая транзисторы, светодиоды, разъемы с шагом 2,5 мм	21 000
Оборудование для пайки и очистки			
Автомат пайки микросхем	АРГИМ	Микросхемы в корпусе 401.14, 50 шт. в кассете до 30 кассет	400
Автомат сборки плат	АСП 902 П	Установка и пайка ИМС в корпусе 401.14 — 3,4	800
Установка для пайки волной	УВП-903Б	Пайка волной припоя с шириной до 300 мм	-
Установка пайки	Astra-300	Широкая волна припоя до 400 мм	-
Установка пайки	6TF/160 Kirsten	Пайка плат шириной до 160 мм	-
Установка пайки	Ecopak - 229	Пайка обычных и чиповых элементов двойной волной припоя шириной до 380 мм	-
Установка пайки	ETS – 250 ERSА	Пайка смешанного монтажа на платах шириной до 250 мм с инфракрасным подогревом	-
Установка пайки	EWS-400 ERSА	Пайка смешанного монтажа на платах шириной до 400 мм в инертной атмосфере	-
Линия промывки	ЛПП-90-1	Групповая четырехстадийная отмывка плат в растворителях	-
Линия промывки	Aquarak	Многостадийная отмывка плат	-
Оборудование поверхностного монтажа			
Установка трафаретной печати	Трасса-43025	Ручное нанесение паяльной пасты через металлические шаблоны	-
Полуавтомат трафаретной печати	SP-20	Нанесение паяльной пасты в полуавтоматическом режиме, встроенная система «технического зрения»; рабочее поле 508x406 мм	-

Окончание табл. А.1

Наименование	Тип, условный шифр	Тип ЭРЭ, ИМС, назначение	Производительность, шт./ч
Автомат трафаретной печати	Uimpaprint 2000	Компоненты от чип до микросхем PLCC, нанесение паяльной пасты в автоматическом режиме, контроль качества	300
Полуавтомат трафаретной печати	ERSA-248	Высокоточное нанесение паяльной пасты в полуавтоматическом режиме, рабочее поле 500x400 мм	-
Манипулятор	Трасса -4301	Ручная установка компонентов с вакуумным пинцетом, рабочее поле 200x300 мм	600 – 1 000
Манипулятор	LM 901	Ручная установка компонентов, габариты платы до 440x245 мм, количество типономиналов – до 1 500	1 000
Полуавтомат	SM 902	Установка компонентов по программе, количество типономиналов – до 32	1 500 – 2 400
Установка монтажа SMD	ЭВ-8317-2М	Установка компонентов 0603, 0805, 1206, SOT 23, SOD 110 по программе, количество типономиналов – до 40	2 000
Полуавтомат	ECM 96	Полуавтоматическая установка компонентов, «техническое зрение»	3 500
Автомат монтажа SMD	ЭМ-4425	Автомат монтажа SMD на платы размером до 250x350 мм с «техническим зрением»	4 000
Автомат	Opal-X	Автомат установки компонентов – от 01005 до крупных разъемов (45 мм x 100мм), QPF с малым шагом выводов, BGA, µBGA и CSP; с высотой компонента до 11 мм, для печатных плат с габаритными размерами 460x440 мм	11 000
Автоматизированные системы	TF500 , TF700	Установка для конвекционной пайки BGA-компонентов	
ИК печь конвекционного оплавления	Omni Flex	Установка для двустороннего смешанного монтажа	

Приложение Б

ДАННЫЕ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ № 3, 4

Таблица Б.1

Исходные данные для лабораторной работы № 3

Номер варианта	Штучно-калькуляционная норма времени на операцию, $t_i^{ум.}$					T_{mp}	T_k	Объем партий			$\Phi_{см}^{\partial}$
	1	2	3	4	5			N	p	N_{max}	
1	2,9	4,2	6,5	6,2	2,7	5	1	100	20	250	480
2	3,1	4,2	5,2	6,2	2,7	6	1	120	30	400	420
3	2,8	3,2	5,8	2,9	6,2	4	2	100	20	200	480
4	2,9	4,5	5,1	3,7	3,4	4	1	150	30	350	420
5	2,4	6,3	2,6	6,1	4,0	5	2	125	25	300	480
6	3,8	3,4	2,9	5,3	6,1	6	2	140	35	250	420
7	2,1	3,8	4,2	2,9	6,2	4	2	110	22	250	480
8	3,1	3,6	4,1	3,8	5,2	5	1	130	26	250	420
9	4,2	4,9	3,9	4,5	3,8	6	1	140	28	275	480
10	3,6	4,8	5,2	3,7	6,1	7	3	120	30	350	420
11	2,3	3,7	2,9	6,0	4,5	5	1	120	30	300	480
12	6,0	4,8	5,2	3,7	3,6	6	2	110	22	350	420
13	4,2	4,9	3,9	4,5	3,8	4	1	160	32	320	480
14	2,9	4,5	6,3	6,2	2,7	7	2	125	25	270	420
15	3,8	3,4	2,9	5,3	6,1	4	1	140	28	280	480

