

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЧАСТИ
ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА
ПО РАДИОТЕХНИЧЕСКИМ
СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ**

МОСКВА • 1991

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

МОСКОВСКИЙ
ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЧАСТИ
ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА
ПО РАДИОТЕХНИЧЕСКИМ СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ

Под редакцией Ю.И. Боченкова

Утверждено
на заседании редсовета 25
июня 1990 г.

Москва
Издательство МАИ 1991

Авторы-составители: Ю.И. Боченков, М.А. Сахаров, Л.М. Федотов, Ю.В. Трегубов, Л.В. Логинова

Методические указания к выполнению технологической части дипломного проекта по радиотехническим специальностям/ Авт.-сост.: Ю.И. Боченков, М.А. Сахаров, Л.М. Федотов, Ю.В. Трегубов, Л.В. Логинова. - М.: Изд-во МАИ, 1991, -64 с.: ил.

Рассматриваются задачи, связанные с оценкой технологичности конструкции радиоэлектронных средств, выбором и обоснованием технологических процессов, разработкой технологического оснащения, методов и аппаратуры контроля параметров РЭС и технологических процессов их изготовления, а также вопросы, связанные с решением специальных задач технологического проектирования.

Для студентов радиотехнических специальностей дневной и вечерней формы обучения.

Рецензенты: А.И. Попов, О.П. Глудкин

©Московский авиационный институт, 1991

621.396(075) М545

ПРЕДИСЛОВИЕ

В методических указаниях даются сведения о целях, содержании и объеме технологической части дипломного проекта, о требованиях к оформлению графических работ и пояснительной записки; приводятся рекомендации по оценке технологичности конструкции, проектированию технологических процессов, обоснованному выбору средств технологического оснащения и средств технического контроля.

Перечисленный круг вопросов в технологической части дипломных проектов разрабатывают студенты-дипломники всех радиотехнических специальностей дневной и вечерней форм обучения в соответствии с Положением о дипломном проектировании. Дополнительно для специальностей "Конструирование и производство радиоэлектронных средств" и "Конструирование и производство электронно-вычислительных средств" в задание по технологической части включаются вопросы детализации технологического процесса и один из специальных разделов технологии.

Выбору и проектированию рациональных конструкций радио- и микроэлектронной аппаратуры посвящены работы [1, 4-7], поэтому в методических указаниях основное внимание уделено решению технологических задач. Для выбора и обоснования технологических процессов и специального оснащения даются ссылки на методические пособия, справочники и другую литературу. В приложениях приведены формы задания и некоторых технологических документов,

В методических указаниях отражен опыт дипломного проектирования ряда вузов и особенно опыт факультета радиоэлектроники ЛА МАИ. Цель указаний - оказать помощь студентам, выполняющим технологическую часть дипломного проекта или специализированные технологические проекты.

Предлагаемое (третье) издание методических указаний переработано согласно Положению о дипломном проектировании и в соответствии с современным уровнем техники и технологии микроэлектронной аппаратуры.

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

1.1. Цель и задачи

Основной задачей технологической части дипломного проекта является разработка наиболее целесообразного производственного процесса, обеспечивающего экономичное изготовление микроэлектронной аппаратуры (МЭА) в полном соответствии с техническими и эксплуатационными требованиями.

Студенты должны использовать принципы самой современной технологии при любом масштабе производства, так как создание даже единичных образцов невозможно без подробной проработки технологии изготовления изделий (например, микросборок), из которых komponуется специализированная МЭА.

Дипломник должен уметь проводить анализ и синтез производственных процессов изготовления МЭА, использовать типовые технологические процессы, оптимизировать отдельные технологические операции и разрабатывать оснащение для технологического контроля и испытаний.

Чтобы создать технологичную конструкцию МЭА, обеспечивающую ее экономичное производства и эффективную эксплуатацию, студент должен с самого начала работы над дипломным заданием (от выбора оптимальной схемы и конструкции ее функциональных элементов) продумать возможные технологические решения поставленной задачи, учесть требования, предъявляемые к надежности, массе, объему, габаритам и режимам работы МЭА.

1.2. Объем и содержание

А. Содержание технологической части тематических проектов для специальностей "Радиотехника", "Радиоэлектронные устройства" включает проработку следующих вопросов;

- 1) анализ проектируемого радиоустройства или радиосистемы для оценки технологичности (см. разд. 2);
- 2) выбор и обоснование технологического процесса (ТП) изготовления устройства (блока);
- 3) разработка конструкторско-технологических требований и ограничений;
- 4) разработка одного из вариантов ТП контроля, испытаний, регулировки, экспериментальных исследований радиосистемы или устройства;
- 5) разработка основных технологических документов (структурная схема ТП, маршрутная карта, функциональная схема одного из вариантов ТП контроля, испытаний) и т.д.

Б. Содержание технологической части расчетно-конструкторских проектов для специальностей "Радиотехника", "Радиоэлектронные устройства" посвящено разработке технологии изготовления устройства, блока, прибора и включает:

- 1) анализ технологичности конструкции (см. разд. 2);
- 2) выбор и обоснование технологического процесса сборки и монтажа изделия (см. разд. 3);
- 3) разработку конструкторского и технологических требований;
- 4) детальную проработку технологических операций контроля или испытаний;
- 5) разработку технологических документов (структурная схема ТП, маршрутная карта, функциональная схема контроля, технологическая инструкция по контролю или испытанию и чертеж общего вида специализированного устройства контроля).

В. Содержание технологической части конструкции технологических проектов для специальностей "Конструирование и производство РЭС", "Конструирование и производство ЭВС", в которых проектируются ТП изготовления блоков и устройств МЭА, приведенное в разд. 2 - 5.

Объем графической части для специальностей "Радиотехника", "Радиоэлектронные устройства" - два листа формата А4 (структурная схема ТП, функциональная схема контроля, чер-

теж общего вида специализированного устройства контроля для специальностей "Конструирование и производство РЭС", "Конструирование и производство ЭВС" объем графической части - три листа формата 24 (структурная схема ТП, технологическая схема сборки, карты операционных эскизов, функциональная схема контроля, чертежи общего вида специализированного устройства контроля, блок - схема алгоритмов решения технологических задач, оперативных характеристик контроля или другие материалы по согласованию с консультантом),

1.3. Технология радио- и микроэлектронной аппаратуры как большая система

Изделия РЭА и МЭА, как и многооперационные ТП их изготовления, являются сложными объектами. Достаточно сказать, что ТП изготовления отдельных изделий (например, сложных БГИС, микропроцессоров) насчитывают до 800 операций. В связи с этим анализ и проектирование ТП требуют системного подхода. При проектировании технологии человек и машина (производственное оборудование) должны рассматриваться как взаимосвязанные элементы единой сложной и большой системы. Каждый элемент при правильно разработанной технологии должен обеспечивать оптимальное функционирование целого. В ТП необходимо закладывать разграничение функций.

При проектировании технологии, которая является большой, сложной системой, необходимо использование математических моделей. В свою очередь, при моделировании и оптимизации ТП приходится считаться с многофакторностью и многопараметричностью технологических задач.

Многофакторность ТП приводит к увеличению трудоемкости экспериментальной оценки параметров математических моделей и их усложнению и делает необходимым проведение обоснованного отсеивания незначимых факторов. Множество параметров ТП ставит проблему решения задач многопараметрической оптимизации.

Технологический процесс, являясь основной частью производства, одновременно находится в тесном, взаимообусловленном взаимодействии со всем циклом создания новой продукции-

— от формулирования требований потребителем на рынке сбыта до контроля качества готового изделия. Все это предопределяет системный подход к проектированию и разработке ТП с широким применением ЭВМ для этих целей. Правильно разработанный ТП должен представлять собой сплав интеллекта человека и "мускульной" силы машины, манипуляторов или роботов. В дипломном проекте системный подход к проектированию должен проявляться не только во взаимной связи и обусловленности технологических решений, но и в тесной их зависимости от схмотехнических и конструкторских вопросов. Учитывая требования технических условий, а также технологические ограничения и возможности современной технологии, разработчик выбирает соответствующие схемные решения разрабатываемой аппаратуры, конструктор намечает элементную базу и компоновку изделия и совместно с технологом разрабатывает коммутационные элементы монтажа, выбирает методы присоединения выводов компонентов, технические средства контроля и испытаний.

2. ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ

2.1. Понятие технологичности конструкции

Одной из важнейших характеристик, влияющих на точность, качество и себестоимость аппаратуры, является технологичность конструкции. Под технологичностью понимается такое качество конструкции изделий, которое позволяет применить прогрессивные методы технологии и организации производственных процессов, обеспечивающие высокую производительность труда и минимальную себестоимость при соблюдении заданных требований. Отработка технологичности конструкции направлена на повышение производительности труда, снижение затрат и сокращение времени на проектирование, технологическую подготовку производства, изготовление, техническое обслуживание и ремонт в целях обеспечения необходимого качества изделия.

Высокая технологичность конструкции изделий достигается коллективным совместным трудом разработчика, конструктора и технолога. На начальном этапе разработчик, как правило, намечает несколько схмотехнических решений. Конструк-

тор по выбранной им принципиальной схеме компоует изделие. Совместно решается также проблема технологичности конструкции с учетом масштаба выпуска изделия и конкретных условий производства. Изделие, технологичное в условиях индивидуального или мелкосерийного производства, оказывается не приемлемым для серийного и массового изготовления.

В процессе дипломного проектирования проводится расчет технологичности конструкции отдельных узлов РЭС (по согласованию с консультантом) на основе частных показателей технологичности и дается укрупненная оценка технологичности радиоэлектронного средства в целом.

Качественная оценка технологичности конструкции изделия выражается конструкторскими и производственными показателями, численное значение которых характеризуют степень удовлетворения требований технологичности конструкции. Анализ конструкции на технологичность проводится по следующим этапам:

- 1) на основе исходных данных разрабатываемого изделия рассчитываются относительные показатели K_i (конструкторские показатели после выбора конструкции и производственные после разработки маршрутных карт ТП) и выбираются соответствующие им нормативные показатели K_n из табл. 2.1;
- 2) частные значения K_i переводятся в балльные показатели B_i ;
- 3) оценивается уровень технологичности по балльным показателям;
- 4) на основе полученных результатов дается анализ технологичности и формулируются рекомендации по ее повышению.

Показатели в табл. 2.1. являются рекомендательными, для оценки конкретного узла возможен выбор из состава рекомендуемых или предложение новых показателей.

2.2. Определение конструкторских показателей технологичности

Коэффициент повторяемости компонентов и МСБ

$$K_{пов.с.} = 1 - \frac{n_{т.к.м.}}{n_{к.м.}},$$

где $n_{т.к.м.}$ - количество типоразмеров компонентов и МСБ; $n_{к.м.}$ - общее количество компонентов, микросхем и МСБ.

Коэффициент повторяемости печатных плат (ПП)

$$K_{пов.пп} = 1 - \frac{n_{т.пп}}{N_{пп}},$$

где $n_{т.пп}$ — количество типоразмеров ПП, в том числе многослойных (без учета числа слоёв), $N_{пп}$ — общее количество ПП.

Коэффициент повторяемости материалов

$$K_{пов.м} = 1 - \frac{n_{мм}}{n_{ор.д}},$$

где $n_{мм}$ — количество марок материалов, применяемых в изделии; $n_{ор.д}$ — количество оригинальных деталей.

Коэффициент использования микросхем и МСБ

$$K_{исп.мс} = 1 - \frac{n_{мс}}{N},$$

где $n_{мс}$ — количество микросхем и МСБ в изделии; N — общее количество ЭРЭ, микросхем и МСБ.

Коэффициент установочных размеров (шагов) ЭРЭ, компонентов и микросхем (МС)

$$K_{у.р} = 1 - \frac{n_{у.р}}{N},$$

$N_{у.р}$ — количество установочных размеров ЭРЭ, МС и компонентов.

Коэффициент стандартизации конструкции

$$K_c = 1 - \frac{n_{ор}}{N},$$

$N_{ор}$ — количество оригинальных (нестандартных) ЭРЭ и конструктивных элементов (в том числе и МСБ).

