

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тамбовский государственный технический университет»

З.М. СЕЛИВАНОВА, Д.Ю. МУРОМЦЕВ, О.А. БЕЛОУСОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением по образованию
в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и
автоматизации в качестве учебного пособия
для студентов, обучающихся по направлениям*

551100 «Проектирование и технология электронных средств» и

211000 «Конструирование и технология электронных средств»



Тамбов
Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
2012

УДК 621.37(075.8)

ББК $\mathcal{J}844-02я73 + \mathcal{J}844-06я73$

C291

Р е ц е н з е н т ы :

Доктор технических наук, профессор кафедры
«Информатика и информационные технологии»
ФГБОУ ВПО «ТГУ им. Г.Р. Державина»

И.И. Пасечников

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
«Материалы и технология» ФГБОУ ВПО «ТГТУ»

Д.М. Мордасов

Селиванова, З.М.

C291

Проектирование и технология электронных средств : учебное пособие / З.М. Селиванова, Д.Ю. Муромцев, О.А. Белосов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 140 с. – 100 экз. – ISBN 978-5-8265-1093-3.

Излагаются общие требования к содержанию и оформлению выпускной квалификационной работы бакалавра, сведения об эскизном и техническом проектах, разработке электрических схем, печатных узлов и конструкций электронных средств, технологической подготовке и автоматизации производства электронных средств.

Предназначено для студентов 4 курса дневного и заочного отделений, экстерната и дистанционного образования направлений подготовки 551100 «Проектирование и технология электронных средств», 211000 «Конструирование и технология электронных средств».

УДК 621.37(075.8)

ББК $\mathcal{J}844-06я73 + \mathcal{J}844-06я73$

ISBN 978-5-8265-1093-3

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «ТГТУ»), 2012

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие «Проектирование и технология электронных средств» предназначено для студентов, которые будут готовить к защите выпускную квалификационную работу в соответствии с Государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования направлений подготовки бакалавров 551100 «Проектирование и технология электронных средств» [1] и 211000 «Конструирование и технология электронных средств» [2].

Качество выпускной квалификационной работы определяется теоретической и практической подготовленностью инженера по направлениям 551100 и 211000. Выпускная квалификационная работа бакалавра должна представлять собой законченную научно-исследовательскую, проектную или технологическую разработку, связанную с решением актуальных задач, определяемых особенностями подготовки по направлениям «Проектирование и технология электронных средств» и «Конструирование и технология электронных средств».

Содержание, структура и объём выпускной квалификационной работы определяются Стандартом предприятия СПб ТГТУ 07–97. Проекты (работы) дипломные и курсовые. Правила оформления [3].

Выпускная квалификационная работа является самостоятельной разработкой студентов, в которой осуществляется конструкторско-технологическое проектирование, производство изделий электронных средств (ЭС), включающее процессы технологической подготовки и автоматизации, а также рассматриваются экономические вопросы производства, экологии, охраны труда и безопасности жизнедеятельности.

Квалификационная работа посвящается самостоятельному научному исследованию в рамках направлений «Проектирование и технология электронных средств» и «Конструирование и технология электронных средств».

Тема квалификационной работы должна соответствовать направлениям «Проектирование и технология электронных средств» и «Конструирование и технология электронных средств» и содержать в названии темы отличительные признаки объекта проектирования.

Результаты дипломного проектирования должны характеризоваться новизной предлагаемых проектных решений и использоваться на предприятиях радиотехнического профиля и в других соответствующих организациях для повышения качества, надёжности и конкурентоспособности проектируемых изделий ЭС и повышения эффективности производства.

В дипломном проектировании студентам рекомендуется использовать новейшие достижения науки и техники в области проектирования ЭС.

Результаты выпускной квалификационной работы отражают теоретический и практический уровень студентов и их готовность к работе на предприятиях и научно-исследовательских институтах радиотехнического профиля в качестве квалифицированных специалистов по направлениям «Проектирование и технология электронных средств» и «Конструирование и технология электронных средств».

При подготовке квалификационной работы студенты должны показать профессиональные знания в рассматриваемой предметной области, умение решать производственные научно-технические задачи, проводить научные исследования и получать решения научных задач соответствующим алгоритмическим и программным обеспечениями.

Выпускник по направлениям «Проектирование и технология электронных средств» и «Конструирование и технология электронных средств» должен знать методические и нормативные материалы по проектированию электронных средств и технологии их производства; технические характеристики и экономические показатели лучших отечественных и зарубежных конструкций электронных средств и технологии их производства; методы конструкторско-технологического проектирования электронных средств; применяемые в конструкциях материалы и их свойства; основы экономики, организации труда и управления; основы трудового законодательства, правила и нормы охраны труда; расчётные методы анализа и синтеза аналоговой и цифровой схемотехники; современные системы автоматизированного проектирования электронных средств; современные технологические процессы производства электронных средств; современные пакеты прикладных программ по различным аспектам проектной деятельности; конструктивное и функциональное исполнение современных и перспективных электронных средств [1, 2]. А также должен уметь применять методику анализа технического задания на разработку электронных средств; методы проектирования электронных средств и технологических процессов их производства в соответствии с требованиями технического задания; стандарты по проектированию и технологии электронных средств; системы автоматизированного проектирования; типовые технологические процессы для изготовления электронных средств; специальную литературу и другие информационные издания для решения профессиональных задач [1, 2].

Необходимым условием решения задач в квалификационной работе является совершенствование студентов в области информационных технологий и применение их при проектировании изделий ЭС и оформлении квалификационной работы.

Учебное пособие посвящено обобщённому описанию квалификационной работы, является руководством к проектированию и технологии производства электронных средств, содержит пояснения по содержанию и оформлению пояснительной записки и чертёжно-графической части работы, организации процесса подготовки квалификационной работы.

В учебном пособии приводятся рекомендации по выполнению эскизного и технического проектов, анализу и схмотехнической разработке устройств ЭС, выполнению рабочей документации, производству и оценке качества продукта, автоматизации проектирования и изготовления изделий ЭС, а также по технико-экономическому обоснованию работы и безопасности жизнедеятельности.

Основные разделы в квалификационной работе должны быть посвящены:

- проектированию ЭС с использованием современной элементной базы – микропроцессоров, микроконтроллеров, ЭВМ, схмотехнической практической реализации разработанных устройств ЭС;
- разработке конструкций ЭС, отвечающих требованиям эксплуатационным, дизайна и эргономики;
- применению автоматизации при проектировании, производстве, управлении и эксплуатации устройств и систем ЭС;
- разработке программного обеспечения проектируемого ЭС;
- применению информационных технологий при проектировании ЭС.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Целью квалификационной работы является самостоятельное решение студентами научно-технических задач при выполнении квалификационной работы на основе приобретённых при обучении в высшем учебном заведении профессиональных знаний и практических навыков в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования.

Задачи квалификационной работы:

- провести анализ и обработку научно-технической информации по теме квалификационной работы;
- выполнить патентный поиск с целью выявления существующих аналогов разрабатываемого устройства ЭС;
- провести маркетинговые исследования для определения поставщиков комплектующих компонентов, изготовителя и потребителей проектируемого ЭС;
- выполнить разработку принципиальных электрических схем блоков ЭС;
- разработать алгоритмическое, программное и информационное обеспечения при функционировании изделий ЭС;
- осуществить конструкторско-технологическое проектирование ЭС: или выполнить новую разработку или провести модернизацию существующего аналога;
- выполнить проектирование с учётом новейших достижений науки и техники в рассматриваемой предметной области, требований условий эксплуатации, дизайна, эргономики и в соответствии с существующими государственными, отраслевыми и ведомственными стандартами;
- разработать проектную и рабочую конструкторско-технологическую документацию на основе применения новых технологии и методов;
- схемотехническая и конструкторско-технологическая части проекта должны сопровождаться соответствующими расчётами;
- применить или разработать систему автоматизации при проектировании изделий ЭС и оформлении квалификационной работы;
- при выполнении бакалаврской работы с элементами научной новизны в научно-исследовательской части должны быть отражены: постановка задачи исследования, алгоритм решения задачи, разработка

математической модели и проверка её адекватности на основе имитационного моделирования и проведения экспериментальных исследований;

– провести технико-экономическое обоснование бакалаврской работы с целью прогнозирования и обеспечения их технической и экономической эффективности при внедрении в производство;

– рассмотреть в квалификационной работе вопросы охраны труда, безопасности жизнедеятельности и экологии при проектировании и эксплуатации изделий ЭС и выполнении научно-исследовательских работ по направлениям «Проектирование и технология электронных средств» и «Конструирование и технология электронных средств».

2. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ БАКАЛАВРА

Организация процесса подготовки квалификационной работы бакалавра (КРБ) осуществляется выпускающей кафедрой «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем» (КРЭМС) по направлениям «Проектирование и технология электронных средств» и «Конструирование и технология электронных средств».

2.1. ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ПОДГОТОВКИ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ БАКАЛАВРА

Процесс подготовки бакалаврской работы имеет свой жизненный цикл, который начинается с выдачи задания на выполнение квалификационной работы и заканчивается защитой КРБ. Бакалаврской работой студенты занимаются или на предприятиях радиотехнического профиля или на выпускающей кафедре под руководством руководителей, назначенных из числа профессорско-преподавательского состава кафедры (по согласованию со студентами) и в соответствии с темой КРБ, утверждённой приказом по Тамбовскому государственному техническому университету.

Сроки выполнения бакалаврской работы определяются учебным планом и графиком учебного процесса ТГТУ по направлениям 551100 и 211000.

Основные стадии жизненного цикла выполнения КРБ представлены на структурной схеме, приведённой на рис. 2.1.