Таблица Б.2

Данные о производственных площадях

Номер варианта	Площадь под оборудование на i -й операции, м ²					Максимальная производственная площадь, м ²
	1	2	3	4	5	
1	7,6	8,2	10,7	14,3	8,1	90
2	8,2	14,1	8,2	8,1	7,6	95
3	10,7	7,6	14,3	7,9	8,2	75
4	9,9	10,8	7,6	13,5	7,5	92
5	8,3	13,9	10,3	8,1	7,7	89
6	8,3	8,1	13,8	10,0	10,1	95
7	10,7	7,6	14,3	7,9	8,2	96
8	9,9	10,8	7,6	13,5	7,5	92
9	8,3	13,8	10,3	8,1	7,7	94
10	8,3	8,1	14,1	10,2	8,6	95
11	9,9	10,8	7,6	13,5	7,5	92
12	8,3	13,9	10,3	8,1	7,7	89
13	8,3	8,1	13,8	10,0	10,1	95
14	8,2	14,1	8,2	8,1	7,6	95
15	10,5	7,6	14,1	7,9	8,2	94

Таблица Б.3

Значения поля допуска и ошибки

Номер варианта	Величина поля допуска, $\pm \delta$ %	Номер варианта	Величина поля допуска, $\pm \delta$ %
1	5	12	3
2	3	13	5
3	2	14	3
4	5	15	2
5	4	16	5
6	5	17	5
7	3	18	4
8	5	19	3
9	5	20	5
10	4	21	5
11	3	22	5

Таблица Б.4

Значения нормальной функции распределения

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
0,00	0,5000	1,00	0,8413	2,00	0,9772	3,00	0,9986
0,10	0,5398	1,10	0,8643	2,10	0,9821	3,10	0,9990
0,20	0,5793	1,20	0,8849	2,20	0,9861	3,20	0,9993
0,30	0,6179	1,30	0,9032	2,30	0,9893	3,30	0,9995
0,40	0,6554	1,40	0,9192	2,40	0,9918	3,40	0,9997
0,50	0,6915	1,50	0,9332	2,50	0,9938	3,50	0,9998
0,60	0,7257	1,60	0,9452	2,60	0,9953	3,60	0,9998
0,70	0,7580	1,70	0,9554	2,70	0,9965	3,70	0,9999
0,80	0,7881	1,80	0,9641	2,80	0,9954	3,80	0,9999
0,90	0,8159	1,90	0,9713	2,90	0,9981	3,90	1,0000

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Лабораторная работа № 1 ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УЗЛОВ РЭА.....	4
Лабораторная работа № 2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СБОРКИ УЗЛА РЭА	11
Лабораторная работа № 3 РЕГЛАМЕНТАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЭА	18
Лабораторная работа № 4 СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА РЭА	27
Лабораторная работа № 5 ОЦЕНИВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ УЗЛОВ РЭА	34
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	45
Приложение А ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ № 1, 2	47
Приложение Б ДАННЫЕ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ № 3, 4	53

Навчальне видання

Даншина Світлана Юріївна

ВИРОБНИЦТВО РАДІОЕЛЕКТРОННИХ АПАРАТІВ
(Російською мовою)

Редактор А. М. Ємленінова

Зв. план, 2016

Підписано до видання 4.07.2016

Ум. друк. арк. 3,1. Обл.-вид. арк. 3,5. Електронний ресурс

Видавець і виготовлювач

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
[http:// www. khai.edu](http://www.khai.edu)

Видавничий центр «ХАІ»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
izdat@khai.edu

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001