Коэффициент унификации (повторяемости) конструкции

$$K_y = 1 - \frac{n_{наим}}{N},$$

$n_{наим}$ — число наименований микросхем, МСБ, ЭРЭ и конструктивных элементов по спецификации изделия.

Коэффициент использования площади коммутационной платы

$$K_{и.п} = 1 - \frac{\zeta_{э.к}}{\zeta_{к.п}},$$

где $\zeta_{э.к}$ — площадь, занимаемая элементами, компонентами, контактными площадками и соединительными проводниками; $\zeta_{к.п}$ — площадь коммутационной платы.

Таблица 2.1

№№ пп.	Наименование показателя	Обозначение показателя K_i	Нормативное значение пока- зателя	Эквивалент одного балла ΔK_i
	А. Конструкторские показатели, определяемые коэффициентами:			
1	повторяемости микросхем и МСБ	$K_{пов.мс}$	0,95	0,2
2	повторяемости печатных плат	$K_{пов.пп}$	0,95	0,2
3	повторяемости материалов	$K_{пов.м}$	0,7	0,25 Кн
4	использования микросхем и МСБ	$K_{исп.мс}$	0,8	0,12
5	установочных размеров шагов; электрорадиоэлемента (СРЭ)	$K_{ур}$	0,85	0,25Кн
6	стандартизации конструкций изделия	K_c	0,85	0,25Кн
7	унификации (повторяемости) конструкции изделия	K_y	0,7	0,25Кн
8	использования площади комму- тационной платы	$K_{и.п}$	0,6	0,1
	Б. Производственные показатели, определяемые коэффициентами:			
1	простоты изготовления МСБ	$K_{пи}$	0,95	0,2
2	расширенных допусков	$K_{р.д}$	0,9	0,3
3	простоты обеспечения заданной конфигурации	$K_{пок}$	0,5	0,2
4	совмещения вакуумных циклов	$K_{сц}$	0,6	0,15
5	простоты выполнения монтажных соединений	$K_{пмс}$	0,6	0,15
6	ограничения видов соединений	$K_{овс}$	0,9	0,1
7	использования групповых мето- дов технологии	$K_{игм}$	0,4	0,25
8	автоматизации и механизации установки и монтажа	$K_{а.м}$	0,87	0,3
9	автоматизации и механизации контроля и	$K_{а.к}$	0,5	0,13
10	настройки применения типовых технологических процессов	$K_{тт.п}$	0,6	0,15

2.3. Определение производственных показателей технологичности

Для выбранного варианта конструкции изделия на основе разработанной структурной схемы и маршрутных карт ТП производят расчет частных производственных показателей,

1. Коэффициент простоты изготовления изделий

$$K_{n.u} = 1 - \frac{n_n}{n_{\text{э}} + n_k},$$

где n_n - количество элементов и компонентов МСБ, требующих подгонки; n_x - общее количество напыляемых (или изготавливаемых другими методами) элементов; n_k - общее количество компонентов.

2. Коэффициент расширенных допусков

$$K_{p.d.} = \frac{n_{p.d.}}{n_{\text{э}}},$$

$n_{p.d.}$ - количество напыляемых (или изготавливаемых другими методами) элементов с допусками $\delta \geq 10\%$ от номинала.

3. Коэффициент простоты обеспечения заданной конфигурации элементов

$$K_{n.o.k.} = \frac{n_{m.m.}}{n_{\text{э}}},$$

$n_{m.m.}$ - количество элементов, получаемых с помощью свободных масок или трафаретов.

4. Коэффициент совмещения вакуумных циклов процесса напыления слоев пассивной части

$$K_{c.v.u.} = 1 - \frac{n_{v.u.}}{n_c},$$

где $n_{v.u.}$ - число вакуумных циклов откачки подколпачного устройства установки для напыления пассивной части МСБ; n_c - число всех слоев МСБ.

5. Коэффициент простоты выполнения монтажных соединений

$$K_{n.m.c.} = 1 - \frac{n_{z.v.}}{n_{m.c.}},$$

где $n_{z.v.}$ - количество монтажных соединений, выполняемых с использованием гибких выводов и проволоочных перемычек; $n_{m.c.}$ - общее количество монтажных соединений.

6. Коэффициент ограничения числа видов сборочно-монтажных соединений

$$K_{o.v.c.} = 1 - \frac{n_{v.c.}}{n_{n.c.}},$$

где $n_{в.с}$ - число видов соединений с учетом конкретного способа их выполнения (ультразвуковая пайка, электроннолучевая или лазерная сварка, склеивание теплопроводящим клеем, контактом и т.д.); $n_{н.с}$ - число пар соединяемых (любым видом соединений) конструктивных элементов изделия,

7. Коэффициент использования групповых методов обработки

$$K_{и.г.м.} = \frac{n_{г.м.}}{n_{о.п.}},$$

где $n_{г.м.}$ - число операций технологического процесса, предусматривающих использование групповых методов обработки; $n_{о.п.}$ - общее число операций,

8. Коэффициент автоматизации и механизации установки и монтажа изделий

$$K_{а.м.} = \frac{n_{а.м.}}{n_{м.с}},$$

$n_{ам}$ - количество монтажных соединений, которые могут осуществляться механизированным или автоматизированным способом,

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

$$K_{а.к.} = \frac{n_{а.к.}}{N_k},$$

где $n_{а.к.}$ - количество операций контроля и настройки, которые можно осуществлять механизированным или автоматизированным способом; N_k - общее количество операций контроля и настройки,

10. Коэффициент применения типовых технологических процессов

$$K_{mmn} = \frac{n_{mmn}}{n_{он}},$$

n_{mmn} - количество операций, выполняемых по типовым технологическим процессам.

2.4 Комплексная оценка технологичности

Комплексная оценка технологичности изделия производится по пятибалльной системе. Численные значения частных

показателей технологичности K_i переводятся при этом балльную оценку:

$$B_i = 4 - \frac{K_{Hi} - K_i}{\Delta K_i},$$

где K_{Hi} - нормативное значение показателя (см. табл. 2.1) на данном уровне развития техники и технологии; K_i — расчетное значение показателя разрабатываемого изделия; ΔK_i — эквивалент одного балла, численные значения которого приведены в табл. 2.1. Расчет балльного показателя технологичности изделия B_i производится с точностью до 0,1.

Анализ технологичности и выработка рекомендаций по ее повышению производятся сравнением вычислительных показателей технологичности с рекомендуемым уровнем в четыре балла. При низком уровне балльного показателя B_i необходимо дать рекомендации по его повышению, В случае $B_i > 5$ принимать величину балльной оценки за пять баллов; при отрицательных значениях B_i его надо приравнять нулю.

Результаты расчета технологичности конструкции конкретного узла РЭС оформляются в виде таблицы отдельно по конструкторским и производственным показателям, что позволяет дать их сравнительную оценку (табл. 2.2).

Таблица 2.2

№ пп.	Наименование показателя	Обозначение K_i	Значение нормативного показателя K_{Hi}	Эквивалент одного балла ΔK_i	Расчетный частный показатель K_p	Балльный показатель B
1	2	3	4	5	6	7

С учетом корректировки показателей технологичности рассчитывают средне-балльный показатель

$$B_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^N B_i}{N},$$

N — количество показателей, участвующих в оценке (в том числе приравненных к нулю).

2.5. Укрупненная оценка технологичности конструкций РЭС на основе отраслевой системы оценки технологичности изделий (ОСОТИ)

Подробное описание ОСОТИ, методика ее практической реализации с использованием ЭВМ (программа "КАРАТ") излагается в соответствующих учебных пособиях, имеющихся на кафедре, где дается характеристика возможностей ОСОТИ и перечень необходимых исходных данных для определения уровня технологичности.

Программа, реализованная на ДВК-2 и ЭС ЭВМ, позволяет рассчитывать следующие показатели РЭС:

- 1) технологической рациональности элементной базы РЭС;
- 2) монтажепригодности РЭС;
- 3) контролепригодности РЭС;
- 4) сложности настройки РЭС;
- 5) типоразмерной характеристики РЭС;
- 6) сложности механической сборки РЭС.

По этой программе рассчитываются следующие обобщенные показатели технологичности:

- 1) схемотехнического решения РЭС;
- 2) конструктивного решения РЭС;
- 3) составных частей РЭС,

а также:

комплексный показатель технологичности,
базовый показатель технологичности за рассчитываемый год,
уровень выполнения требований технологичности (в баллах),

Если рассчитанный уровень технологичности менее четырех баллов, выдается рекомендация по улучшению этого показателя.

Например: "Уровень технологичности может быть повышен за счет улучшения схемотехнического решения".

Исходные данные для расчёта. Перед началом работы с программой необходимо подготовить следующие данные.

1. Технологический ход (ТК) изделия (ГОСТ 2.201-80), Включает в себя конструкторские признаки, которые в совокупности определяют основное содержание (маршрут) группового технологического процесса. Дополнительную часть ТК составляют признаки, содержащие количественные характеристики конструкции. Дополнительная часть ТК (восемь разрядов) отделяется от основной точкой.

Для работы с данной программой необходимо определить следующие разряды ТК:

2, 4, 5, 6, 8, 9, 12

Например: ХЗ Х32. Х42 ХХ ЗХХ

Здесь Х - означает, что данный разряд ТК не используется и определять его не нужно,

2. Год, по отношению к которому считается технологичность (87, 90, 95).

3. Тип производства: серийное, единичное,

4. Тип устройства,

5. В зависимости от уровня разукрупнения составных частей радиоэлектронного изделия необходима следующая информация.

Для изделий на уровне ЭМ 4 (к ним относятся изделия, структурно выполненные в виде совокупности радиоэлектронных устройств):

1) количество микроблоков,

2) количество блоков,

3) количество шкафов (пультов),

4) количество механических средств,

5) количество кабельно-жгутовых изделий (КЖИ),

6) количество волноводов.

Для изделий на уровне электронных модулей 3-го уровня (ЭМ3) (к ним относятся изделия, конструктивно выполненные в виде шкафа, стойки, тумбы, рамы и т.д., а также средства вычислительной техники (СВТ), выполненные на конструкциях 1У и У уровней по ГОСТ 25122-82)

1) количество МБ (ЭМ1),

2) количество панелей,

3) количество механических средств,

4) количество несущих конструкций,

5) количество КЖИ.

Для изделий на уровне электронных модулей 2-го уровня (ЭМ2) (к ним относятся изделия, конструктивно выполненные в виде блока, панели, субблока, а также СВТ, выполненные на конструкциях 3-го и 4-го уровней):

- 1) количество ЭМ1,
- 2) количество панелей,
- 3) количество механических средств,
- 4) количество несущих конструкций,
- 5) количество монтажных плат.

Для изделий на уровне электронных блоков 1-го уровня (ЭМ1):

- 1) количество ЭМО (микросборки, микромодули, большие гибридные ИС),
- 2) количество печатных плат,
- 3) количество механических средств,
- 4) количество корпусов,
- 5) количество установочных деталей.

Инструкция пользователю находится в вычислительном классе кафедры.

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

3.1. Особенности технологии микроэлектронной аппаратуры

Реализация всех преимуществ микроэлектронной техники в производстве РЭС возможна только на основе использования стандартных ИС, БИС и БГИС общего применения в сочетании с микросборками. МСБ разрабатывают и изготавливают для конкретных РЭС с целью улучшения показателей их микроминиатюризации. И в этом случае они представляют собой устройства частного применения. В технологическом плане МСБ не отличаются от ГИС или БГИС общего применения, что позволяет для их изготовления использовать типовые технологические процессы (ТПП),

Для предприятий, изготавливающих микроэлектронную аппаратуру, наиболее приемлема пленочная технология. Она требует относительно простого (по сравнению с полупроводниковой технологией ИС) оборудования, характеризуется удовлетворительной точностью и стабильностью параметров пассив-

ных элементов, меньшим циклом производства и обладает большой гибкостью при конструировании.