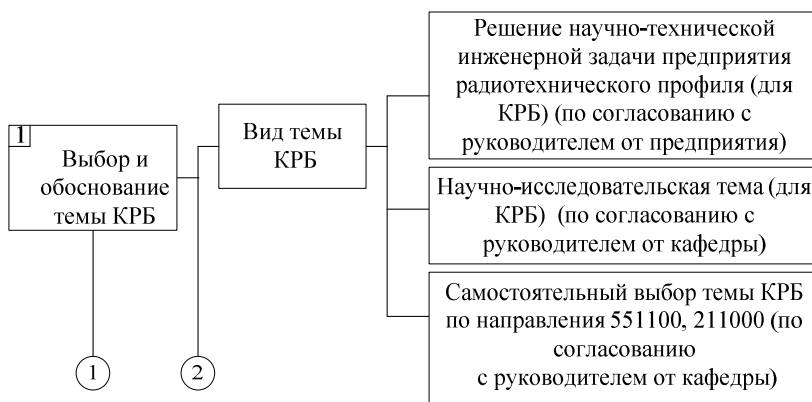


Рис. 2.1. Этапы жизненного цикла выпускной квалификационной работы

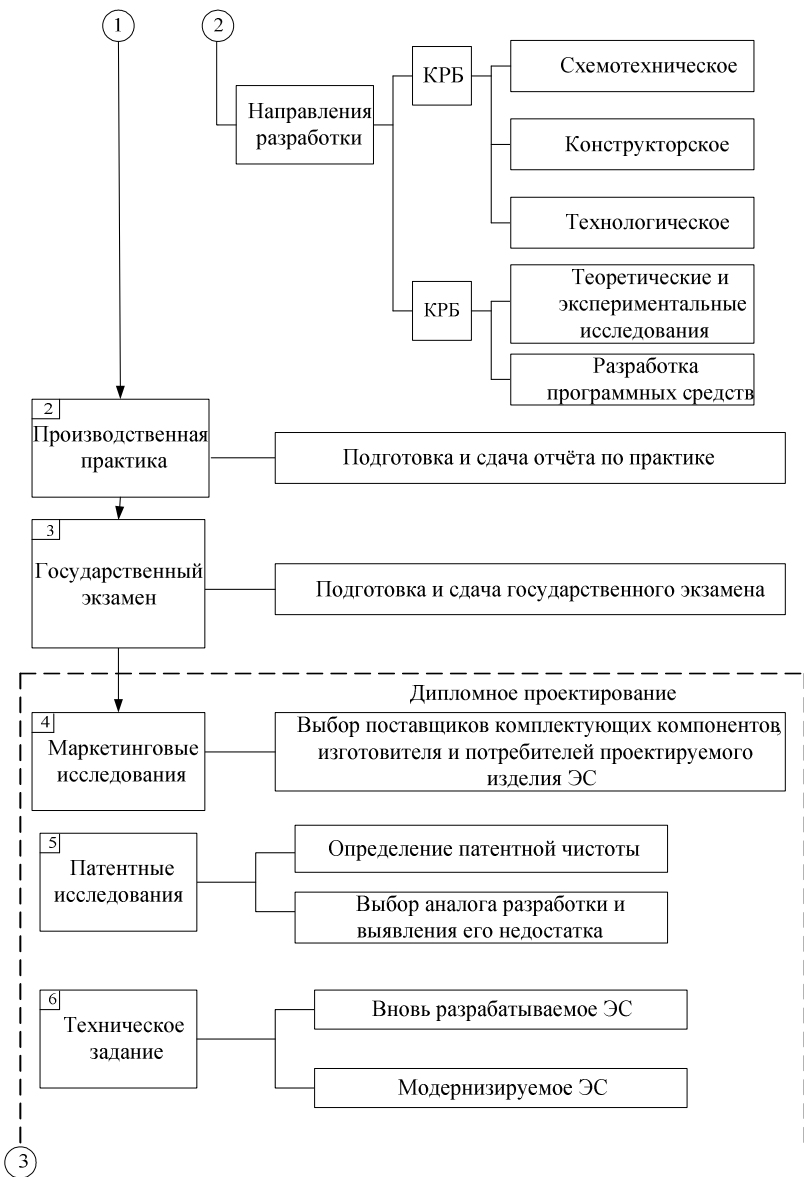


Рис. 2.1. Продолжение



Рис. 2.1. Окончание

Выпускная квалификационная работа выполняется в соответствии с заданием на бакалаврскую работу, утверждённым заведующим кафедрой и руководителем.

Для обеспечения качества результатов и выполнения бакалаврской работы в срок составляется график работы при выполнении работы (диаграмма Гантта), который должен неукоснительно выполняться студентом. Контроль за выполнением квалификационной работы осуществляет заведующий кафедрой КРЭМС (по мере необходимости).

Далее приводится более подробное содержание всех этапов жизненного цикла выполнения квалификационной работы.

1. *Выбор и обоснование темы бакалаврской работы* осуществляется студентами во время прохождения производственно-технологической практики на предприятии. Тема должна быть актуальной и иметь практическое значение для предприятий радиотехнического профиля, решению задач которых посвящена квалификационная работа. Тема КРБ с элементами научной новизны определяется в соответствии с научными исследованиями студентов, которыми они занимаются под руководством преподавателя, как правило, начиная со второго курса. Рекомендуются по результатам научных разработок создание макетного образца и проведение в бакалаврской работе результатов его экспериментальных исследований. В квалификационных работах выполняется также разработка программных средств, позволяющих решать схемотехнические, конструкторские и технологические задачи при проектировании изделий ЭС. В бакалаврских научно-исследовательских работах отсутствует проектно-технологическая часть, а экономическое обоснование и безопасность жизнедеятельности могут быть заменены научными исследованиями.

В бакалаврских работах схемотехнического направления осуществляется разработка электронных средств и микропроцессорных систем для контроля, обработки и отображения информации информационно-измерительных и управляющих систем техническими объектами с соответствующими алгоритмическим и программным обеспечением. В бакалаврских работах конструкторского направления выполняется разработка или модернизация конструкций изделий ЭС, разрабатываются эскизный и технический проекты и необходимая конструкторская документация для изготовления изделий ЭС на промышленных предприятиях. В бакалаврских работах технологического направления осуществляется разработка прогрессивных автоматизированных технологических процессов изготовления изделий ЭС и специализированных интегральных микросхем.

2. *Подготовка к выполнению квалификационной работы* начинается во время производственной практики. Целью практики является

приобретение студентами опыта в исследовании актуальной научной проблемы или решении реальной инженерной задачи, применение полученных в вузе теоретических и практических знаний для решения конкретных производственных задач при проектировании современных ЭС.

В течение производственной практики студенту необходимо приобрести профессиональные навыки по схемотехническому проектированию ЭС, технологии и испытанию ЭС [4].

Программа практики включает сбор и анализ материалов для выполнения бакалаврской работы: анализ технического задания по теме КРБ и выбор направления проектирования; проведение патентного поиска и анализ параметров выбранных аналогов на основе сравнения с проектируемым устройством для обоснования актуальности выбранной темы бакалаврской работы; изучение и экспериментальное исследование выбранных аналогов с целью модернизации или создания новых видов, а также разработка электрической схемы проектируемого устройства (специальное задание); технико-экономическое обоснование получения экономического эффекта от внедрения разрабатываемого устройства; анализ мероприятий по безопасности жизнедеятельности.

На период производственной практики студенты получают специальное задание, при выполнении которого консультируются у руководителя квалификационной работы на кафедре и по месту прохождения практики. Специальным заданием для бакалаврской работы является разработка электрической схемы или конструкции проектируемого ЭС, а для бакалаврской научно-исследовательской работы – разработка метода исследования, создание программного продукта, изготовление экспериментальной установки.

Материалы производственной практики служат основой для выполнения квалификационной работы, должны соответствовать теме бакалаврской работы и наиболее полно отражать её разделы.

Отчёт по производственной практике должен содержать основные обязательные разделы по патентному поиску, разработке электрической схемы ЭС, технико-экономическому обоснованию бакалаврской работы, безопасности жизнедеятельности.

По окончании производственной практики проводится её аттестация на основании оформленного в соответствии с установленными требованиями письменного отчёта, содержащего отзывы руководителя практики и подписи консультантов по экономике и безопасности жизнедеятельности. По итогам аттестации практики выставляется оценка. Студенты, не прошедшие аттестацию производственной практики, не допускаются к сдаче государственного экзамена.

После прохождения и сдачи отчёта по производственной практике окончательно уточняется тема бакалаврской работы. В приказе рек-

тора университета утверждаются тема и руководитель квалификационной работы.

3. *Подготовка к сдаче государственного экзамена* проводится в течение производственной практики. Студентам сообщается программа госэкзамена по основным дисциплинам: схемотехника электронных средств, проектирование ЭС, технология ЭС, информационные технологии проектирования ЭС, управление качеством ЭС и др. Перед госэкзаменом проводится консультация студентов преподавателями кафедры КРЭМС по всем дисциплинам, включённым в программу госэкзамена. Студенты, не сдавшие госэкзамен, не допускаются к выполнению квалификационной работы.

4. *Целями проведения маркетинговых исследований* в бакалаврской работе являются следующие: поиск потенциальных потребителей проектируемого изделия ЭС, оценка конкурентоспособности изделия среди аналогов; определение соответствия технических характеристик создаваемого изделия ЭС требованиям потребителя.

5. *При проведении патентного поиска* выполняется обзор литературных источников, патентов, изданных и полученных в России и в других странах, которые известны своими достижениями в рассматриваемой предметной области. Для поиска требующейся информации по теме бакалаврской работы следует использовать поисковые системы Internet. К патентным документам относятся официальные патентные бюллетени и описания изобретений к патентам и авторским свидетельствам на изобретение. Оформление патентной документации осуществляют Федеральный институт промышленной собственности и Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Хранение патентной документации осуществляет Всероссийская патентно-техническая библиотека. Описание изобретений в России приводится в официальном бюллетене РОСПАТЕНТФИПС «Изобретения и полезные модели». Информация об изобретениях иностранных излагается в реферативном журнале «Изобретения всего мира». Для поиска патентов в требуемой предметной области применяется алфавитно-предметный указатель к Международной патентной классификации. Кроме того, большую помощь в работе над патентным поиском окажут материалы производственной практики на предприятиях радиотехнического профиля и их практика исследований. На основе анализа результатов патентного поиска выполняется оценка технического уровня проектируемого ЭС, оценивается патентоспособность и патентная чистота создаваемого изделия ЭС. Патентная чистота позволяет использовать проектируемое ЭС без нарушения действующих патентов на изобретения. По результатам патентного поиска необходимо определить и исследовать объекты-аналоги и, исходя из этого, сформулировать задачи проектирования и исследования с целью модернизации или создания новых образцов ЭС.

6. *Выполнение квалификационной работы начинается с разработки технического задания* на вновь разрабатываемое или модернизированное изделие согласно требованиям государственных стандартов. В техническом задании указывают назначение проектируемого изделия ЭС, задачи проектирования, условия эксплуатации, требования к конструкции, его технические, технологические, экологические, эргономические и экономические характеристики.

7. *Схемотехническая часть квалификационной работы* посвящается разработке принципиальных электрических схем ЭС на основе созданных электрических структурной и функциональной схем, выбора элементной базы устройства. При этом выполняется анализ и обоснование разработки устройства на базе микроконтроллера, проектирования аналоговых или цифровых функциональных составляющих блоков и узлов. Выполняется расчёт применяемых элементов электрической схемы, параметров и характеристик устройства по известным методикам с использованием выбранных элементов электрической схемы на соответствие техническому заданию, а также замена выбранной элементной базы согласно расчётным данным.