Современную элементную базу РЭС и ЭВС составляют большие и сверхбольшие интегральные схемы. Применение БИС (СБИС) позволяет разрешить основное противоречие между сложностью и надежностью РЭС, существенно снизить их массу, габариты, энергопотребление, повысить надежность и расширить диапазон выполняемых функций. БИС и СБИС достигли такого уровня сложности, что способны выполнять аппаратурные функции в РЭС (ЭВС). При этом, однако, снижается их универсальность; такие схемы становятся все более специализированными, потребность в номенклатуре их растет, тиражность падает, что приводит к повышению их стоимости. Сегодня эта проблема решается за счет перехода на цифровые методы обработки информации (цифровизация РЭС), а также за счет применения микропроцессорных комплектов БИС (СБИС) и так называемых заказных или полужаказных БИС на основе базовых матричных кристаллов (БМК).

Микропроцессорные БИС (микропроцессоры) допускают возможность расширения (или изменения) их функций за счет подачи на их входы сигналов, которые могут меняться в соответствии с заданной программой. Таким образом, микропроцессоры — это программно—перестраиваемые интегральные устройства.

Матричные БИС преобразуются в устройство с заданными функциями технологическим путем на этапе формирования системы межсоединений (разводки) между функциональными элементами, входящими в БМК, с помощью одного или нескольких фотошаблонов. На основе одного БМК можно изготовить большое количество функционально различных РЭС. Библиотека матричных БИС (БМК) содержит как отдельные интегральные элементы или элементарные логические (или аналоговые) схемы, так и достаточно сложные узлы; триггеры, регистры, счетчики, дешифраторы и др. Для удобства трассировки межэлементных соединений элементы и контактные площадки схем, входящих в БМК, имеют унифицированные размеры и регулярное расположение, что облегчает автоматизацию проектирования (конструирования) РЭС на основе БМК, упрощает и ускоряет процесс формирования системы межсоединений.

Активные компоненты, ИС, БИС, выполняемые по полупроводниковой технологии, поставляют специализированные предприятия, а предприятия, выпускающие аппаратуру, осуществляют весь цикл технологических операций-, связанных с установкой и закреплением этих компонентов на подложке, присоединением выводов навесных компонентов к контактным площадкам, с установкой ГИС (МСБ) в корпус и последующей герметизацией, с маркировкой, лакировкой и проверкой выходных параметров на соответствие ТУ,

Для некоторых типов радио- и микроэлектронной аппаратуры возникает необходимость разработки специальных технологических процессов и взаимной увязки (согласования) их с комплексом типовых ТП. Это обстоятельство требует сравнительного анализа нескольких конкурентоспособных вариантов специальных ТП. Так, возникает проблема оперативного решения задач, связанных с проектированием технологических процессов, их анализом и выбором оптимальных решений, отвечающих требованиям современного производства. Эти задачи наиболее эффективно решаются только на основе автоматизированного проектирования с использованием ЭВМ,

В связи с тем, что большинство дипломных проектов посвящено разработке радио- и микроэлектронной аппаратуры, в дальнейшем основное внимание будет уделяться гибридной технологии на основе тонких и толстых пленок и гибридных интегральных схем (микросборок),

3.2. Основные этапы технологической подготовки производства и проектирования технологических процессов

При технологической подготовке производства (ТПП), решаются задачи: организации и управления технологической подготовкой производства; обеспечения технологичности конструкции изделий; разработки технологических процессов; проектирования и изготовления средств технологического оснащения.

Проектирование и производство современных РЭС представляет собой сложный и трудоемкий процесс. Содержание и характер работ, вид технологической документации и степень ее детализации зависят от этапа подготовки производства и проектирования ТП. Дадим краткую характеристику основных этапов

проектирования и производства РЭС, На всех этапах ТПП при изготовлении изделия основным документом служит техническое задание (ТЗ). В нем определены технические характеристики изделия, конструктивные, электрические, эксплуатационные требования (включая требования по надежности к нему), кроме того, оговариваются виды, порядок испытаний и приемки опытных образцов, ТЗ определяет все последующие этапы проектирования.

Техническое предложение (авиапроект) разрабатывается на основании анализа ТЗ, На этом этапе проводятся конкретизация ТЗ, оценка принципиальной возможности создания нового изделия, анализ существующей и перспективной элементной базы, выработка рекомендаций по уточнению ТЗ. Эти вопросы решаются с учетом технологических ограничений. В качестве подготовительного этапа разработки технологии проводятся поисковые работы. Цель их - выявление принципиальной возможности создания изделия с учетом достигнутого уровня техники и технологии, проведение экспериментов до выбору возможных методов изготовления. После уточнения ТЗ, его согласования и утверждения приступают к разработке эскизного проекта,

Эскизное проектирование - разработка и сопоставление нескольких возможных вариантов схмотехнических, конструктивных и технологических решений. Исследование различных вариантов технологии и выбор оптимального проводится на данном этапе в рамках научно-исследовательской работы, при этом осуществляется макетирование и экспериментальное исследование основных характеристик будущих изделий. При защите эскизного проекта производится очередное уточнение ТЗ. Согласованный и утвержденный эскизный проект служит основой для разработки технического проекта.

Технический проект представляет собой совокупность конструкторских документов и предварительного проекта технологической документации. Целью технического проектирования является теоретическая и экспериментальная проверка схемных, конструктивных и технологических решений. Разработка документации ведется в объеме, необходимом для изготовления опытного образца нового изделия. Проводятся контрольные испытания опытных образцов, по результатам которых со-

ставляются проекты технических условий (ТУ). Технические условия подразделяются на общие (ОТУ) и частные (ЧТУ), временные и т.д. по этапам отработки изделий. На этих этапах проверяется технологичность конструкции, степень соответствия современному уровню микроэлектроники и требованиям комплексной микроминиатюризации. Этап завершается выполнением технического проекта и предварительного проекта технологической документации на опытный образец. Технический проект после согласования и утверждения служит основанием для разработки рабочей конструкторской и технологической документации.

Рабочий проект. На этой стадии разрабатывается полный комплект конструкторской документации в соответствии с требованиями ЕСКД и технологической документации, необходимой для изготовления и испытания опытного образца изделия; проводятся опытно-конструкторские работы (ОКР), результатом которых являются выбор и практическая реализация окончательного оптимального варианта конструкции и технологии; изготавливается минимально необходимое технологическое оснащение. Технологической документации опытного производства присваивается литера "О". По результатам испытаний опытного образца осуществляется корректировка конструкторской и технологической документации и составляются временные ТУ. Заканчивается этап государственными, межведомственными, приемочными испытаниями опытного образца (опытной партии).

Серийное производство начинается с выпуска установочной серии. На этом этапе происходит разработка серийного ТП, проектирование и изготовление всей необходимой технологической оснастки. Изделия установочной серии подвергаются всесторонним испытаниям, по результатам которых осуществляется дальнейшая отработка конструкторской и технологической документации. Полностью разработанный и оснащенный ТП используется для изготовления головной (контрольной) серии. На изделиях этой серии проходят окончательную проверку рабочие чертежи и другая конструкторско-технологическая документация и технологическое оснащение. Технологической документации на этом этапе присваивается литера "А". По результатам испытаний головной серии делают окончательное уточнение временных ТУ и отработывают окончательный вариант ТУ.

Массовое производство характеризуется детальной разработкой ТП с обеспечением синхронизации отдельных операций и согласования времени их выполнения с ритмом непрерывной поточной линии.

Для сокращения сроков освоения новых изделий рекомендуется одновременная и совместная работа проектировщиков - схемотехников, конструкторов и технологов. Выполнение дипломных проектов позволяет совместить все эти специальности в одном лице.

В целях ускорения технического прогресса, повышения эффективности общественного производства и производительности труда, для улучшения качества продукции, а также рационального использования производственных фондов экономии материальных, энергетических и трудовых ресурсов разработчик нового изделия (конструктор - технолог в том числе и дипломник) должен опираться на государственные и отраслевые стандарты.

Основными общесоюзными стандартами являются:

ГОСТ1 - Государственная система стандартизации (ГСС),

ГОСТ2 - Единая система конструкторской документации (ЕСКД),

ГОСТ3 - Единая система технологической документации (ЕСТД),

ГОСТ4 - Система показателей качества продукции,

ГОСТ5 - Единая система аттестации качества продукции (ЕСАКП),

ГОСТ8 - Государственная система единства измерений (ГСИ),

ГОСТ14 - Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП).

Комплекс стандартов ЕСТД (ГОСТ3) включает девять групп:

0 - основные положения,

1 - основополагающие стандарты,

2 - классификация деталей и обозначение технологических документов,

3 - правила учета применяемости деталей, изделий технологической оснастки,

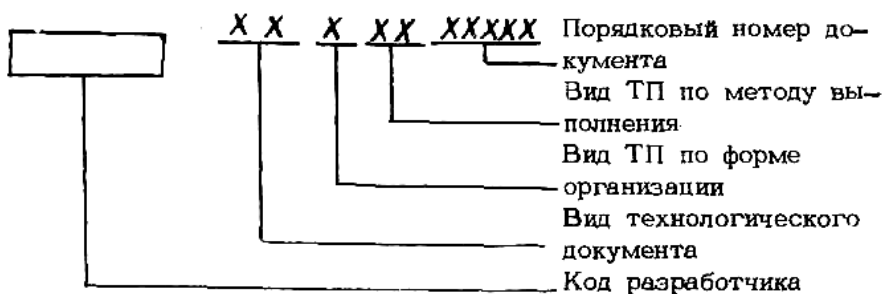
- 4 - правила оформления технологических документов, специализированных по видам работ,
- 5 - правила оформления технологических документов на испытания,
- 6 - вспомогательное производство,
- 7,8 - для последующих (вновь разрабатываемых) стандартов,
- 9 - нормативное хозяйство.

Основополагающие стандарты первой группы ЕСТД регламентируют стадии проектирования, виды технологических документов, общие требования к ним, правила оформления, комплектность и т.д.

Например, ГОСТ 3,1102-81 ЕСТД устанавливает две стадии разработки: предварительный проект и разработка документации опытного образца (опытной партии) и серийного (массового) производства. Оговариваются следующие этапы проектирования ТП: техническое задание, техническое предложение, эскизный проект, технический проект и разработка рабочей документации. Технологическим документам на изделия опытного производства присваивается литера "О"; на изделия серийного производства - литера "А" и массового производства - литера "В". Используются следующие виды документов: маршрутная карта (МК), операционная карта (ОК), карта эскизов (КЭ), ведомость технологических документов (ВТД), технологическая инструкция (ТИ), ведомость материалов (ВМ), ведомость технологической оснастки (ВО), комплектовочная карта (КК), ведомость распределения изделий по цехам (расцеховки) (ВР), карта технологического процесса (КТП), карта типового технологического процесса (КТТП),

Кроме того, в этой группе можно отметить: ГОСТ 3,1104-81. Общие требования к технологическим документам, ГОСТ 3.1105-84, Правила оформления технологических документов, ГОСТ 3.1109-82. Термины и определения основных понятий из области технологических процессов производства изделий.

Из стандартов ЕСТД второй группы заслуживает внимания ГОСТ 3.1201-85, отражающий системы обозначения технологических документов, Он устанавливает следующую структуру обозначения документов:



(в дипломном проекте указывается факультет и номер учебной группы, например, 04-612), Коды технологических документов приведены в табл. 3.1 (по видам ТД); в табл. 3.2 (виды ТП по форме организации производства); в табл. 3.3 (вид ТП по методу выполнения),

Таблица 3.1

Код	Вид технологического документа
01	Комплект технологических документов
10	Маршрутная карта
20	Карта эскизов
25	Технологическая инструкция
30	Комплектовочная карта
40	Комплектовочная ведомость
42	Ведомость оснастки
50	Карта технологического процесса
60	Операционная карта

Таблица 3.2

Код	Вид технологического процесса по методу его Организации
0	Без указания
1	Единичный процесс (операция)
2	Типовой процесс (операция)
3	Групповой процесс (операция), групповой метод обработки

Например, операционная карта на типовой ТП сверления отверстий печатной платы на станке с ЧПУ, приведенная на соответствующем бланке, в записке дипломника вечернего радиотехнического факультета будет иметь следующее обозначение: 14-608 60246 00003 (порядковый номер 3).