8. *В конструкторской части квалификационной работы* осуществляется разработка или модернизация конструкции ЭС на стадиях эскизного и технического проектов.

Эскизный проект предполагает конструкторско-техническую проработку вариантов изготовления изделия ЭС, основное проектное решение, предварительную компоновку и размещение элементов.

В техническом проекте принимается решение о выполнении конструкции ЭС (компоновки, размещения конструктивных элементов), разрабатывается конструкторская и технологическая документация, проводятся конструкторские расчёты надёжности, теплового режима, на механические воздействия и др.

Бакалаврские работы включают разработку конструкторской документации для изготовления изделия ЭС, которая сопровождается расчётами, подтверждающими работоспособность конструкции: надёжности, теплового режима, размеров и допусков деталей для обеспечения и взаимозаменяемости и собираемости блоков и узлов. В конструкции ЭС должна обеспечиваться устойчивость к механическим и климатическим воздействиям и радиации.

9. *В технологической части проекта (работы)* рассматривается технологическая подготовка производства ЭС, которая обеспечивает технологическую готовность производства, т.е. наличие в полном объёме конструкторской и технологической документации, необходимого технологического оборудования и оснастки для производства изделий ЭС. В процессе технологической подготовки производства решаются задачи анализа технологичности разработанной конструкции, разра-

ботки технологических процессов и маршрутов изготовления изделий ЭС (обработки деталей, сборки блоков, узлов и изделий, настройки, регулировки и контроля, испытания ЭС) технологического конструирования, изготовления и выбора технологического оборудования и оснастки, нормирования расхода материалов и технологических процессов [5, 6]. В технологической части бакалаврской работы студенты разрабатывают технологические процессы изготовления детали ЭС (печатной платы) и сборки блока ЭС. При выполнении бакалаврской научно-исследовательской работы в качестве технологической части осуществляется разработка технологических процессов проведённых экспериментальных исследований для проверки соответствия полученных теоретических результатов практическим.

10. *Технико-экономическое обоснование квалификационной работы* предполагает оценку экономической эффективности проектируемого и базового (аналогичного) вариантов конструкции изделия ЭС, проведение маркетингового анализа, определение конкурентоспособности проектируемого изделия ЭС и по результатам анализа даётся рекомендация к изготовлению изделия ЭС и внедрению его на производстве. Технико-экономическое обоснование позволяет определить технический уровень бакалаврской работы, требования к используемым методам исследования, материалам, элементной базе, комплексу применяемых приборов, а также затраты на изготовление изделия ЭС (в проектах конструкторского и схемотехнического направления), затраты на разработку новых технологических проектов, автоматизацию и механизацию производства (в проектах технологического направления), затраты на проведение научно-исследовательской работы с указанием экономического эффекта от её внедрения.

В результате маркетинговых исследований определяются: конкурентоспособность изделия ЭС, соответствие технических и экономических характеристик проектируемого изделия требованиям потенциальных потребителей.

Консультацию по технико-экономическому обоснованию проекта (работы) осуществляют преподаватели кафедры «Менеджмент».

11. *В разделе квалификационной работы по охране труда и безопасности жизнедеятельности* рассматриваются производственные и другие факторы, влияющие на здоровье человека, и мероприятия, устраняющие воздействие этих факторов. Кроме того, предусмотрено решение вопросов техники безопасности, пожарной безопасности и производственной санитарии, что позволит исключить профессиональные заболевания и травматизм на производстве.

Мероприятия по охране труда и безопасности жизнедеятельности должны неукоснительно соблюдаться при реализации всех этапов жизненного цикла производства изделия ЭС. Для обеспечения охраны

труда при решении задач выпуска качественной продукции и уменьшения трудовых затрат рекомендуется на предприятиях широкое внедрение новых технологий изготовления изделий ЭС с применением средств автоматизации, механизации, роботизированных комплексов.

В бакалаврской работе должны быть отражены вопросы пожаробезопасности, рассмотрены системы пожаротушения, а также оснащения рабочего места вентиляцией, освещением, вытяжным устройством, защитой от воздействующих негативных для человека факторов, а также оснащение необходимым оборудованием и оснасткой [7].

Консультацию по вопросам охраны труда и безопасности жизнедеятельности осуществляют преподаватели кафедры «Безопасность жизнедеятельности».

12. *Оформление квалификационной работы.*

Квалификационная работа, включающая пояснительную записку и чертёжно-графическую часть, оформляется в соответствии с СТП ТГТУ 07–97 [3].

Рекомендуемый объём пояснительной записки – 90...100 листов, а чертёжно-графической части – 10...12 листов.

Пояснительная записка имеет следующие содержание и структуру: титульный лист, ведомость бакалаврской работы, техническое задание на проектирование, аннотацию, содержание, перечень основных условных обозначений и сокращений, нормативные ссылки, введение, обоснование бакалаврской работы, эскизный и технический проекты, производство продукта, рекомендации по внедрению и предложения по усовершенствованию изделия, заключение, список используемых источников, приложения.

В обосновании бакалаврской работы приводятся маркетинговые исследования, анализ рисков, патентный поиск и концепция проектирования. В техническом задании указываются назначение, технические характеристики и параметры, условия эксплуатации и эргономические требования. Планирование работ по выполнению КРБ осуществляется в соответствии с составленной диаграммой Ганта. В эскизном проекте приводится основное проектное решение, предварительная компоновка и размещение элементов. В техническом проекте выполняются окончательные технические решения (размещение конструктивных элементов конструкции ЭС, элементов механических и электрических связей), конструкторские расчёты надёжности, теплового режима, прочности; расчёт экономической эффективности.

В чертёжно-графической части бакалаврской работы в соответствии с техническим заданием представляются разработанные чертежи проектируемого ЭС:

1. Диаграмма Ганта.
2. Маркетинговые исследования.

3. Схема структурная электрическая.
4. Схема электрическая принципиальная устройства ЭС.
5. Компоновочный чертёж.
6. Технологический процесс сборки изделия ЭС.
7. Технологический процесс изготовления разработанной печатной платы.
8. Чертёж разработанный печатной платы.
9. Сборочный чертёж разработанного печатного узла.
10. Сборочный чертёж проектируемого изделия ЭС.
11. Чертёж панели лицевой.
12. Электромонтажный чертёж.
13. Таблица технико-экономических показателей.

Производство продукта включает технологическую часть проекта, в которой излагается процесс технологической подготовки производства изделия ЭС, оценка технологичности конструкции ЭС, технологические процессы изготовления и сборки изделия ЭС. В разделе «Производство продукта» выполняется оценка качества продукции, описываются применяемые средства и системы автоматизации при производстве, а также мероприятия по охране труда и безопасности жизнедеятельности.

В заключении пояснительной записки приводятся выводы по всем её разделам, а также вывод об основных результатах бакалаврской работы и достижении поставленной цели при проектировании.

В списке использованных источников включаются издания учебной и учебно-методической литературы по проектированию ЭС, отражающие материалы по новейшим разработкам, относящимся ко всем этапам жизненного цикла ЭС.

В приложении к пояснительной записке квалификационной работы бакалавра приводятся спецификация на изделие, перечень элементов электрической схемы проектируемого изделия ЭС, комплекты технологической документации сборки изделия ЭС и изготовления разработанной печатной платы. В приложении к бакалаврской научно-исследовательской работе представляются также промежуточные результаты расчётов, распечатки разработанного программного обеспечения.

Пояснительная записка печатается на стандартных листах белой бумаги формата А4, шрифт Times New Roman, размер 14, межстрочный интервал полуторный. Новые главы пояснительной записки рекомендуются начинать с новой страницы.

Титульный лист пояснительной записки подписывается студентом, руководителем бакалаврской работы и консультантами по основным разделам квалификационной работы и нормоконтролером. Консультанты назначаются в приказе по ФГБОУ ВПО «ТГТУ» одновременно с утверждением тем бакалаврской работы: по автоматизации

производства ЭС, надёжности, технологии ЭС, конструированию ЭС, безопасности жизнедеятельности и экономике.

После выполнения бакалаврской работы руководитель КРБ готовит отзыв и работа направляется на рецензию рецензенту по профилю квалификационной работы. Отзыв и рецензия помещаются в конверт, прикрепленный к внутренней стороне обложки пояснительной записки.

Руководитель КРБ консультирует студента при выборе темы выпускной квалификационной работы, при проведении патентного поиска по теме исследования, при выборе и реализации методики исследования оказывает методическую помощь и даёт рекомендации студенту в ходе проектирования ЭС, проверяет и исправляет пояснительную записку и чертёжно-графическую часть КРБ, готовит отзыв на работу и оказывает содействие при подготовке доклада к защите квалификационной работы.

Консультанты помогают студенту при подготовке соответствующих их специализации разделов КРБ.

Отзыв руководителя и подписи консультантов должны быть не позже трёх дней до предварительной экспертизы бакалаврской работы (предзащиты).

Контроль за ходом выполнения квалификационной работы и готовностью к защите осуществляют руководитель студента и администрация кафедр КРЭМС.

Пояснительная записка и чертёжно-графическая часть работы должны быть предоставлены на проверку и защиту как на бумажном, так и электронном носителях. Пояснительная записка КРБ должна быть с этикеткой и переплетена типографическим способом, а чертежи помещены в папку с указанием выходных данных на этикетке, оформленной по СТП ТГТУ 07–97.

Документ электронный (ДЭ) состоит из двух частей: содержательной и реквизитной.

Содержательная часть состоит из одной или нескольких информационных единиц, содержащих необходимую информацию о документе. Содержательная часть может состоять отдельно или в любом сочетании из текстовой, графической, аудиовизуальной информации. Согласно ГОСТ 2.102–68 для текстовых документов к обозначению документа прилагается код ТЭ, для графических документов представленных в электронной форме 2Д. Реквизитная часть состоит из структурированного по назначению набора реквизитов и их значений. Номенклатура реквизитов указывается в соответствии с требованиями СТП ТГТУ 07–97 и методическими указаниями к выпускной работе.

Структура электронной записи на CD-R диске должна отображаться на примере бакалаврской работы следующим образом:

– первое – папка бакалаврской работы (обозначение папки – бакалаврская работа ТГТУ. 465636.024 ДЭ;

– второе – при открытии папки с бакалаврской работой она делится на папку с текстовыми электронными документами (обозначение папки – текстовые документы к бакалаврской работе ТГТУ. 465636.024 ДЭ) и графическими (обозначение папки – графические чертежи к бакалаврской работе ТГТУ. 465636.024 ДЭ);

– третье – при открытии папки с тестовыми электронными документами открываются файлы: например – пояснительная записка, технические условия, программы и методики испытаний и т.д. (структура в зависимости от задания на проектирование);

– каждый текстовый файл должен иметь название и обозначение: например – Пояснительная записка ТГТУ. 465636.024 ТЭ-ПЗ;

– четвёртое – при открытии папки с графическими электронными документами открываются файлы: например – электронный чертёж общего вида; сборочный чертёж в электронном виде, чертёж детали в электронном виде, габаритный чертёж в электронном виде и т.д. (структура в зависимости от задания);

– каждый графический файл должен иметь название и обозначение: например – Схема электрическая ТГТУ. 465636.024 2Д-Э1;

– в зависимости от вида выпускной работы структура может быть разной: например – когда нет графической части, а текстовая часть состоит из нескольких текстовых документов, используется папка текстовых электронных документов; если выпускная работа состоит из одного текстового документа, выпускная работа записывается одним файлом с названием и обозначением выпускной работы.

Все реквизиты ДЭ, значением которых является подпись, выполняются в виде ЭЦП по ГОСТ Р 34.10. Порядок использования ЭЦП и применяемые программно-технические средства в пределах одной организации устанавливаются в зависимости от наличия конкретного информационного, программного и организационного обеспечения.

Допускается при выпуске ДЭ выполнять реквизитную часть в форме информационно-удостоверяющего листа (УЛ). В наших рекомендациях рассматривается вариант выпуска электронного документа с выполнением реквизитной части в форме информационно-удостоверяющего листа. Рекомендуемая форма УЛ приведена в приложении А.

Правила выполнения информационно-удостоверяющего листа

УЛ используется для сопровождения выпуска одного документа, нескольких документов или комплекта документов.

Если УЛ выпускают на ДЭ, то ему присваивают обозначение ДЭ на это изделие с добавлением кода УЛ.

Например, ТГТУ. 465636.024 УЛ.

В УЛ указывают обозначения ДЭ, к которым он выпущен, фамилии и подлинные подписи лиц, разрабатывающих, согласовывающих и утверждающих соответствующий ДЭ. Подпись лица, разрабатывающего ДЭ и УЛ, и нормоконтролера являются обязательными. В случае недостатка количества строк для подписей допускается увеличение их количества. Образец заполнения информационно-удостоверяющего листа представлен на примере дипломного проекта (прил. А).

УЛ лист хранится вместе с ДЭ.

Правила разработки, защиты выпускной работы и сдача её в архив

Для разработки выпускной работы в электронном виде – далее ДЭ, руководителем разработчику выдаётся задание (форма по СТП ТГТУ 07–97).

Выполняя работу разработчик (студент) использует программы, позволяющие осуществить проверку со стороны руководителя и нормоконтролера (программное обеспечение должно быть согласовано в организации (на кафедре)). Версии программ WORD, AVTOCAD у руководителей и нормоконтролеров должны обеспечивать проверку электронного документа. Для этого у студентов версии программ должны быть не позднее версий проверяющих.

Руководителям кафедр необходимо обеспечить руководителей выпускных работ и нормоконтролеров программным обеспечением и компьютерной техникой для выполнения работ по руководству и контролю за выпускными работами.

При выполнении работы разработчик (студент) подписывает УЛ на титульный лист, задание и отдаёт ДЭ с УЛ нормоконтролеру подразделения (кафедры) на нормоконтроль. Проверив ДЭ, нормоконтролер защищает документ от редактирования (устанавливая пароль – пароль произвольный набор букв или цифр, или их сочетание) и разрешает студенту копировать ДЭ на оптический одноразовый CD-R диск.

На CD-диске должно быть написано обозначение документа и подпись нормоконтролера.

На рецензию и на отзыв разработчик представляет документ в удобной для проверки форме. Допустимо представлять копию в бумажной форме вместе с ДЭ, если это нужно для рецензии.

Защита выпускной работы осуществляется в удобной для наглядного восприятия форме, в виде презентации с использованием оборудования (компьютера, проектора, экрана), а также представляя документ в бумажной форме.

После защиты выпускной работы в архив сдаётся первичный документ в электронной форме на CD-R диске, а документ на бумажном носителе (если он был необходим) уничтожается.

Пример сдачи в архив кафедры КРЭМС бакалаврской работы.

На документы по бакалаврской работе составляется перечень (прил. Б), в него входят:

1. Электронный документ на CD-R диске с обозначением документа и подписью нормоконтролера.
2. УЛ в бумажной форме на все документы, имеющие подписи.
3. Рецензия.
4. Отзыв.

Все эти документы укладываются в конверт, где на конверте пишется, например:

Квалификационная работа бакалавра
ТГТУ. 465636.024 ДЭ
Блок дистанционного управления
Попов А.В. гр. Р-52
Тамбов 2012

После завершения работы над бакалаврской работой выполняются следующие этапы жизненного цикла выполнения квалификационной работы:

- проведение предзащиты КРБ;
- получение отзыва руководителя и рецензии на КРБ у назначенного на кафедре КРЭМС рецензента;
- представление КРБ к защите;
- защита КРБ на заседании Государственной аттестационной комиссии (ГАК).

13. *Предзащита КРБ* организуется выпускающей профилирующей кафедрой КРЭМС и проводится комиссией из числа профессорско-преподавательского состава. Руководитель КРБ не должен входить в комиссию по оценке квалификационной работы.

Предзащита проводится в соответствии с утверждённым графиком предварительной предзащиты. На предзащиту студент обязан представить полностью оформленные материалы бакалаврской работы: пояснительную записку и чертёжно-графическую часть КРБ, а также отзыв руководителя. Студент на предзащите докладывает о цели и задачах квалификационной работы, содержании КРБ, затем отвечает на вопросы комиссии.

Комиссия по результатам оценки материалов КРБ и ответов на вопросы принимает решение о допуске студента к защите ГАК, сообщает студенту замечания по докладу, материалам КРБ и рекомендации по их устранению. Студент не допускается к защите в ГАК, если он во время предзащиты не проявил профессиональные знания и навыки по направлениям «Проектирование и технология радиоэлектронных средств»,

«Конструирование и технология электронных средств», знание материалов своей квалификационной работы, а также, если тема КРБ не соответствует заданию на выполнение и оформление КРБ, не соответствует требованиям стандарта СТП ТГТУ 07–97.

14. *Отзывы руководителя и рецензента* должны быть подготовлены и переданы студенту за 2-3 дня до предзащиты. Руководитель КРБ отмечает в отзыве соответствие темы КРБ заданию на проектирование, её актуальность, степень новизны предлагаемых научно-технических решений, практическую значимость разработанного электронного средства. Кроме того, руководитель указывает на уровень самостоятельности выполнения КРБ, профессионализма и практических навыков по теме исследования, а также заслуживает ли студент присвоения ему квалификации (степени) бакалавра по проектированию и технологии электронных средств или конструированию и технологии электронных средств.

Рецензия, подготовленная назначенным студенту рецензентом, должна содержать анализ актуальности темы КРБ, содержания квалификационной работы, её новизны и практической значимости. В рецензии отмечаются достоинства и недостатки КРБ, уровень научно-технических решений, применение современных информационных технологий при проектировании, соответствие оформления пояснительной записки и чертёжно-графической части КРБ требованиям нормативно-технической документации и используемых ГОСТов, а также профессиональные качества студента. В заключении рецензии даются рекомендации о возможности присвоения студенту квалификации (степени) бакалавра по направлениям «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» и «Конструирование и технология электронных средств».

Подпись рецензента должна быть заверена в организации или на предприятии, являющихся местом его работы.

15. *Представление КРБ к защите* осуществляется после успешного прохождения предзащиты. Полностью оформленная, распечатанная и переплетённая КРБ в соответствии с СТП ТГТУ 07–97 и представлением в электронном виде с удостоверяющими листами, подписанная студентом, руководителем, всеми назначенными консультантами по автоматизации, конструированию, технологии, надёжности, экономике, безопасности жизнедеятельности и нормоконтролером, с отзывами руководителя и рецензента, передаётся для заключения по выполненной квалификационной работе заведующему кафедрой КРЭМС ТГТУ не позднее 5-6 дней до защиты согласно утверждённому графику защиты КРБ. Заведующий кафедрой в случае положительной оценки в отзывах руководителя и рецензента утверждает КРБ, подписывает титульный лист КРБ и удостоверяющий лист к электрон-

ной форме работы и заключение кафедры с рекомендацией квалификационной работы к защите в ГАК. Не позднее одного дня до защиты КРБ с отзывами руководителя и рецензента передаётся секретарю ГАК.

16. *Защита КРБ проводится в ГАК*, в соответствии с утверждёнными приказом по ФГБОУ ВПО «ТГТУ» по направлениям «Проектирование и технология электронных средств», «Конструирование и технология электронных средств» и графиком защиты. На защите присутствуют члены ГАК, рецензенты, студенты. Процедура защиты заключается в следующем. Секретарь ГАК предоставляет защищающегося студента, тему КРБ и руководителя. Затем студент докладывает о материалах и содержании квалификационной работы в виде презентации результатов КРБ не более 10 мин. В докладе студент обосновывает тему КРБ и её актуальность, цель работы. Студент докладывает о проведённых маркетинговых и патентных исследованиях, аналоге разработки и его недостатках и, на основе этого, о выбранном направлении проектирования ЭС. Излагает результаты схмотехнического проектирования и конструкторскую часть проекта с рассмотрением электрической схемы проектируемого устройства ЭС и конструкторской документации, представленной в виде чертежей во время презентации. Студент докладывает в качестве обоснования схмотехнических и конструкторских разработок о проведённых расчётах электрической схемы ЭС, надёжности, прочности, теплового расчёта и других расчётах, рассказывает о технологической подготовке производства, разработанных технологических процессах сборки и изготовления деталей, применяемых средствах автоматизации ЭС, необходимости обеспечения безопасности жизнедеятельности при производстве ЭС. Студент должен привести технико-экономическое обоснование КРБ и получение экономического эффекта от внедрения её разработки. В заключение доклада приводятся выводы по КРБ, применяемые информационные технологии при проектировании изделия ЭС в квалификационной работе.