Таблица 3.3

Код	Вид технологического процесса по методу его выполнения
00	Без указания вида процесса
01	Технологический процесс изготовления изделия
02	Ремонт
03	Технический контроль
04	Перемещение
05	Складирование
06	Раскрой и отрезка заготовок
10	Литье
20	Ковка
30	Холодная штамповка
40	Механическая обработка
45	Групповая наладка на автоматах
46	Обработка на станках с ЧПУ
50	Термическая обработка
51	Термическая обработка с нагревом ТВЧ
70	Нанесение защитных покрытий
72	Электрохимическая обработка
75	Электрофизическая обработка
80	Пайка
88	Слесарные, слесарно-сборочные работы
85	Электромонтаж
90	Сварка

Более полные данные приведены в ГОСТ 3,1201-85, Комплекс стандартов 14-го класса (ГОСТ 14—ЕСТПП) включает следующие стандарты:

- 0 - общие положения,
- 1 - правила организации и управления процессом технологической подготовки производства,

2 - правила обеспечения технологичности конструкции изделий,

3 - правила разработки и применения технологических процессов и средств технологического оснащения,

4 - правила применения технических средств механизации и автоматизации инженерно-технических работ,

5 - прочие стандарты.

Основными стандартами ЕСТПП являются: ГОСТ 14,201-83. Общие правила отработки конструкции изделия на технологичность. Рекомендации по применению типовых технологических процессов и широкому использованию ЭВМ содержит ГОСТ 14.303-73, Правила разработки групповых ТП приведены в ГОСТ 14,316-75. Выбор технологического оборудования производится в соответствии с ГОСТ 14.301-83.

3.3. Методика проектирования технологических процессов

При выполнении технологической части дипломник разрабатывает технологический процесс изготовления конкретного изделия, (Под ТП конкретного изделия обычно понимают единую систему взаимосвязанных технологических операций, расположенных в логической последовательности, учитывающую специфические особенности изделия и чередование основных этапов его производства.) Разработка серийного ТП в таком случае складывается из следующих этапов:

- 1) анализ исходных данных;
- 2) выбор типа и организационной формы производства;
- 3) составление структурной схемы ТП;
- 4) составление технологической схемы сборки;
- 5) выбор и обоснование возможности использования типовых ТП;
- 6) расчленение ТП изготовления изделия на отдельные операции, составление маршрутной карты;
- 7) выбор наиболее прогрессивных методов выполнения операций, подбор оборудования;
- 8) выбор профессий и квалификации исполнителей;
- 9) разработка операционных технологических карт;
- 10) выявление необходимой технологической оснастки, приспособлений и инструмента;

- 11) выбор оптимальных технологических режимов;
- 12) техническое нормирование технологического процесса;
- 13) выбор методов и средств технического контроля качества изделий и соблюдения технологической дисциплины;
- 14) выбор оптимального варианта ТП;
- 15) оформление технологической документации.

Приведем краткую характеристику перечисленных этапов.

Анализ исходных данных предусматривает ознакомление с техническими условиями на изделие, чертежами общего вида, сборочными чертежами блока и ячейки или микросборки, спецификациями на блок и ячейку (или МСБ), с принципиальными схемами и топологическими чертежами.

Выбор типа и организационной формы производства производят с учетом программы выпуска и режима работы предприятия. При выборе типа производства ориентируются на коэффициент закрепления операции K_{zo} , который представляет собой отношение числа операций, выполненных за месяц, к числу рабочих мест. Для единичного производства $K_{zo} > 40$, для мелкосерийного $K_{zo} = 20 - 40$, для серийного $K_{zo} = 10 - 20$, для крупносерийного $K_{zo} = 1 - 10$ и для массового производства $K_{zo} = 1$. Значение K_{zo} может быть задано консультантом. В соответствии с выбранным типом принимается соответствующая организационная форма производства (единичное - непоточная, серийное - многопредметная прерывно-поточная и массовое - однопредметная непрерывно-поточная линия с непрерывным или пульсирующим движением конвейера).

Структурная схема ТП изготовления изделия отражает начальный этап разработки технологии и представляет собой условное изображение цепочки взаимосвязанных технологических и контрольных операций, их содержание и логическую последовательность выполнения в процессе производства. В каждом прямоугольнике, кроме наименования, указывают обозначение отраслевого стандарта и номер операции типового ТП.

Структурная схема ТП должна отражать следующие операции:

- а) изготовление пассивной части ГИС или коммутационной печатной (или другого типа) платы,
- б) изготовление отдельной микросборки или ячейки (типового элемента замены) и т.п.,

в) изготовление субблока и блока изделия.

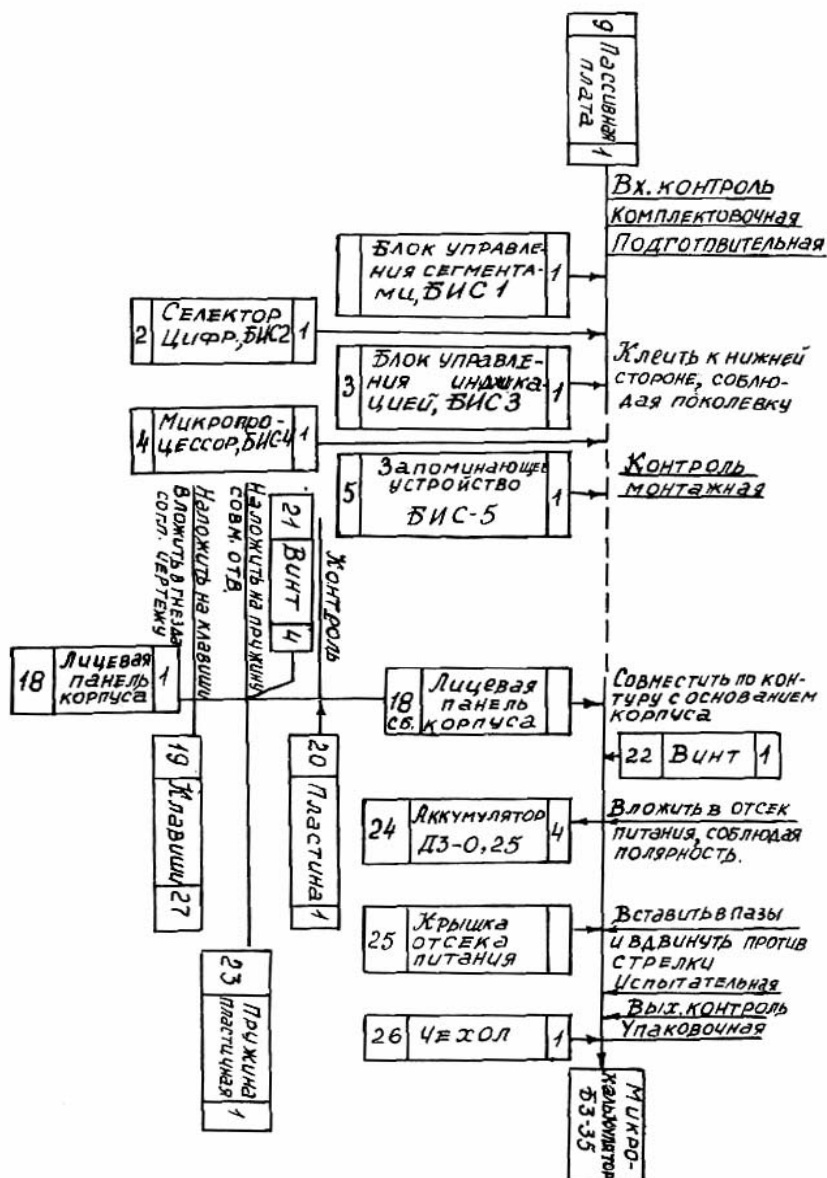
Схема ТП изображается на отдельном листе формата 24. При разработке такой схемы используются исходные данные, перечисленные выше, а также типовые ТП (ТПП). В приложении 3 дается пример выполнения структурной схемы ТП изготовления узлов, субблоков и блоков электронной аппаратуры.

Технологическая схема сборки составляется для выявления всего состава сборочных элементов, она определяет относительную последовательность выполнения сборочных работ и других взаимосвязанных операций, а также отражает характер выполняемых сборочных соединений. На технологической схеме каждый элемент изделия условно изображается прямоугольником, разделенным на три части. В левой его части указывается номер элемента, присвоенный ему в спецификации и на сборочном чертеже, в средней - наименование элемента, а в правой - количество однотипных элементов.

Технологическую схему сборки составляют следующим образом. Сначала выбирают основной (базовый) элемент конструкции, с которого начинается сборка. От прямоугольника, обозначающего базовую деталь, проводят вправо горизонтальную линию, указывающую направление хода сборки. Снизу наносят прямоугольники, обозначающие детали, электрорадиоэлементы, компоненты и другие элементы конструкции, присоединяемые к базовому элементу, а сверху - прямоугольники, обозначающие крепежные детали; сверху приводят также необходимую информацию о других операциях ТП и способах выполнения сборочных соединений. Составление технологических схем сборки изделий позволяет выявить и устранить конструктивные неувязки, усложняющие процесс сборки. Этот документ составляется на изделие или блок, приводится в пояснительной записке или выносится на лист (по указанию консультанта). Пример оформления схемы сборки микрокалькулятора (фрагмент) приведен на рис. 3.1.

В процессе составления структурной схемы ТП дипломник для каждой операции выбирает с соответствующим обоснованием наиболее подходящие технологические карты типовых технологических процессов, указывая в каждом прямоугольнике номер ОСТа и номер карты.

Рис. 3.1



Выбор и обоснование методов выполнения отдельных операций фиксируется соответствующим разделом текста пояснительной записки.

Расчленение ТП изготовления изделия на отдельные операции в условиях крупносерийного и массового производства рекомендуется производить с учетом определенных факторов: а) смены рабочего места или оборудования; б) однородности выполняемых работ в пределах каждой операции; в) сложности работ и требуемой квалификации исполнителей; г) необходимости введения контроля, приводящей к необходимости расчленения комплекса работ на отдельные операции до и после контроля; д) длительности выполнения операции в условиях непрерывно поточного производства, которая должна быть равна или кратна целому числу ритмов.

Последовательность выполнения сборочных работ устанавливают, руководствуясь следующими соображениями: ранее выполненные работы не должны затруднять выполнение последующих операций; сборку начинают с простых элементов изделия, а заканчивают более сложными и чувствительными к ударам и тряске; сборку начинают с установки мелких и легковесных узлов и блоков изделия, а заканчивают наиболее крупными и массивными.

Следует иметь в виду, что в единичном и мелкосерийном производстве преобладают укрупненные операции, т.е. один рабочий выполняет целый комплекс разнообразных работ. В крупносерийном и массовом производстве используют дифференцированные (мелкие) операции. По окончании этого этапа заполняется маршрутная карта.

Выбор наиболее прогрессивных методов выполнения операций должен производиться на основе критического подхода к анализу существующих методов и способствовать внедрению новых способов и эффективных методов технологии. Прогрессивная технология должна опираться на использование соответствующих комплексов оборудования, включающих полный набор технологических установок, измерительной аппаратуры и средств управления и обеспечивающих выпуск заданной программы годных изделий. Современные комплексы оборудования могут насчитывать сотни установок более 50 — 60 наименований, различающихся методами обработки, точностью, производитель-

ностью, уровнем механизации и автоматизации. Выбор оборудования и технологического оснащения на основе принятого типа производства, программы выпуска с учетом требуемой производительности и точности выполняют с привлечением каталогов и классификаторов оборудования (ОСТ4.ГО.091.013), а также

ТПП.

Выбор профессий и квалификации исполнителей рекомендуется осуществлять с привлечением тарифно-квалификационных справочников и классификаторов технологических операций (ОСТ4.ГО.040.012) и технологических процессов

(ОСТ4.ГО.040.011).