После доклада студента члены ГАК и все присутствующие на защите задают ему вопросы как по теме КРБ, так и по предметной области исследования в работе. Затем секретарь ГАК зачитывает отзыв рецензента, руководителя, успеваемости во время учебы и проводится дискуссия. Студенту предоставляется заключительное слово для ответа на замечания членов ГАК и рецензента. В завершение процедуры защиты на закрытом заседании ГАК выставляется оценка «Отлично», «Хорошо», «Удовлетворительно», «Неудовлетворительно». Оценка выставляется исходя из анализа предоставляемых студентом материалов КРБ, его доклада и ответов на вопросы, оценки руководителя и рецензента, успеваемости во время учёбы в вузе.

Решение ГАК о результатах защиты КРБ и оценки, выставленные студентам, сообщаются им после заседания ГАК. При получении неудовлетворительной оценки ГАК и администрация кафедры КРЭМС ТГТУ принимают решение о назначении студенту повторной защиты квалификационной работы.

2.2. РЕКОМЕНДУЕМОЕ СОДЕРЖАНИЕ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Нормативные ссылки

Условные обозначения и сокращения

Введение

1. Обоснование квалификационной работы
 - 1.1. Маркетинговые исследования
 - 1.2. Анализ рисков
 - 1.3. Патентный поиск
2. Техническое задание
 - 2.1. Назначение, технические характеристики и параметры изделия
 - 2.2. Эргономические требования
3. Планирование работ
 - 3.1. Этапы и сроки выполнения работ
 - 3.2. Используемые информационные средства
4. Эскизный проект
 - 4.1. Схемотехнический анализ ЭС
 - 4.1.1. Анализ электрических структурной и функциональной схемы ЭС
 - 4.1.2. Выбор элементной базы и проверка её на соответствие условиям эксплуатации
 - 4.1.3. Расчёт принципиальной электрической схемы ЭС или её фрагментов
 - 4.1.3.1. Нагрузочный расчёт электрической принципиальной схемы
 - 4.1.3.2. Определение максимальной мощности, рассеиваемой блоком, и потребляемого тока
 - 4.1.4. Описание принципа действия ЭС
 - 4.1.5. Рекомендации к проектированию конструкции ЭС
 - 4.2. Трассировка и размещение элементов печатного узла
 - 4.3. Специальная разработка
5. Технический проект
 - 5.1. Окончательная компоновка блока
 - 5.2. Выбор оптимального варианта компоновки блока
 - 5.3. Разработка несущей конструкции
 - 5.4. Обеспечение защиты блока от механических и внешних климатических воздействий

- 5.5. Расчёт амортизаторов
- 5.6. Расчёт упаковочной тары для транспортирования
- 5.7. Расчёт теплового режима
- 5.8. Проектирование функционального узла
 - 5.8.1. Выбор метода изготовления печатной платы
 - 5.8.2. Расчёт печатного монтажа
 - 5.8.3. Расчёт печатной платы на механические воздействия
 - 5.8.4. Расчёт теплонагруженных элементов функционального узла
- 5.9. Расчёт надёжности блока
 - 5.9.1. Прикидочный расчёт
 - 5.9.2. Уточнённый расчёт
 - 5.9.3. Расчёт с учётом всех видов отказов
- 5.10. Обеспечение и оценка качества продукта
- 5.11. Технико-экономическое обоснование дипломного проекта
 - 5.11.1. Расчёт производительности радиоэлектронной техники
 - 5.11.2. Расчёт капитальных вложений единовременных затрат
 - 5.11.3. Расчёт себестоимости и оптовой цены электронного изделия
 - 5.11.4. Расчёт экономического эффекта
- 6. Рабочая документация
- 7. Производство продукта
 - 7.1. Технологическая подготовка производства изделия ЭС
 - 7.2. Оценка технологичности конструкции блока ЭС
 - 7.3. Разработка технологического процесса изготовления печатной платы
 - 7.4. Разработка технологического процесса сборки блока ЭС
 - 7.5. Система автоматизации при производстве
 - 7.6. Мероприятия по охране труда
 - 7.6.1. Назначение и характеристики изделия
 - 7.6.2. Характеристика сырья и веществ, применяемых при проектировании
 - 7.6.3. Причины образования пожаров и взрывов
 - 7.6.4. Характеристики используемой электроэнергии и классы помещений
 - 7.6.5. Расчёт производственного освещения
 - 7.6.6. Расчёт вентиляции производственного помещения
 - 7.6.7. Расчёт заземления производственного оборудования
 - 7.6.8. Конструкторские решения обеспечения безопасности работы
 - 7.6.9. Аварийное освещение
 - 7.6.10. Пожарная профилактика
 - 7.6.11. Микроклимат
 - 7.6.12. Молниезащита
- 8. Рекомендации и предложения по внедрению и совершенствованию в квалификационной работе

Заключение

Список используемых источников

Приложения

Приложение А. Перечень элементов

Приложение Б. Спецификации

Приложение В. Комплект технологической документации на изготовление печатной платы

Приложение Г. Комплект технологической документации на сборку блока

3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОСНОВНЫМ РАЗДЕЛАМ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

3.1. ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

В техническом задании указываются: технические характеристики и параметры изделия ЭС; проводится выбор элементной базы и проверка её на соответствие условиям эксплуатации, эргономические требования.

3.1.1. НАЗНАЧЕНИЕ, ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ ИЗДЕЛИЯ

Для проектируемого ЭС описываются выполняемые функции ЭС, например:

- обмен информацией;
- обмен по стыку RS-232 согласно протоколу дистанционного управления;
- обработка принятой информации;
- управления и передачи информации в радиопередающее устройство;
- управление коммутатором передающих антенн;
- контроль исправности, индикации телеуправления и приёма исходных данных.

Приводятся технические характеристики проектируемого ЭС, например:

- напряжение питания;
- максимальный потребляемый ток;
- скорость обмена информацией.

Указываются требования к конструкции:

- габаритные размеры;
- масса;
- исполнение УХЛ соответствующей категории по ГОСТ 15150–69.

В характеристике внешних воздействий для режима работы отмечаются, например:

- температура окружающей среды;
- относительная влажность воздуха;
- диапазон частоты вибрации и др.

Отмечается, к какой группе относится блок: к стационарным или передвижным ЭС, работающих в транспорте. Например, согласно ус-

ловиям эксплуатации блок принадлежит к группе 4, климатическое исполнение – УХЛ 3.1 по ГОСТ 16019–01.

Разрабатываемый блок должен соответствовать определённым требованиям в условиях воздействия:

- относительной влажности воздуха;
- максимальной температуры окружающей среды;
- минимальной температуры окружающей среды;
- атмосферного пониженного рабочего давления и после воздействия предельно низкого давления;
- после статического воздействия песка и пыли при определённой концентрации и скорости воздуха;
- механических ударов многократного действия в эксплуатационном положении;
- акустического шума;
- вибрации.

Далее необходимо указать область применения проектируемого ЭС.

3.1.2. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ И ПРОВЕРКА ЕЁ НА СООТВЕТСТВИЕ УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Выбор элементной базы осуществляется в соответствии с параметрами, указанными в табл. 3.1. В таблице 3.1 в качестве примера приведён также перечень выбранных элементов для проектируемого блока ЭС.

3.1. Перечень используемых ЭРЭ в проектируемом блоке ЭС

Тип элемента	Количество, шт.	Интенсивность отказов $\lambda_0 \cdot 10^6$, 1/ч	Диапазон температур, °С	Вибрации в диапазоне частот, Гц	Ударные перегрузки, m/s^2
<i>Конденсаторы</i>					
K10-58	20	0,15	-55...+125	1...1000	170
<i>Микросхемы</i>					
ОР4177	1	0,3	-65...+150	1...4000	150
<i>Резисторы</i>					
P1-12-0,125	53	0,02	-60...+200	1...5000	150

Тип элемента	Количество, шт.	Интенсивность отказов $\lambda_0 \cdot 10^6$, 1/ч	Диапазон температур, °С	Вибрации в диапазоне частот, Гц	Ударные перегрузки, м/с ²
<i>Диоды</i>					
SM4001	3	0,2	-55...+85	5...2000	150
<i>Транзисторы</i>					
Транзисторная матрица 1НТ251	1	0,3	-65...+150	1...600	150
<i>Вилки</i>					
ГРПМШ-1- 61ШУ2-В	1	1,22	-60...+100	1...600	150
<i>Резонатор кварцевый</i>					
CMR200T 307,2 кГц	1	0,3	-50...+60	1...600	150
<i>Дроссели</i>					
CM453232-500	2	0,34	-50...+125	1...600	150
<i>Трансформаторы</i>					
ТОТ44	2	0,02	-60...+125	1...600	150

3.1.3. ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Человек-оператор является интегральным звеном любой системы управления, независимо от степени автоматизации её работы им принимаются принципиальные решения, он является юридическим лицом [8].

В соответствии с ГОСТ 21033-75, человек-оператор рассматривается как человек, осуществляющий трудовую деятельность посредством взаимодействия с машиной (ЭС) и окружающей средой.

Основными стадиями процесса работы системы человек-ЭС являются:

- восприятие показаний индикаторов;
- сравнение показаний с программой работы ЭС;
- реакция ЭС на сигналы управления;
- работа по новой программе;
- отражение этого режима на индикаторах.

В разрабатываемом блоке следует указать расположение органов управления, например, на передней панели блока указать размещение приборов индикации вторичного питания и управляющих сигналов. Обозначается надписью назначения органов управления и индикации. Приводится описание конструкции, формы корпуса, лицевой панели блока ЭС.

3.2. ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТ

3.2.1. ЭТАПЫ И СРОКИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

Этапы и сроки выполнения квалификационной работы представляются в виде таблицы, образец которой представлен табл. 3.2.