Разработка операционной технологической карты производится на одну из операций, по указанию консультанта в соответствии с пунктом задания "Детализация технологического процесса". Она служит дополнением к маршрутной карте, в ней описывают содержание работ по переходам. Расчленение операций ТП на переходы выполняется в соответствии с определенными правилами, которые учитывают: а) смену конструктивных сборочных элементов изделий; б) смену инструмента; в) изменение технологического режима; г) изменение вида сборочных или монтажных соединений.

В операционно-технологической карте переходы записываются повелительными предложениями. Такое расчленение операций на переходы облегчает выполнение последующих этапов. В этом же разделе записки (детализация технологического процесса) необходимо привести характеристику физико-химических процессов, происходящих в ходе ТП; текстовый материал дополняется необходимыми иллюстрациями, таблицами, графиками, отражающими особенности выбранного процесса, зависимости между факторами (технологическими режимами) и параметрами (целевой функцией).

Выявление необходимой технологической оснастки, приспособлений и инструмента должно проводиться с учетом типа производства. В условиях мелкосерийного и единичного (опытного) производства большие затраты времени и средств на изготовление специальной технологической оснастки оказываются неоправданными, поэтому применяют универсальную оснастку и приспособления. В условиях крупносерийного и массового произ-

водства затраты на изготовление специальной технологической оснастки довольно быстро окупаются выпуском больших партий изделий.

Выбор оптимальных технологических режимов. Технологический процесс должен предусматривать рациональное использование рабочей силы, оборудования и технологической оснастки. Оптимальные режимы должны способствовать интенсификации ТП, устранению узких мест, в производстве, повышению качества продукции, экономии материалов и энергии. В ряде случаев для интенсификации ТП целесообразно использовать ЭВМ, выполняющие функции автоматического управления и оптимизации режимов. Разработка автоматизированных управляющих и регулирующих систем может стать темой отдельного дипломного проекта. В ряде случаев в технологической части дипломнику выдается задание на получение статистических данных с использованием математических методов планирования экспериментов и на обработку полученных результатов с целью вычисления параметров математической модели исследуемого ТП.

Возможен вариант выдачи дипломнику матрицы планирования с экспериментальными данными, необходимыми для нахождения модели ТП. Используя полученную модель, дипломник рассчитывает оптимальные режимы ТП. Математическое моделирование и оптимизация обычно выполняются применительно к той же операции ТП, которая выбрана в качестве объекта для детальной разработки. Более подробно эти вопросы изложены в разд. 5.

Нормирование сводится к определению нормы штучного времени на одну из операций ТП (по указанию консультанта). Она может выступать в качестве аргумента, так и параметра оптимизации ТП. Выбор оптимального варианта технологии по себестоимости или трудовым затратам невозможен без предварительного нормирования вариантов. Норму штучного времени на операцию рассчитывают по формуле

$$\tau_{um} = \tau_{on} \cdot K \cdot \left[1 + \frac{K_1 + K_2}{100} \right],$$

где τ_{on} — оперативное время на выполнение операции, мин; K — поправочный коэффициент, учитывающий группу сложности и вид производства (для серийного производства первой категории $K = 1,0$ для единичного $K = 1,3$ и для массового $K = 0,7$); K_1 — коэффициент, учитывающий время на организационно-техническое обслуживание рабочего места, процент от

оперативного времени ($K_1=2-4\%$); K_2 - коэффициент, характеризующий время регламентированных перерывов ($K_2=1-2\%$).

Оперативное время на операцию получают суммированием норм времени по каждому переходу (это время выбирается по ОСТ4.Г0.050.010 - ОСТ4.Г0.050.018 или по специальным нормативам), а затем рассчитывают τ_{on} с учетом поправочных коэффициентов, как это видно из формулы. Норма штучного времени представляется в соответствующей графе операционно-технологической карты, а для массового производства увязывается еще и с ритмом производства,

Выбор методов и средств технического контроля подробно рассматривается в разд. 4.

Выбор оптимального ТП предполагает сравнение двух или более конкурентоспособных вариантов по определенным показателям. Такими показателями могут быть технологическая себестоимость изделий или производительность ТП. Выбор оптимального варианта по этим параметрам можно вести в соответствии с методикой, изложенной в [22]. Выбор оптимального варианта ТП может проводиться и по производственным показателям технологичности конструкции (см. методику в разд. 2 настоящего пособия).

Параметром оптимизации могут служить и другие показатели ТП (точность, надежность, устойчивость, стабильность, процент выхода годных и т.д.). Системный подход к выбору оптимального варианта ТП требует одновременного учета нескольких параметров (критериев) оптимизации, при этом одни параметры по условию задачи оптимизации необходимо максимизировать, а другие - минимизировать. Ситуация осложняется тем, что экстремальные значения управляемых факторов для одного частного критерия, как правило, не совпадают с таковыми для других параметров оптимизации. В подобных случаях задача многокритериальной оптимизации ТП сводится к обеспечению возможно большего значения каждого из частных критериев. Имеются различные методы решения этой задачи, но все они являются компромиссными, не обеспечивающими абсолютно точного решения. Задача многокритериальной оптимизации ТП может стать предметом специального рассмотрения в технологической части проекта,

3.4. Оформление технологической документации

Разработка технологического процесса изготовления изделия в дипломном проекте заканчивается оформлением технологической документации: маршрутных карт (МК), операционной карты (ОК) на одну из операций (по выбору), составлением технологических инструкций (ТИ).

Формы МК, установленные ГОСТ 3.1118-82, являются унифицированными и применяются независимо от типа и характера производства. Для изложения ТП в МК рекомендуется способ заполнения, при котором информацию вносят построчно несколькими различающимися типами строк. Каждому типу строки соответствует строго определенный служебный символ, который условно выражает состав информации, содержащейся в данной строке.

Для обозначения служебных символов приняты буквы русского алфавита, проставляемые перед номером соответствующей строки. Служебный символ М первой и второй строки, а также номера остальных строк формы МК отпечатаны типографским способом. Содержание информации, соответствующей каждому служебному символу, приведено в табл. 3.4.

При заполнении МК в строке, начинающейся с символа А, указывается в соответствующих графах номер цеха, участок, шифр рабочего места (в дипломном проекте заполнение не обязательно), затем указывается номер операции (начиная с 005 и далее нумерация кратна пяти, т.е. 010, 015 и т.п.) и на этой же строке следует привести наименование операции в соответствующей графе формы МК.

Следующая строка МК должна начинаться с символа Б. Далее в графе "код, наименование оборудования" приводится название применяемого на этой операции оборудования.

При заполнении информации на строках, имеющих служебный символ 0, следует строго выдерживать технологическую последовательность. Содержание информации записывается по всей длине строки с переносом (при необходимости) текста на последующие строки. При операционном описании ТП на МК номер первого перехода следует проставлять в начале строки после символа 0. Нумерация последующих переходов приводится без обозначения символа 0 внутри данной операции,

Таблица 3.4

Обозначение служебного символа	Содержание информации, вносимой в графы, расположенные на строке
А	Номер цеха, участка, рабочего места, где выполняется операция, номер операции, код и наименование операции, обозначение документов, применяемых при выполнении операции (применяется только для форм с горизонтальным расположением поля надшивки)
Б	Код, наименование оборудования и информация по трудозатратам (для форм с горизонтальным расположением поля подшивки)
К	Информация по комплектации изделия (сборочной единицы) составными частями с указанием наименования деталей, сборочных единиц, их обозначений, обозначения подразделений, откуда поступают комплектующие составные части, кода единицы величины, единицы нормирования количества на изделие и нормы расхода (применяется для форм с горизонтальным расположением П.П.)
М	Информация о применяемом основном материале и исходной заготовке, информация о применяемых вспомогательных и комплектующих материалах с указанием наименования и кода материала, обозначения подразделений, откуда поступают материалы, кода единицы величины, единицы нормирования, количества на изделие и нормы расхода
О	Содержание (перехода)
Т	Информация о применяемой при выполнении операции технологической оснастке и инструментах
Р	Информация о технологических режимах

При заполнении информации на строках, имеющих служебный символ Т, указывают наименование технологической оснастки в такой последовательности: приспособления, вспомогательный инструмент, режущий инструмент, слесарно-монтажный инструмент, специальный инструмент и средства измерения. Эта информация записывается по всей длине строки (с переносом при необходимости) информации на последующие строки. Разделение информации по видам технологической оснастки производить знаком <<;>>

При оформлении МК согласно ГОСТ 3.1118-82 последовательно заполняют строки, обозначенные символами: А, Б, К, М, О и Т. При маршрутном описании ТП в дипломном проекте можно ограничиваться заполнением строк А и Б по каждой операции.

Операционные карты в дипломном проекте выполняются на бланках маршрутной карты с соблюдением следующего порядка. Заполнение строк: А, Б, К, М, О, Т и Р (табл. 3.4).

Примеры заполнения маршрутной и операционной технологических карт приведены соответственно в приложениях 2 и 3.

Помимо МК и ОК, иногда возникает необходимость в составлении технологических инструкций (ТИ), материальной ведомости (ВМ), ведомости оснастки (ВО) и других документов.

Технологическая инструкция (ТИ) содержит описание специфических и сложных приемов работы или описание методики контроля ТП, правил пользования оборудованием и приборами, а также описание физико-химических процессов, происходящих при выполнении отдельных операций ТП. ТИ разрабатывается дипломником на операцию контроля выходных параметров изделий в соответствии с требованиями ТУ или на новый (оригинальный) ТП по согласованию с консультантом.

Материальная ведомость (ВМ) содержит перечень и нормы расхода основных и вспомогательных (технологических) материалов, используемых при изготовлении изделия.

Ведомость оснастки (ВО) содержит перечень специальных и стандартных приспособлений и инструментов, необходимых для оснащения ТП (в дипломном проекте ВМ и ВО отдельно не составляются при условии обязательного заполнения соответствующих граф МК и ОК).

Прочие документы, номенклатура которых устанавливается в соответствии с отраслевыми стандартами на технологическую документацию в зависимости от вида работ и назначения документов; в дипломном проекте из категории прочих документов разрабатываются структурная схема ТП изготовления проектируемого изделия, технологическая схема сборки и структурная (или функциональная) схема контроля параметров изделия,

3.5. Автоматизированное проектирование технологических процессов

В современных условиях повышение качества изделий и сокращение сроков разработки ТП может быть обеспечено лишь на основе широкого использования математических методов и быстродействующих ЭВМ, Эффективность использования ЭВМ для проектирования ТП зависит в определенной степени от четкой системы кодирования, разветвленной системы хранения массивов технологической информации и оперативности информационно-поисковой системы. Большой объем неформализуемых элементов в проектировании ТП вследствие высокой степени эвристичности решений предопределяет невозможность моделирования и формализации всех функций технолога-проектировщика и как следствие этого - необходимость использования большого объема задач, решаемых в режиме диалога технолога с машиной.

Автоматизация технологического проектирования особенно эффективна, когда от автоматизации выполнения отдельных технологических расчетов переходят к комплексной автоматизации, создавая для этой цели системы автоматизированного проектирования (САПР ТП).

САПР ТП должна выполнять следующие задачи:

- 1) оценивать технологичность конструкций РЭС и ее отдельных конструктивных элементов;
- 2) намечать оптимальный вариант схемы ТП, определяющий вид технологии, состав и последовательность технологических этапов, методы их выполнения;
- 3) разрабатывать технологический маршрут, отражающий состав и последовательность операций, тип оборудования, размещение контрольных операций;

4) обеспечивать детальную разработку операционной технологии, включающей определение структуры операций и характеристик каждого перехода, выявление потребной технологической оснастки, инструмента, основных и вспомогательных (технологических) материалов, проведение нормирования переходов и операций ТП в целом;

5) разрабатывать программы для производственного оборудования с числовым программным управлением,

САПР ТП должна предусматривать возможность постоянного и оперативного пополнения технологического банка данных справочно-нормативной информацией. Автоматизация процессов технологического проектирования должна предусматривать его расчленение на две части: формализуемую и не формализуемую. Формализуемая часть реализуется на основе логико-математического или экспериментально—статистического моделирования. Эта часть САПР ТП может быть представлена в виде проблемно-ориентированного пакета специальных и стандартных программ. Не нормализуемая часть выполняется технологом и содержит определение общего плана (маршрута) изготовления и сборки изделия, оценку и выбор наиболее рациональных вариантов технологии,

В соответствии с этим делением автоматизированное проектирование ТП может проводиться по двум направлениям: машинное и алгоритмическое. В первом случае проектирование ведется в режиме диалога человек-машина. При этом технолог-проектировщик решает неформализованные задачи, а формализованная часть проектирования выполняется с помощью ЭВМ, т.е. реализуется интерактивный режим работы вычислительных машин. Такой режим требует эпизодического вмешательства проектировщика в процессе решения поставленной задачи с целью внесения дополнительных данных или изменений и корректив.