3.2. Этапы и сроки выполнения проекта

Наименование работ	Сроки выполнения
Введение	
1. Обоснование бакалаврской работы	
1.1. Маркетинговые исследования	
1.2. Анализ рисков	
1.3. Патентный поиск	
2. Техническое задание	
2.1. Назначение, технические характеристики и параметры изделия	
2.2. Выбор элементной базы и проверка её на соответствие условиям эксплуатации	
2.3. Эргономические требования	
3. Планирование работ	
3.1. Этапы и сроки выполнения работ	
3.2. Ресурсы и используемые информационные средства	
4. Эскизный проект	
4.1. Описание и анализ работы блока	
4.2. Трассировка и размещение элементов печатного узла	
4.3. Специальная разработка	

Наименование работ	Сроки выполнения
5. Технический проект	
5.1. Окончательная компоновка блока	
5.2. Выбор оптимального варианта компонования блока	
5.3. Разработка несущей конструкции	
5.4. Обеспечение защиты блока от механических и внешних климатических воздействий	
5.5. Расчёт амортизаторов	
5.6. Расчёт упаковочной тары для транспортирования	
5.7. Расчёт теплового режима	
5.8. Проектирование функционального узла	
5.8.1. Выбор метода изготовления печатной платы	
5.8.2. Расчёт печатного монтажа	
5.8.3. Расчёт печатной платы на механические воздействия	
5.8.4. Расчёт теплонагруженных элементов функционального узла	
5.9. Расчёт надёжности блока	
5.9.1. Прикидочный расчёт	
5.9.2. Уточнённый расчёт	
5.9.3. Расчёт с учётом всех видов отказов	
5.10. Обеспечение и оценка качества продукта	
5.11. Технико-экономическое обоснование бакалаврской работы	
5.11.1. Расчёт производительности электронной техники	
5.11.2. Расчёт капитальных вложений единовременных затрат	
5.11.3. Расчёт себестоимости и оптовой цены электронного изделия	
5.11.4. Расчёт экономического эффекта	

Наименование работ	Сроки выполнения
6. Рабочая документация	
7. Производство продукта	
7.1. Технологическая подготовка производства	
7.2. Оценка технологичности конструкции продукта	
7.3. Разработка технологического процесса изготовления печатной платы	
7.4. Разработка технологического процесса сборки блока	
7.5. Система автоматизации при производстве	
7.6. Мероприятия по охране труда	
8. Рекомендации и предложения по внедрению и совершенствованию	
Заключение	
Список используемых источников	

3.2.2. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СРЕДСТВА

При проектировании блока применяются следующие информационные средства:

- пояснительная записка выполняется с помощью текстового редактора «Microsoft Word 2007»;
- расчёты в табличной форме выполняются с помощью табличного редактора «Microsoft Excel 2007»;
- диаграмма Ганта выполняется с помощью редактора планирования работ «Microsoft Project 2007»;
- условно графические обозначения (УГО) элементов электрической схемы (ЭЭС) выполняются с помощью программы Symbol Editor пакета P-CAD 2006;
- корпуса ЭЭС выполняются с помощью программы Pattern Editor пакета P-CAD 2006;
- типовые компонентные модули (ТКМ) выполняются с помощью программы Library Executive пакета P-CAD 2006;
- электрические схемы платы модемов выполняются при помощи программы Schematic пакета P-CAD 2006;

- создание печатной платы и предварительное размещение элементов проводится с помощью программы PCB пакета P-CAD 2006;
- окончательное размещение элементов и трассировка печатной платы (ПП) выполняется с помощью трассировщика SPECSTRA 15.1 для пакета P-CAD 2006;
- для выполнения графического материала рекомендуется использовать САПР «AutoCAD 2010»;
- в конце пояснительной записки приводится список используемых источников.

3.3. ЭСКИЗНЫЙ ПРОЕКТ

3.3.1. ОПИСАНИЕ И АНАЛИЗ РАБОТЫ БЛОКА

В эскизном проекте рассматриваются все модели и устройства, входящие в состав проектируемого ЭС, например:

- модуль управления блоком;
- модуль коммутации и контроля;
- модуль питания.

Определяются функции разрабатываемого блока, такие как:

- обмен информацией;
- обработка принятой информации;
- управление и передача информации;
- управление коммутатором входных сигналов;
- контроль исправности и приём сигналов.

При описании и анализе работы проектируемого блока подробно излагается его назначение, указываются контактные соединения при подключении источника питания и величины подключаемых напряжений к каждому модулю и устройству, входящих в состав блока. Приводится функциональное назначение используемых интегральных микросхем (ИМ), электрорадиоэлементов (ЭРЭ), микропроцессоров (МП), микроконтроллеров (МК), а также входящих в состав блока модулей и устройств. Указываются технические характеристики и параметры ИМ, ЭРЭ, МП, МК в разрабатываемой электрической схеме ЭС. Детально рассматривается алгоритм функционирования разрабатываемых модулей и устройств, приводятся графики характерных зависимостей и диаграммы работы. Выполняется анализ алгоритма функционирования проектируемого ЭС, выходных параметров и характеристик и их соответствие техническому заданию на выполнение квалификационной работы.

3.3.2. ТРАССИРОВКА И РАЗМЕЩЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕЧАТНОГО УЗЛА

Проектирование функционального узла проводится с использованием системы автоматизированного проектирования и соответствующих ГОСТов.

Предварительная компоновка и размещение элементов печатного узла платы выполняется с помощью системы разработки печатных плат P-CAD 2006.

Разработка графической документации осуществляется с применением системы автоматизированного проектирования Auto-CAD 2010.

Проектирование печатного узла производится в системе автоматизированного проектирования P-CAD 2006.

В частности, проводятся следующие процедуры:

- автоматическое получение исходной информации из схемы электрической принципиальной;
- трассировка печатных проводников заданной ширины.

Окончательная подготовка графического материала производится в пакете Auto-CAD 2010.

Размещение осуществляется в соответствии с ОСТ 4.Г0.010.030 и ОСТ 4Г0.010.009. Выбирается вариант установки электрорадиоэлементов на плату в соответствии с заданными условиями эксплуатации и техническими требованиями к конструкции печатного узла. Элементы устанавливаются по ГОСТ 29137–91.

По ГОСТ 23751–79 производится рациональное размещение навесных ЭРЭ с учётом минимизации электрических связей между элементами. При изготовлении двухсторонней печатной платы количество переходов печатных проводников из слоя в слой выполняется минимальным, кроме того, если возможно, то целесообразно выполнить равномерное распределение масс навесных элементов по поверхности печатной платы. Элементы с наибольшей массой следует устанавливать вблизи мест механического крепления платы.

Размещение навесных электрорадиоэлементов проводится в пакете прикладных программ P-CAD комбинированно автоматическим и ручным способами.

3.3.3. СПЕЦИАЛЬНАЯ РАЗРАБОТКА

В качестве специального задания в квалификационной работе бакалавра выполняется модернизация электрической схемы, разработка конструкции проектируемого ЭС и технологических процессов изготовления деталей печатной платы и сборки блока ЭС.

Модернизация принципиальной электрической схемы заключается в применении компонентов поверхностного монтажа, замене уста-

ревшей элементной базы на новую современную, а также в изменении конфигурации принципиальной электрической схемы блоков и устройств ЭС с целью улучшения их технических характеристик, повышения надёжности, уменьшения габаритов, массы и стоимости ЭС. Например, операционные усилители 140УД20А можно заменить на зарубежный аналог ОР4177 и заменить аналоговые полосовые фильтры 298ФН11 цифровыми 1478ФН2У.

Аналоговые полосовые фильтры имеют ряд недостатков, по сравнению с цифровыми:

- неравномерность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) более 20дБ;
- являются пассивным ослабляющим узлом;
- АЧХ подвержена влиянию изменений температуры;
- имеют низкую ударопрочность корпуса и низкую надёжность;
- не перестраиваемые.

3.4. ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ

3.4.1. ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ КОМПОНОВКА БЛОКА ЭС

При проведении компоновки проектируемого блока ЭС необходимо определить конструктивы, входящие в его состав [9, 11 – 14]. Предположим, что устройство ЭС состоит из следующих конструктивов, которые приведены в табл. 3.3.

Структурная схема проектируемого ЭС с указанием входящих в него конструктивов показана на рис. 3.1.

Вводятся критерии связей составляющих конструктивов:

$\Phi_{\text{ф}}$ – критерий функциональной связи;

$\Phi_{\text{э}}$ – критерий электрической связи;

$\Phi_{\text{т}}$ – критерий тепловой связи;

$\Phi_{\text{м}}$ – критерий связи по массе.

3.3. Конструктивы, входящие в блок ЭС, и примерные размеры габаритов и массы

Обозначение	Наименование	Габаритные размеры, мм			Масса, г
		<i>L</i>	<i>B</i>	<i>H</i>	
a1	Модуль 1	170	18	110	150
a2	Модуль 2	170	18,5	110	170
a3	Модуль 3	170	20	110	230
a4	Модуль 4	170	25	110	350
a5	Модуль 5	170	18,5	110	170

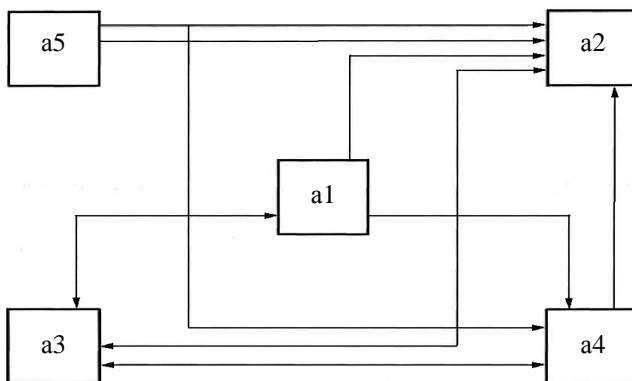


Рис. 3.1. Структурная схема блока ЭС

3.4. Критерии связей конструктивов

	a1	a2	a3	a4	a5
a1	X	$\Phi_{\phi} - \Phi_{\psi}$	Φ_{ψ}	$\Phi_{\phi} - \Phi_{\psi}$	$\Phi_{\psi} - \Phi_{\text{M}} - \Phi_{\text{T}}$
a2		X	$\Phi_{\phi} - \Phi_{\psi}$	$\Phi_{\phi} - \Phi_{\psi}$	$\Phi_{\psi} + \Phi_{\phi}$
a3			X	$\Phi_{\phi} - \Phi_{\psi}$	$\Phi_{\psi} - \Phi_{\text{M}}$
a4				X	$\Phi_{\psi} - \Phi_{\text{M}} + \Phi_{\phi}$
a5					X

Критерии связей составляющих конструктивов сведены в табл. 3.4.

С учётом системы компоновочного взаимодействия и с учётом того, что данные значения необходимо увеличить в 1,5 раза относительно ядра, составим табл. 3.5. Ядро – это конструктив, имеющий наибольшее количество связей или выполняющий наиболее важную функцию.