При алгоритмическом проектировании используется режим пакетной обработки, когда технолог задает условия решения задачи и исходные данные. В этом случае проектирование ТП происходит автоматически, а полученный вариант технологии оценивается проектировщиком. Этот метод требует совершенного и практически полного математического обеспечения со сложными логическими переходами от одной части задачи

проектирования к другой. Эти два направления автоматизированного проектирования используют в логическом взаимодействии и дополнении.

Вся информация в системе САПР ТП делится на две группы: постоянную и переменную. Постоянная информация - данные, вводимые и хранимые в системе, не изменяющиеся в процессе функционирования или изменяющиеся сравнительно редко, К этим данным относятся: шифраторы типовых технологических операций (ТТО); библиотека ТТО; шифраторы технологического оборудования, оснастки и инструмента; нормативы времени на отдельные приемы работ (переходы). Переменная информация - это совокупность данных, содержащих конкретную информацию об определенном типе изделия частного применения: вид технологии, объем производства, количество навесных компонентов и их номенклатура, требуемая точность обеспечения выходных характеристик, диапазон рабочих частот, рассеиваемая мощность, условия эксплуатации,

В основу методики автоматизированного проектирования ТП изготовления РЭА и МЭА положен принцип использования типовых технологических процессов и типовых технологических операций (ТТО). Сведения о ТТП и ТТО хранятся в машинной библиотеке САПР ТП (они составляют постоянную информацию) и могут быть получены в форме распечатки маршрутной или операционной технологической карты, которые в виде приложений включаются в текст пояснительной записки по технологической части.

Вопросы проектирования САПР ТП на различном уровне детализации, разработка отдельных алгоритмов и программ к этой системе, а также составление программ для производственного оборудования с ЧПУ по согласованию с консультантом могут выноситься в специальный раздел технологической части дипломного проекта. Схемы алгоритмов в этом случае рекомендуется выносить на лист формата 24. Отдельные фрагменты САПР ТП выполнены в виде программ, реализованных на ЭВМ на кафедре, К их числу относятся:

1. Статистический метод оценки производственных погрешностей изделий РЭА и МЭА. Программа "GIST" на языке Бейсик по экспериментально-статистическим данным выполняет расчет основных характеристик распределения погрешностей

(среднего значения, среднеквадратического отклонения, коэффициентов относительного рассеяния и асимметрии), дает оценку правильности настройки технологического процесса и соответствия его точности требованиям ТУ, дает характеристику процента выхода годных, строит графики гистограммы и полигона распределения погрешностей.

2. Расчёт плана выборочного контроля качества изделий Р и МЭА по количественным характеристикам. Имя программы, написанной на языке Бейсик, - "GCG". Программа по исходным данным вероятности риска поставщика и заказчика, уровням приемочного и браковочного качества, а также с учетом требований ТУ и коэффициентов относительного рассеивания и асимметрии, рассчитывает приемочный критерий, объем выборки и параметр оперативных характеристик, при неизвестном и известном значениях среднеквадратического отклонения, по верхней и нижней границам допуска.

3. Оптимизация технологического процесса по модели второго порядка градиентными методами. Программа "MIN MAX" после ввода численных значений коэффициентов полинома второй степени и требований к величине параметра оптимизации производит расчет координат точки экстремума. Результаты вычислений выводятся на экран дисплея в виде таблиц и графиков.

4. Расчёт параметров математической модели (ММ) технологических процессов второго порядка. Программа "ПЛАН" предназначена для получения математической модели ТП в виде квадратичных полиномов. С помощью этой программы вычисляются коэффициенты модели, оценивают их значимость и адекватность модели, программа рассчитана на получение модели ТП с числом факторов от 2 до 6 и числом повторных опытов для каждой комбинации уровней факторов от 2 до 5.

5. Оценка оптимальных значений целевой функции расчетно-аналитическим методом и вычисление коэффициентов влияния уравнения погрешностей. Программа расчета оптимальных значений факторов "PRS" базируется на использовании в качестве исходных данных коэффициентов ММ в кодированной форме, основных уровней и интервалов варьирования факторов в натуральном масштабе их измерения. В процессе вычислений ММ

преобразуется в натуральный масштаб измерения факторов, вычисляются экстремальные значения факторов и оценивается оптимальное значение целевой функции. Далее производится расчет коэффициентов влияния уравнения погрешностей параметра оптимизации расчетно-аналитическим методом.

6. Программа расчета технологических допусков "PRI". Исходными данными для работы программы являются количество факторов, число коэффициентов влияния, коэффициентов относительного рассеивания и величина допуска на выходной параметр. Работа программы заканчивается выводом значений допустимых отклонений технологических факторов (режимов).

7. Моделирование технологического процесса сварки контактных соединений гибридных интегральных схем. Программа имитирует реальный ТП сварки монтажных соединений, производит расчет параметров ММ методом композиционного ортогонального планирования эксперимента и оптимизацию режимов ТП по полученной модели. Программа "ТТОРУТ" состоит из двух подпрограмм: 1) имитация эксперимента и обработка данных с целью получения математической модели, 2) оптимизация режимов ТП сварки по полученной модели.

8. Выбор оборудования и рациональных режимов его использования при изготовлении микросборок. Программа "LDV", реализованная в операционной системе РАФОС и написанная на языке ФОРТРАН-4, производит на миниЭВМ СМ—4 расчет стоимости партии МСБ, числа обслуживающего персонала и стоимости обслуживания для различных вариантов технологического оборудования при заданных режимах его использования, а также осуществляет выбор вариантов, при которых достигается минимальная стоимость партии МСБ. Эта программа может использоваться также для персонального компьютера БК-0010-Ш.

9. Программа расчёта технологичности изделий радиоэлектроники "RU KARAT". написанная на языке Фортран и реализованная на микро ЭВМ ДБК-2, В шести различных файлах на внешних носителях параллельно с программой записаны в виде таблиц необходимые данные для расчета, взаимодействие которых происходит внутри программы в диалоговом режиме.

Результаты расчета технологичности конструкции изделия выводятся на экран дисплея в виде соответствующих коэффи-

циентов, численные значения которых показывают уровень их соответствия установленным нормативам,

10. Программа, предназначенная для автоматизированной распечатки технологической документации как конечного продукта автоматизированного проектирования ТП, При дипломном проектировании на ЭВМ может быть подготовлен бланк маршрутной карты и заполнен требуемой технологической информацией. Форма такой МК приведена в приложении 3.

4. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И ИСПЫТАНИЙ

4.1. Методы контроля

Операции технического контроля качества продукции используются на всех этапах технологического процесса. Цель входного контроля - установить степень соответствия важнейших параметров исходных материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий требованиям ТУ. В ходе технологического процесса после наиболее ответственных операций, а также операций, характеризующихся высоким процентом брака, вводится пооперационный (текущий) контроль, позволяющий своевременно обнаружить бракованные изделия; провести анализ причин появления брака; оценить правильность настройки ТП; выявить точность, устойчивость и стабильность технологических процессов. Данный вид контроля предотвращает непроизводительный расход материалов, труда, времени и средств на обработку негодной продукции на последующих операциях, но при этом затраты на контроль увеличиваются. Таким образом, возникает задача оптимизации контроля по минимуму затрат.

Оптимальное размещение контрольных операций по технологической цепи и выбор оптимального плана контроля обеспечивает минимизацию стоимости контроля и дополнительных затрат на обработку дефектных изделий. Решение этой задачи в дипломном проекте является составной частью выбора и обоснования ТП. При выполнении этого пункта задания дипломник может руководствоваться ОСТ 11.091,210-74 или частной методикой расчета оптимального размещения контрольных операций. Завершающим этапом производства изделий РЭА является

приемочный выходной контроль, цель которого - проверить соответствие требованиям ТУ готовых изделий, имеющих самостоятельное применение.

При заполнении ведомости операций контроля (ВОП) необходимо различать следующие пять групп технического контроля:

1) визуальный — для проверки внешнего вида изделия и установления его соответствия требованиям топологических чертежей, монтажных схем и ТУ. При этом проверяется состояние пассивной части МСБ, коммутационных проводников, защитных покрытий, качество сборочных и монтажных соединений, плавность хода ручек управления. В процессе визуального контроля устанавливается также соответствие линейных размеров деталей, узлов, блоков и приборов чертежам или образцам. В качестве средств визуального контроля используются увеличительные стекла, микроскопы, микроинтерферометры и мерительный инструмент для проверки линейных размеров;

2) механический - для определения механической прочности конструкции изделий, устойчивости к воздействию вибрации, ударов, линейных ускорений, а также надежности контровки разъемных соединений;

3) физико-химический, используемый главным образом на входном контроле при проверке соответствия технических характеристик исходных материалов, а также в дефектоскопии;

4) технологический - для проверки основных характеристик технологического процесса (точности, надежности, стабильности, устойчивости и т.д.). Этот контроль способствует повышению технологической дисциплины, предупреждает возможные нарушения технологического процесса, дает возможность своевременно подстраивать ТП;

5) электрический, являющийся основным при проведении контрольных операций по проверке РЭА. Электрический контроль осуществляется в три этапа: проверка изделия по карте сопротивлений, проверка изделия по карте напряжений и проверка соответствия выходных параметров изделия требованиям ТУ, (В отдельных случаях проверяют также качество изоляции, сопротивление, электрическую прочность изоляции.)

По количеству проверяемых изделий различают сплошной (сто процентный) и выборочный (статистический) контроль.

4.2. Технические средства контроля

В дальнейшем в соответствии с ГОСТ 14,306-73 технические средства контроля для краткости будем именовать средствами контроля (СК). (Под СК понимается специализированное технологическое оборудование и оснащение, предназначенные для получения достоверной количественной информации о качестве изделия и режимах ТП) Проблема разработки СК может возникнуть на разных этапах ТП. Трудоемкость контрольно-регулирующих работ часто составляет не менее 20% от общих трудовых затрат на изготовление аппаратуры, поэтому разработка СК является одним из важных этапов технической подготовки производства.

В зависимости от выполняемых функций СК должны обеспечивать: оценку функционирования контролируемого узла, блока; имитацию контрольных сигналов; определение по результатам контроля неисправного блока, съемного узла; регистрацию результатов контроля и выдачу данных для устранения отказов и прогнозирования работоспособности; контроль параметров и режимов ТП.

При разработке СК необходимо использовать следующие исходные документы: конструкторскую документацию на изделие (ТУ, ВО, схемы и топологические чертежи) и технологическую документацию на изготовление и контроль изделия.

Общий порядок разработки и выбора СК осуществляется в следующем порядке:

1. Анализ характеристик объекта контроля и показателей процесса контроля. Используя конструкторскую и технологическую документацию, сведения о программе, сроках выпуска изделий, студент выявляет характеристики объекта контроля, контролируемые параметры и показатели процесса контроля, К числу показателей процесса контроля относятся точность измерений, достоверность, трудоемкость и стоимость контроля. Трудоемкость, в свою очередь, связана с полнотой и объемом контроля.