3.5. Оценка компоновочного воздействия

	a2	a3	a4	a5
КВ	$\Phi_{\phi} - \Phi_{\psi}$	Φ_{ψ}	$\Phi_{\phi} - \Phi_{\psi}$	$\Phi_{\psi} - \Phi_{\text{M}} - \Phi_{\text{T}}$
Оценка	$60 \cdot 1,5 + 2$	1	$40 \cdot 1,5 + 1$	$2 - 3 - 1$
Σ, θ^1	92	1	61	-3

Так как для конструктива а2 значение θ^1 максимально, то получим объединение $a1 \cup a2$. Производится оценка компоновочного взаимодействия (КВ) к полученному объединению:

$$\theta_3^2 = \theta_3^1 + \varphi_\phi - \varphi_3 = 1 + 20 - 1 = 20;$$

$$\theta_4^2 = \theta_4^1 + \varphi_\phi - \varphi_3 = 61 + 40 - 1 = 100;$$

$$\theta_5^2 = \theta_5^1 + \varphi_\phi + \varphi_3 = -3 + 20 + 1 = 18.$$

Так как для конструктива а4 значение КВ максимально, то получим объединение $a1 \cup a2 \cup a4$.

Производится оценка КВ к полученному объединению:

$$\theta_3^3 = \theta_3^2 = 20;$$

$$\theta_5^3 = \theta_5^2 - \varphi_M + \varphi_3 = 18 - 3 + 1 = 16.$$

Так как для конструктива а3 значение КВ максимально и с учётом того, что остался конструктив а5, то получим объединение $a1 \cup a2 \cup a4 \cup a3 \cup a5$.

3.4.2. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА КОМПОНОВАНИЯ БЛОКА

Оптимальный вариант компоновки выбирается на основе расчёта критериев компоновки [8, 12, 14 – 16]. Определяется для полученных пяти вариантов компоновки изделия пять критериев оценки компоновки по следующим зависимостям.

1. Коэффициент заполнения объёма:

$$q_V = \frac{\sum_{i=1}^5 V_i}{V_6},$$

где $\sum_{i=1}^5 V_i$ – суммарный объём конструктивов блока, см^3

$\left(\sum_{i=1}^5 V_i = 1840,1 \text{ см}^3 \right)$; V_6 – объём, проектируемого блока ЭС, см^3 .

$$q_{V_1} = \frac{1840,1}{2393,6} = 0,77;$$

$$q_{V_2} = \frac{1840,1}{2057} = 0,89;$$

$$q_{V_3} = \frac{1840,1}{1870} = 0,98;$$

$$q_{V_4} = \frac{1840,1}{996,2} = 1,85;$$

$$q_{V_5} = \frac{1840,1}{3515,6} = 0,52 .$$

2. Критерий приведённой площади:

$$q_{\text{пр}} = \frac{S_{\text{пр.б}}}{S_{\text{пр.ш}}},$$

с учётом того, что приведённая площадь блока $S_{\text{пр.б}} = \frac{S_6}{V_6}$ и приве-

дённая площадь шара $S_{\text{пр.ш}} = \frac{3}{\sqrt[3]{\frac{3V_6}{4\pi}}}$, имеем $q_{\text{пр}} = \frac{S_6 \sqrt[3]{\frac{3V_6}{4\pi}}}{3V_6}$

$$q_{\text{пр}} = \frac{(11 \cdot 1,8 + 11 \cdot 17 + 17 \cdot 1,8) \cdot 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 2393,6}{4 \cdot 3,14}}}{2393,6 \cdot 3} = \frac{3940,7}{7180,8} = 0,54;$$

$$q_{\text{пр}} = \frac{(11 \cdot 1,9 + 11 \cdot 17 + 17 \cdot 1,9) \cdot 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 2057}{4 \cdot 3,14}}}{2057 \cdot 3} = \frac{3790,7}{6171} = 0,61;$$

$$q_{\text{пр}} = \frac{(11 \cdot 2 + 11 \cdot 17 + 17 \cdot 2) \cdot 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 1870}{4 \cdot 3,14}}}{1870 \cdot 3} = \frac{3715}{5610} = 0,66;$$

$$q_{\text{пр}} = \frac{(11 \cdot 2,5 + 11 \cdot 17 + 17 \cdot 2,5) \cdot 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 996,2}{4 \cdot 3,14}}}{996,2 \cdot 3} = \frac{3185,1}{2988,6} = 1,07;$$

$$q_{\text{пр}} = \frac{(11 \cdot 1,9 + 11 \cdot 17 + 17 \cdot 1,9) \cdot 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 3515,6}{4 \cdot 3,14}}}{3515,6 \cdot 3} = \frac{4532,2}{10\ 546,8} = 0,43.$$

3. Критерий смещения центра масс:

$$q_{ц.м} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2},$$

где Δx , Δy , Δz – разность между соответствующими координатами геометрического центра устройства и центра тяжести.

Для варианта компоновки А1:

$$x_{Г1} = 64, \quad y_{Г1} = 55, \quad z_{Г1} = 85;$$

$$x_{ц.м1} = \frac{150 \cdot 9 + 170 \cdot 64 + 230 \cdot 64 + 350 \cdot 65 + 170 \cdot 64}{1070} = \frac{60\,230}{1070} = 56,29;$$

$$y_{ц.м1} = \frac{150 \cdot 55 + 170 \cdot 9,3 + 230 \cdot 28,5 + 350 \cdot 51 + 170 \cdot 72,8}{1070} = \frac{46\,612}{1070} = 43,56;$$

$$z_{ц.м1} = \frac{150 \cdot 85 + 170 \cdot 85 + 230 \cdot 85 + 350 \cdot 85 + 170 \cdot 85}{1070} = \frac{90\,950}{1070} = 85;$$

$$q_{ц.м1} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} = \sqrt{59,4 + 130,9} = 13,79.$$

Для варианта компоновки А2:

$$x_{Г1} = 110, \quad y_{Г1} = 27,5, \quad z_{Г1} = 85;$$

$$x_{ц.м1} = \frac{150 \cdot 55 + 170 \cdot 55 + 230 \cdot 165 + 350 \cdot 165 + 170 \cdot 55}{1070} = \frac{122\,650}{1070} = 114,6;$$

$$y_{ц.м1} = \frac{150 \cdot 9 + 170 \cdot 27,3 + 230 \cdot 10 + 350 \cdot 32,5 + 170 \cdot 45,8}{1070} = \frac{27\,452}{1070} = 25,66;$$

$$z_{ц.м1} = \frac{150 \cdot 85 + 170 \cdot 85 + 230 \cdot 85 + 350 \cdot 85 + 170 \cdot 85}{1070} = \frac{90\,950}{1070} = 85;$$

$$q_{ц.м1} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} = \sqrt{21,16 + 3,39} = 4,95.$$

Для варианта компоновки А3:

$$x_{Г1} = 50, \quad y_{Г1} = 55, \quad z_{Г1} = 85;$$

$$x_{ц.м1} = \frac{150 \cdot 9 + 170 \cdot 27,3 + 230 \cdot 46,5 + 350 \cdot 69 + 170 \cdot 90,8}{1070} = \frac{51\,036}{1070} = 47,7;$$

$$y_{ц.м1} = \frac{150 \cdot 55 + 170 \cdot 55 + 230 \cdot 55 + 350 \cdot 55 + 170 \cdot 55}{1070} = \frac{58\ 850}{1070} = 55;$$

$$z_{ц.м1} = \frac{150 \cdot 85 + 170 \cdot 85 + 230 \cdot 85 + 350 \cdot 85 + 170 \cdot 85}{1070} = \frac{90\ 950}{1070} = 85;$$

$$q_{ц.м1} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} = \sqrt{5,29} = 2,3.$$

Для варианта А4:

$$x_{Г1} = 73,3, \quad y_{Г1} = 55, \quad z_{Г1} = 85;$$

$$x_{ц.м1} = \frac{150 \cdot 9 + 170 \cdot 73 + 230 \cdot 73 + 350 \cdot 73 + 170 \cdot 137,3}{1070} = \frac{79\ 441}{1070} = 74,24;$$

$$y_{ц.м1} = \frac{150 \cdot 55 + 170 \cdot 9,3 + 230 \cdot 28,5 + 350 \cdot 51 + 170 \cdot 55}{1070} = \frac{82\ 731}{1070} = 77,3;$$

$$z_{ц.м1} = \frac{150 \cdot 85 + 170 \cdot 85 + 230 \cdot 85 + 350 \cdot 85 + 170 \cdot 85}{1070} = \frac{90\ 950}{1070} = 85;$$

$$q_{ц.м1} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} = \sqrt{0,88 + 497,29} = 22,32.$$

Для варианта А5:

$$x_{Г1} = 94, \quad y_{Г1} = 55, \quad z_{Г1} = 85;$$

$$x_{ц.м1} = \frac{150 \cdot 9 + 170 \cdot 103 + 230 \cdot 103 + 350 \cdot 103 + 170 \cdot 103}{1070} = \frac{96\ 110}{1070} = 89,82;$$

$$y_{ц.м1} = \frac{150 \cdot 55 + 170 \cdot 55 + 230 \cdot 55 + 350 \cdot 12,5 + 170 \cdot 55}{1070} = \frac{68\ 270}{1070} = 63,8;$$

$$z_{ц.м1} = \frac{150 \cdot 85 + 170 \cdot 80,4 + 230 \cdot 70,8 + 350 \cdot 28,3 + 170 \cdot 61,1}{1070} = \frac{62\ 994}{1070} = 58,87;$$

$$q_{ц.м1} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} = \sqrt{17,47 + 77,44 + 682,78} = 27,89.$$

4. Критерий помехозащищённости блока ЭС.

При данной компоновке все конструктивы обладают приблизительно одинаковой помехозащищённостью, так как в блоке отсутствуют конструктивы, которые бы оказывали сильное воздействие на другие конструктивы. Назначаем критерий помехозащищённости $q_{пом} = 3$, исходя из пятибалльной системы оценки.

5. Критерий ремонтпригодности блока ЭС.

Критерий выбирается исходя из положения конструктивов в блоке ЭС для каждого варианта компоновки. По пятибалльной системе оценки ремонтпригодности выбраны следующие коэффициенты ремонтпригодности:

$$q_{p1} = 2;$$

$$q_{p2} = 1;$$

$$q_{p3} = 5;$$

$$q_{p4} = 3;$$

$$q_{p5} = 4.$$

Оцениваются значения каждого из критериев по пятибалльной системе, критерии компоновки сведены в табл. 3.6.