Определим некоторые термины, используемые при разработке СК: контролируемый параметр - количественная характеристика свойств объекта контроля; достоверность контроля - вероятность соответствия результатов контроля

действительным значениям контролируемых признаков; полнота контроля - отношение количества контролируемых признаков объ-

екта на данной операции к общему количеству контролируемых признаков; объем контроля - отношение количества контроля в выборке к общему количеству объектов контроля в партии,

2. Определение предварительного состава СК. Перед тем как приступить к разработке СК, необходимо провести анализ состояния близких по типу и назначению устройств на основе существующих государственных отраслевых стандартов и стандартов предприятий на средства контроля, каталогов и классификаторов СК, картотек применяемости СК, инструктивно-методических материалов по выбору СК и т.п. Учитывая существующее состояние разработки аналогичных устройств, студент выбирает и разрабатывает функциональную схему СК в соответствии с основными требованиями ЕСКД.

3. Конструктивная разработка общего вида СК или отдельного оригинального узла, входящего в состав СК. Эта часть работы выполняется по предварительному согласованию с консультантом, причем порядок конструирования специализированного СК носит общий обязательный характер проектирования радиоаппаратуры и определяется студентом в процессе работы над дипломом. Гораздо больше специфических требований предъявляется к разработке внешней компоновки прибора и составлению общей компоновочной схемы СК. Поскольку специализированные средства контроля представляют собой прибор или комплекс приборов, оформленных в виде стенда или стойки, с которыми длительное время работает человек (оператор), на первое место выдвигаются требования эргономики (науки о взаимодействии человека с машиной) и технической эстетики. Разработка внешней компоновки заключается в выборе формы прибора, конструирования его лицевой панели, индикаторов, органов управления и их размещения с учетом требований, изложенных в ОСТ 4.ГО.410.001 и ОСТ 4.ГО.410.005.

4. Разработка технологической документации по СК. Основным рекомендуемым технологическим документом является технологическая инструкция (ТИ). По согласованию с консультантом допустимо оформление операционной карты (ОК) технического контроля или ведомости операции технического контроля

(ВОП) (см. выше). Технологическая инструкция должна включать описание общего порядка подготовки СК к работе, порядок работы с

ними, указания по стыковке с внешними приборами и контролируемыми объектами, перечень контролируемых параметров, указания по точности измерений и по технике безопасности. Представленный материал также может иллюстрироваться схемами и таблицами измерений.

Таким образом, в результате разработки СК студент в пояснительной записке дает анализ характеристик объекта и показателей процесса контроля, приводит функциональную схему СК и ТИ. Конструкция общего вида СК выносится на лист формата А4. По согласованию с консультантом сюда же может быть вынесена и функциональная схема,

4.3. Технические средства испытаний

В зависимости от целей все испытания могут быть разбиты на две основные группы; исследовательские (граничные, лабораторно—отрабочные и т.д.), проводимые для изучения определенных свойств изделий, и контрольные (приемосдаточные, периодические, типовые и т.д.), проводимые для контроля качества изделий. Большое разнообразие условий эксплуатации и видов нагрузок, которым могут подвергаться элементы, функциональные узлы и аппаратура, не позволяют ограничиться проведением какого-либо одного вида испытаний. Выбор видов и величины нагрузок в каждой категории испытаний осуществляется в соответствии с ТУ на разрабатываемую аппаратуру. Испытания проводятся по разработанной программе испытаний (ПИ), где в общем случае должны быть предусмотрены:

- порядок подготовки к испытаниям (отбор образцов, выдержка в нормальных условиях и т.д.);

- способы установки и крепления изделий при испытаниях;

- условия проведения испытаний (последовательность воздействия нагрузок, продолжительность испытаний и т.д.);

- выходные параметры испытываемой аппаратуры, их количество и последовательность измерения;

- методика анализа отказов и обработка результатов испытаний.

Для выполнения программы испытаний необходимо выбрать испытательные стенды, приспособления для установки испыты-

ваемой аппаратуры, пульта контроля режимов испытаний и выходных параметров аппаратуры или составить задание на разработку нестандартных средств технологического оснащения процесса испытаний,

В процессе выбора средств испытаний необходимо учитывать: характеристики объектов испытаний (контролируемые параметры, точность и последовательность их измерений и т.д.); тип производства; методы испытаний; стандартные средства испытаний (ГОСТ 3.1105-74) и перечень средств испытаний для данной отрасли; применимость стандартных средств (ГОСТ 3.1302-74; ГОСТ 14307-73);

ТЗ на разработку нестандартных средств испытаний
ГОСТ 15.001-73.

4.4. Автоматизация технологической операции выходного контроля

Средства контроля для сложной аналоговой и особенно цифровой аппаратуры являются в основном узкоспециализированными и рассчитаны на работу с ограниченным числом изделий или специфическими ТП. Сложность, стоимость и многообразие индивидуальных стендов увеличиваются по мере повышения функциональной сложности объектов. Одновременно с этим все больше высококвалифицированных специалистов отвлекается на их разработку и эксплуатацию. Изготовление специальных стендов, их эксплуатация, профилактический контроль и ремонт - трудная задача, поэтому стендовый контроль часто не соответствует современному развитию сложной аппаратуры.

Наиболее полно современным тенденциям отвечают автоматические СК (АСК). В условиях освоения производства новой МЭА, характеризующейся относительно малым количеством изделий и широкой номенклатурой, целесообразно использовать единые комплексные СК для различных видов контрольных операций: контроля правильности монтажа, контроля параметров узлов и блоков изделия, контроля функционирования при испытаниях узлов и блоков и т.д. Такие комплексные системы целесообразно строить на базе ЭВМ.

Основной частью работы студента в этом направлении являются составление функциональной схемы системы контроля с использованием ЭВМ и алгоритма построения тест - программы; разработка алгоритма функционирования ЭВМ.

Примером АСК может служить также контроль правильности функционирования изделия по заранее разработанной тест - программе на автоматизированном стенде. Контроль состоит в сравнении значений сигналов на входных и выходных выводах микросборок, узлов, субблоков и блоков со значениями этих же сигналов, задаваемых тестом. Первичной задачей такой АСК является построение тест - программы проверки для заданного устройства. Имеется два основных класса тестов: обнаруживающие неисправность и диагностирующие неисправность. Студент выполняет построение тестов, проводит их минимизацию и составляет из них набор.

В качестве пособий, используемых при разработке АСК, можно рекомендовать учебное пособие [36] и методическую разработку по машинному построению проверяющих тестов, имеющуюся на кафедре.

4.5. Требования к конструктивному оформлению специализированных средств контроля

В процессе разработки специализированных стендов контроля необходимо обращать внимание на конструирование их лицевых панелей с учетом основных требований эргономики. Лицевая панель играет важную роль в непосредственном взаимодействии человека-оператора с аппаратурой. При конструировании специализированных средств контроля должна достигаться высокая плотность использования площади лицевой панели (для современной РЭА - до 85%), что определяет эксплуатационную надежность стенда. В качестве критериальной количественной характеристики выступает время настройки и контроля.

При разработке лицевых панелей стенда контроля главной задачей является оптимизация потока информации от него к оператору. Поступающая информация должна соответствовать мыслительной деятельности оператора, которая делится на четыре этапа: восприятие поступающей информации, оценка информации, принятие решения, приведение принятого решения в исполнение,

При конструировании следует учитывать, что элементы лицевых панелей условно можно разделить на четыре основные группы: отображения информации; управления; внешней коммутации и конструктивные,

В процессе разработки стенда контроля студент должен уметь увязывать элементы лицевой панели с инструкцией по настройке и контролю изготовленного блока или устройства. Основные требования к конструированию лицевых панелей СК с учетом эргономики изложены в [39].

5. СПЕЦИАЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

5.1. Математическое моделирование и оптимизация технологических процессов

В связи с переходом от установившихся традиционных методов разработки технологических процессов к современным машинным методам возникает необходимость в математическом моделировании, которое исходит из оценки технологии как большой и сложной системы [13]. Математическое моделирование - важная составная часть технологического проектирования: В дипломном проекте взаимосвязь и взаимообусловленность отдельных операций сложного многооперационного ТП представляется в виде структурной схемы. Общая модель такого ТП может быть получена на основе построения частных моделей отдельных его операций, с отражением взаимосвязей между ними.

По заданию консультанта дипломник должен разработать математическую модель на одну или несколько непосредственно связанных между собой операций ТП. Перед составлением модели дипломник должен детально изучить ТП и в записке дать тщательное описание технологических операций, подлежащих представлению в математической форме.

В качестве исходных данных для моделирования консультант по технологической части задает дипломнику матрицу ортогонального или рототабельного планирования 2-го порядка. Коэффициенты полинома вычисляют по статистическим данным с применением математических методов планирования экспериментов,

В матрице планирования достаточно ограничиться тремя-четырьмя факторами. В качестве начального уровня каждого фактора выбираются номинальные значения технологических режимов, взятые из типовых технологических процессов. Пределы изменения технологических режимов, приводимые в ТТП, позволяют выбрать соответствующие интервалы варьирования.

Последние три столбца ортогональной матрицы по всем опытам планирования эксперимента заполняются в результате проведения эксперимента с двукратным их повторением при каждой комбинации факторов. При невозможности проведения экспериментов консультант, опираясь на логический анализ или используя соответствующую информацию по другим исходным технологическим процессам, заполняет эту часть матрицы планирования. При вычислении коэффициентов ММ следует руководствоваться методами, изложенными соответственно для рототабельного планирования в [41], для ортогонального планирования в [44].

Конечной целью математического моделирования ТП является прогнозирование и оценка результатов проведения процесса, а также выработка рекомендаций по выбору оптимальных режимов, обеспечивающих наибольшую эффективность ТП по оптимизируемому параметру.

Задача оптимизации в данном случае сводится к нахождению таких значений факторов, определяющих режимы ТП, которые обращают в максимум (минимум) оптимизируемый параметр и удовлетворяют всем ограничениям, выраженным в математической форме равенств и неравенств [44]. Один из трех объяснительных листов графической части (для конструкторско-технологических специальностей) должен содержать матрицу планирования экспериментов, уравнение в натуральном масштабе с численными значениями коэффициентов, основные расчетные формулы, оптимальное значение целевой функции и соответствующие значения технологических факторов,

5.2. Анализ технологической точности технологических процессов

В зависимости от стадии разработки технологии используют различные методы анализа технологической точности. Для вновь проектируемых ТП рекомендуется расчётно - анали-

тический метод оценки производственной погрешности. В условиях серийного и массового производства (при установившихся ТП и наличии известной информации) пользуются статистическими и регрессионными методами оценки погрешности [13,24].

При разработке и совершенствовании ТП возникает проблема формирования погрешности выходных параметров узлов и блоков, особенно при многооперационном процессе изготовления МЭА. На всех основных операциях ТП (сборка, пайка, заливка, термо-тренировка) действует множество систематических и случайных факторов. Причины, характер действия и степень их влияния на выходные параметры узлов весьма разнообразны и зависят от принципиальной схемы, конструкции и технологии. Задача ставится следующим образом: используя количественные характеристики распределений погрешностей параметров узлов или блоков на отдельных (наиболее ответственных) операциях, рассчитать погрешность выходного параметра рассматриваемых узлов и блоков. Решение этой задачи должно сопровождаться рекомендациями по совершенствованию операций, которые в наивысшей степени влияют на формирование погрешности выходного параметра. Для выполнения такого задания студент должен располагать исходными статистическими данными, характеризующими ТП, а также найти функциональную связь выходного параметра с параметрами, формируемыми отдельными операциями, или с параметрами комплекующих элементов.

Для определения систематической погрешности выходного , параметра необходимо знать: номинальные значения параметров на отдельных операциях; поле погрешности параметров; коэффициент относительной асимметрии распределения параметров в поле их допусков. Для определения случайных составляющих погрешности выходного параметра используются коэффициенты относительного рассеяния параметров в поле допуска и коэффициенты корреляции между параметрами. Студент должен дать в записке анализ и характеристику исследуемого ТП, представить обоснованные предложения по корректировке ТП. Подобный анализ может оказаться полезным для обоснования пооперационных технологических допусков и необходимости контрольных операций на соответствующей стадии ТП. При работе над этим паданием рекомендуется использовать посо-

бие и методическую разработку по расчету технологической точности выходных характеристик элементов памяти РЭС [37,43].

5.3. Анализ конструктивно-технологических вариантов при помощи тестовых схем

Контроль с использованием тестовых структур (ТС) является одной из разновидностей технологического контроля, предназначенного для аттестации технологических операций. Вследствие увеличения интеграции и функциональной сложности ИС возникли трудности в проведении анализа технологических потерь и отказов. Повышение плотности упаковки ИС достигается в основном за счет уменьшения геометрических размеров элементов, поэтому размеры элементов современных БИС становятся соизмеримыми с погрешностями методов их формирования, а толщины применяемых слоев и областей - соизмеримыми с размерами дефектов и несовершенств структуры слоев. Эти трудности возрастают по мере перехода к конструированию и изготовлению БИС и БГИС. Поэтому для изучения причин технологических потерь, а также для пооперационного контроля ТП широко используются тестовые микросхемы (ТМ).

К основным принципам их построения относятся следующие правила:

тестовые структуры необходимо изготавливать с использованием тех же операций, что и при изготовлении контролируемых ИС;

ТС и ТМ должны содержать все конструктивные элементы в необходимых для их полной характеристики сочетаниях;

необходимо обеспечивать удобство получения требуемой информации в процессе контроля.

Для установления технологических ограничений на выбранный конструктивно-технологический вариант и последующего анализа ТП студент конструирует тестовую структуру и осуществляет ее изготовление по согласованию с консультантом в условиях реального производства или технологического участка кафедры. В дипломном проекте приводится эскиз ТС и ТМ, а также необходимый поясняющий материал по выбору и обоснованию ее конструкции и методике контроля. При разработке можно рекомендовать пособие по проектированию тестовых схем [43].

Приложение 1

Кафедра №

З А Д А Н И Е по технологической части дипломного проекта

Студенту _____ группы _____

Тема проекта _____

Тема технологической части _____

Исходные материалы

1. Общие технические условия (ТУ)
 2. Схемы и топологические чертежи
 3. Чертеж общего вида устройства (ВО)
 4. Сборочный чертеж блока (СБ)
 5. Спецификация на блок и ячейку
 6. Программа выпуска
- _____
- _____
- _____

Содержание технологической части проекта

1. Оценка технологичности конструкции _____
2. Выбор и обоснование технологического процесса изготовления (субблока, блока) _____
3. Разработка технологического оснащения для контроля или испытаний _____
4. Детализация технологического процесса _____
5. _____

Объем технологической части проекта

1. Пояснительная записка 25-30 стр. формата 203х288 мм.
2. Технологические карты _____ в пояснительной записке _____
3. _____
4. _____
5. Схема технологического процесса изготовления _____ листов
6. Чертежи технологического оснащения _____ листов
7. _____ листов

ВСЕГО _____ листов

Задание выдано * " _____ 19 ____ г.

Консультант _____

Студент _____

[illegible]

ГОСТ 8.118-87										Формы 1													
Дубл.		Взам.		Показ.		М А И		Изготовление пассивной части ТМС															
Разраб.		Пров.		Уч.		Н. контр.																	
Код		ЕВ	МД	ЕН	Н. рас	КМ	Код мет.	Профиль и размеры		КД	МЗ												
М01																							
М02																							
А														Объемные документы									
Уч. / РМ / Опр.														СМ									
Код, наименование оборудования														КР / КОД / ЕН / ОП / Кмг. / Тмг.									
005 Входной контроль подложек																							
Станд. входного контроля																							
010 Напыление																							
Установка для промывки																							
015 Напыление структура С-111 N.1																							
Установка термовакuumного напыления УВН-71Р-2																							
020 Нанесение фоторезиста																							
Полуавтомат нанесения фоторезиста ПНФ-1																							
025 Сушка фоторезиста																							
Установка сушки и дублирования фоторезиста УСДФ																							
030 Совмещение рисунков и экспонирования фоторезиста																							
Установка совмещения и экспонирования типа УПС-1																							
18																							

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические указания по дипломному проектированию для студентов специальности "Конструирование и производство радиоаппаратуры" / Под ред. Б.Ф. Высоцкого, - М.: МАИ, 1979.
2. Методические указания по разработке и оформлению конструкторской части дипломного проекта для студентов радио технических специальностей / Под ред. Б.Ф. Высоцкого. - М.: МАИ, 1987.
3. Методические указания по выполнению технологической части дипломного проекта для радиотехнических специальностей / Под ред. Ю.И. Боченкова - М.: МАИ, 1983.
4. Справочник конструктора РЭА, Общие принципы конструирования / Под ред. Р.Г. Варламова. - М.: Сов. радио, 1980.
5. Конструирование аппаратуры на БИС и СБИС/Под ред. Б.Ф. Высоцкого и В.И. Сretenского. - М.: Радио и связь, 1989.
6. Борисов В.Ф., Мухин А.А., Назаров А.С. и др. Конструирование РЭС: Пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности "Конструирование и технология РЭС". - М.: МАИ, 1991.
7. Борисов В.Ф., Мухин А.А., Назаров А.С. и др. Методические указания по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности "Конструирование и технология РЭС". - М.: МАИ, 1991.
8. Мевис А.Ф., Несвижский В.Б., Фефер А.И. Допуски и посадки деталей радиоэлектронной аппаратуры. - М.: Радио и связь, 1984.
9. ГОСТ 14201-73,
10. ОСТ4 ГО 054,028 Микросхемы интегральные гибридные тонкопленочные. Типовые технологические процессы.

11. Методические указания по выполнению технологической части дипломного проекта (для радиотехнических специальностей) / Под ред. Ю.И. Боченкова. - М.: МАИ, 1983,
12. ГОСТ 14-201-83. Общие правила обработки конструкции изделия на технологичность,
13. Технология и автоматизация производства радиоэлектронной аппаратуры / Под ред. А.П. Достанко и Ш.М. Чабдарова. – М.: Радио и связь, 1989.
14. Коледов П.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок, - М.: Радио и связь, 1989.
15. Черняев В.Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров. - М.: Радио и связь, 1987.
16. Фомин А.В., Боченков Ю.И., Сорокопуд В.А. Технология, надежность и автоматизация производства БГИС и микросборок, - М.: Радио и связь, 1981.
17. Бондаренко О.Е. Федотов Л.М. Конструктивно-технологические основы проектирования микросборок. - М.: Радио и связь, 1988.
18. Проектирование технологических процессов МЭА / Под ред. А.И. Коробова. - М.: МАИ, 1984.
19. Бушминский И.П., Морозов Г.В. Технология гибридных интегральных схем СВЧ. – М.: Высшая школа, 1980.
20. Гуськов Г.Я., Блинов Г.А., Газаров А.А. Монтаж микроэлектронной аппаратуры. - М.: Радио и связь, 1986.
21. Меткин Н.П., Щеголев В.А. Математические основы ТПП ГПС. - М.: Изд-во стандартов, 1985.
22. Выбор варианта технологического процесса изготовления электронных устройств / Под ред. Н.Н. Ушакова. - М.: МАИ, 1983.
23. Броудай И., Меррей Дж. Физические основы микротехнологии. - М.: Мир, 1985.
24. Фомин А.В., Борисов В.Ф., Чермошенский В.В. Допуски в РЭА. - М.: Радио и связь, 1973.
25. Клейменов С.А., Павленко А.И., Рябов С.Н. Основы проектирования автоматизированных технологических комплексов производства элементов РЭА / Под ред. М.Ф. Росина и В.Т. Фролкина. - М.: Высшая школа, 1984.

26. ГОСТ 3 1102-81 ЕСТД.
27. ГОСТ 3 1104-81. Общие требования к технологическим документам.
28. ГОСТ 3 1105-84. Правила оформления технологических документов.
29. ГОСТ 3 1201-85. Система обозначений технологических документов.
30. ГОСТ 14 303-73. Типовые технологические процессы.
31. ГОСТ 14 316-7 5. Правила разработки групповых технологических процессов.
32. ГОСТ 14 301-83, Выбор технологического оборудования.
33. Микроэлектронная аппаратура на бескорпусных интегральных микросхемах / Под ред. И.Н. Вожегина и Г.А. Блинова. - М.: Радио и связь, 1985.
34. Капустин Н.М., Васильев Г.И. Автоматизация конструкторского и технологического проектирования. - М.: Высшая школа, 1986.
35. Капустин Н.М. Диалоговое проектирование технологических процессов. — М.: Машиностроение, 1983.
36. Глудкин О.П., Ангальцев А.Н. Коробов А.И., Трегубов Ю.В. Испытания радиоэлектронной, электронно-числительной аппаратуры и испытательное оборудование; - М.: Радио и связь, 1987.
37. Глудкин О.П. Черняев В.Н. Анализ и контроль технологических процессов производства РЭА. - М.: Радио и связь, 1983.
38. Власов В.Е. Захаров В.П. Коробов А.И. Системы технологического обеспечения качества компонентов микроэлектронной аппаратуры. - М.: Радио и связь, 1987.
39. Варламов Р.Г. Струков О.-Д, Элементы художественного конструирования и технической эстетики. - М.: Сов радио, 1980.
40. Заковряшин А.И. Конструирование радиоэлектронной аппаратуры с учетом особенностей эксплуатации. - М.: Радио и связь, 1988.
41. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. — М.: Наука, 1971.

42. Бубенников А.Н. Моделирование интегральных микротехнологий, приборов и схем. — М.: Высшая школа, 1989.
43. Лабораторные работы по курсу "Технология РЭА" / Под ред. Л.М. Федотова. - М.: МАИ, 1987.
44. Сахаров М.А. Методические разработки к практическим занятиям по курсу "Технология производства радио аппаратуры". - М.: МАИ. 1982.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	4
1. Общие вопросы технологической части дипломного проекта	5
1.1 Цель и задачи	5
1.2. Объем и содержание	6
1.3. Технология радио— и микроэлектронной аппаратуры как большая система	7
2. Оценка технологичности конструкции	8
2.1. Понятие технологичности конструкции	8
2.2. Определение конструкторских показателей технологичности	10
2.3. Определение производственных показателей технологичности	12
2.4. Комплексная оценка технологичности.....	13
2.5. Укрупненная оценка технологичности конструкций РЭС на основе отраслевой системы оценки технологичности изделий (ОСОТИ)	15
3. Проектирование технологических процессов.....	17
3.1. Особенности технологии микроэлектронной аппаратуры	17
3.2. Основные этапы технологической подготовки производства и проектирования технологических процессов	19
3.3. Методика проектирования технологических процессов	26
3.4. Оформление технологической документации...	34

3.5. Автоматизированное проектирование технологических процессов	37
4. Разработка методов и средств технического контроля и испытаний	42
4.1. Методы контроля	42
4.2. Технические средства контроля	44
4.3. Технические средства испытаний	46
4.4. Автоматизация технологической опера ции выходного контроля	47
4.5. Требования к конструктивному оформле нию специализированных средств конт роля	48
5. Специальный раздел технологической части дипломного проекта	49
5.1. Математическое моделирование и опти мизация технологических процессов	49
5.2. Анализ технологической точности технологических процессов	50
5.3. Анализ конструктивно-технологических вариантов при помощи тестовых схем	52
Приложение 1	53
Приложение 2	54
Приложение 3	55
Литература	56

Тем. план 1991 г., поз. 215

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЧАСТИ
ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА ПО
РАДИОТЕХНИЧЕСКИМ СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ

Авторы-составители:

Боченков Юрий Иванович

Сахаров Михаил Алексеевич

Федотов Леонид Михайлович

Трегубов Юрий Витальевич

Логинова Лидия Владимировна

Редактор М.С. Вшшиченко

Техн.редактор Е.А. Смирнова

Корректор Т.Г. Колмакова

Подписано в печать 27.03.91

Бум. офсетная. Формат 60х84 1/16. Печать офсетная

Усл. печ. л. 3.72. Уч. изд. л. 3,78. Тираж 1000

Зак. 2235 /106. Цена 10 к.

Типография издательства МАИ.

125871, Москва, Волоколамское шоссе, 4

ДЛЯ ЗАМЕТОК