3.6. Критерии компоновки

	A1	A2	A3	A4	A5
q_V	3	4	5	1	2
$q_{пр}$	2	3	4	5	1
$q_{ц.м}$	3	4	5	2	1
$q_{пом}$	3	3	3	3	3
q_p	2	1	5	3	4

Далее проводится попарное сравнение вариантов компоновки и формируется Парето – оптимальное множество:

A	A	A	A
1	2	1	3
3	< 4	3	< 5
2	< 3	2	< 4
3	< 4	3	< 5
3	= 3	3	= 3
2	> 1	2	< 5

A1 эквивалентен A2, но не эквивалентен A3, значит вариант A1 $\notin P$, где P – Парето – оптимальное множество

A2	A3
4	< 5
3	< 4
4	< 5
3	= 3
1	< 5

A2 не эквивалентен A3, следовательно, вариант A2 $\notin P$,

A	A	A3	A
3	4		5
5	> 1	5	> 2
4	< 5	4	> 1
5	> 2	5	> 1
3	= 3	3	= 3
5	> 3	5	> 4

A3 эквивалентен A4, а A5 не эквивалентен A3, значит, вариант A5 $\notin P$, а варианты A3, A4 $\in P$.

Таким образом, $P = \{A3, A4\}$.

Для выбора оптимального варианта компоновки осуществляется переход от табличной формы к скалярной, для этого вводятся весовые коэффициенты:

$$q_V \sim \varphi_1 = 4 \dots 8;$$

$$q_{\text{пр}} \sim \varphi_2 = 1 \dots 5;$$

$$q_{\text{ц.м}} \sim \varphi_3 = 6 \dots 11;$$

$$q_{\text{дес}} \sim \varphi_4 = 10 \dots 14;$$

$$q_p \sim \varphi_5 = 0 \dots 4.$$

Для вариантов компоновки A3 и A4 получены следующие суммарные значения критериев:

$$A_3 = \sum_{i=1}^5 q_i \varphi_i = 5 \cdot 6 + 4 \cdot 3 + 5 \cdot 9 + 3 \cdot 12 + 5 \cdot 4 = 143;$$

$$A_4 = \sum_{i=1}^5 q_i \varphi_i = 1 \cdot 6 + 5 \cdot 3 + 2 \cdot 9 + 3 \cdot 12 + 3 \cdot 4 = 87.$$

Из полученных результатов следует, что вариант A3 является оптимальным. В учебнике П.П. Гелля «Конструирование и микроминиатюризация РЭА» [14] приводятся варианты компоновки проектируемого блока.

3.4.3. РАЗРАБОТКА НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ

Разработку конструкции можно разделить на следующие этапы:

– выбор базовой несущей конструкции модулей первого или второго уровней. Модулем второго уровня являются блоки;

– проектирование или выбор элементов несущей конструкции, при этом рекомендуется использовать специализированные профили, например, выполненные из алюминиевых сплавов АД-31.

Масса несущих конструкций ЭС составляет примерно 70% от общей массы аппаратуры. Поэтому задача уменьшения массы базовой несущей конструкции является весьма актуальной. При создании ЭС с минимальной массой несущих конструкций следует придерживаться следующих правил:

- выполнять все элементы конструкции равнопрочными без большого запаса по прочности;
- обеспечивать высокую жёсткость способами, не требующими увеличения масс;
- упрощать несущую конструкцию до наименьшего числа деталей;
- широко применять лёгкие сплавы и пластмассы;
- выбирать рациональную форму профилей несущих конструкций;
- вводить в детали различные отверстия, выемки, проточки, чтобы избежать лишнего материала, не несущего нагрузки;
- вводить в тонколистовые детали отбортовки и выдавки, позволяющие повысить жёсткость конструкции;
- использовать гальванические и лакокрасочные покрытия, имеющие минимальную массу.

Особое внимание следует уделить выбору:

- технологического варианта исполнения конструкции (литая, сварная, клёпаная и т.д.);
- конструкционного материала;
- метода осуществления разъёмных и неразъёмных соединений деталей (свинчивание, сварка и т.д.).

При проектировании элементов крепления и фиксации необходимо обеспечивать требуемую надёжность соединения при минимальных массогабаритных показателях. При этом рассматриваются вопросы: способы крепления отдельных узлов конструкции; конструирование направляющих, штырей, ловителей, и т.д.; вариант крепления при эксплуатационном осмотре и ремонте.

В учебнике П.П. Гелля «Конструирование и микроминиатюризация РЭА» [14] приведена несущая конструкция веерного типа со стяжными винтами.

3.4.4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИТЫ БЛОКА ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ И ВНЕШНИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Все виды ЭС подвергаются воздействию внешних механических нагрузок, которые передаются к каждой детали, входящей в конструкцию. Механические воздействия имеют место в работающей ЭС, если

она установлена на подвижном объекте, или только при транспортировке её в нерабочем состоянии, как в случае стационарной и некоторых видах возимой ЭС. Воздействие транспортной тряски складывается из ударов и вибраций. Основное воздействие на базовый блок устройства навигации механических нагрузок возникает при перемещении его на подвижном наземном объекте [14].

В данном случае в конструкции блока предусмотрены амортизаторы.

Защита несущих деталей конструкции может быть обеспечена выбором материала деталей, стойкого к действию влаги и агрессивной газовой среды, или покрытием поверхности детали оксидным или комплексным химическим соединением.

ЭС может подвергаться циклическим изменениям температуры. В этом случае на её внутренней и наружной поверхностях конденсируется влага. При длительном хранении ЭС в нерабочем состоянии влажность окружающей среды также вызывает разрушение ЭС от коррозии.

На деталях из алюминиевых сплавов возникает оксидная плёнка, существенно замедляющая химическую коррозию.

Предрасположенность синтетических материалов к образованию плесневых грибов связана с наличием пластификаторов, наполнителей и т.п.

Плесень вначале поражает наиболее предрасположенные к её образованию материалы, а затем переходит на другие.

Хорошую стойкость против плесени имеют уретановые лаки и лаки с введёнными в них противоплесневыми ядами – фунгицидами.

Проникающая через отверстия и щели в корпус ЭС пыль может вызвать снижение сопротивления изоляции и появление электрических пробоев в конструкции.

Воздействие пыли на ЭС проявляется главным образом в виде засорения смазки механизмов, увеличивая износ изделия и вызывая нарушение функционирования ЭС. Кроме того, пыль в воздушном зазоре электромеханического реле может препятствовать его срабатыванию. Гигроскопические свойства некоторых частиц пыли способствуют развитию коррозии.

Рекомендуется выполнить защиту поверхности детали с помощью покрытий.

Для придания коррозионной стойкости поверхность металлических деталей защищают покрытием, которое получают главным образом гальваническим методом. Преимущество таких покрытий заключается в том, что возможен широкий выбор металлов покрытия и получения тонких и сравнительно тонких по толщине плёнок.

Лакокрасочные покрытия представляют собой плёнообразующие органические вещества, наносимые в один или несколько слоёв на защищаемую поверхность.

Такие покрытия химически более инертны, чем металлические, а обладают лучшими антикоррозионными свойствами, но меньшей механической прочностью. Все применяемые лаки и краски в известной мере проницаемы по отношению к воде и кислороду. Большие препятствия диффузионному проникновению создаются лишь в покрытиях, имеющих хорошую адгезию и нанесённых в несколько слоёв.

Выбор защитного покрытия производится с учётом функционального назначения детали (узла), продолжительности и характера действия окружающей среды. Детали, предназначенные для использования внутри блоков, должны защищаться металлическими покрытиями, оксидными или фосфатными плёнками. Поверхности деталей, непосредственно соприкасающихся с внешней средой, защищают лакокрасочными покрытиями с предварительным оксидированием или анодированием. Особенно это относится к деталям из алюминиевых и магниевых сплавов.

Из анализа вышеприведённой информации можно сделать вывод, что для деталей, изготовленных из алюминия АД-31 ГОСТ 12850–78 для защиты от коррозии, а также для декоративной отделки рекомендуется применять оксидное покрытие, для защиты от пыли и влаги – применять покрытие – лак ЭП-730.В33, нанесённый в два слоя, несущую конструкцию покрыть эмалью МЛ-12 в один слой.

3.4.5. РАСЧЁТ АМОРТИЗАТОРОВ

Воздействие транспортной тряски складывается из ударов и вибраций. Основное воздействие на базовый блок устройства навигации механических нагрузок возникает при перемещении его на подвижном наземном объекте. В конструкции данного блока предусмотрены амортизаторы. Приведём методику их расчёта [9, 14].

Рассчитываются статические нагрузки на амортизаторы. Условия статического равновесия системы амортизации:

$$\begin{aligned} \sum p_i &= G; \\ \sum p_i x_i &= 0, \quad \sum p_i y_i = 0, \quad \sum p_i z_i = 0; \\ \sum p_i x_i y_i &= 0, \quad \sum p_i x_i z_i = 0, \quad \sum p_i y_i z_i = 0, \end{aligned}$$

где p_i – весовая нагрузка, приходящаяся на i -й амортизатор; G – вес блока.

Блок устанавливается на носителе без перекосов (поэтому $Z = 0$), тогда получаем:

$$\sum p_i = G, \quad \sum p_i x_i = 0, \quad \sum p_i y_i = 0.$$

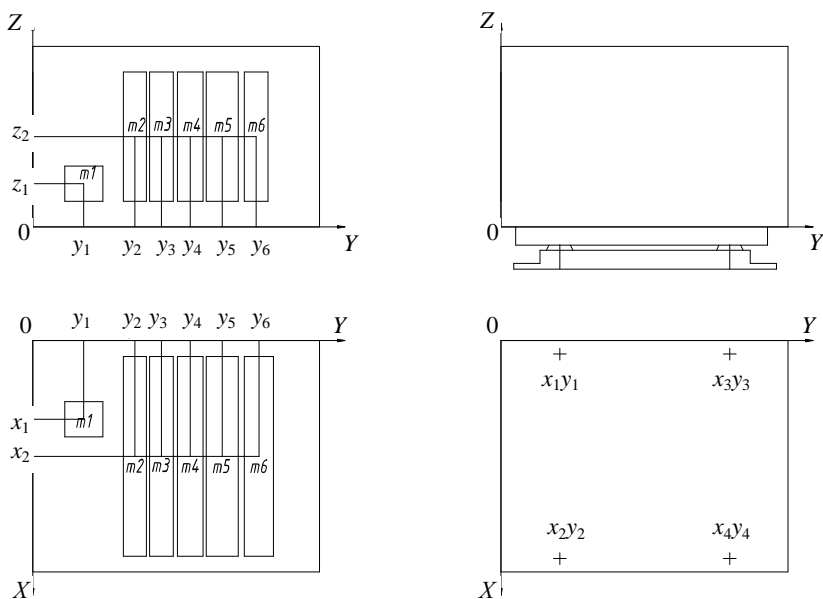


Рис. 3.2. Схема расположения амортизаторов на блоке ЭС

Примерная схема расположения амортизаторов в проектируемом блоке ЭС приведена на рис. 3.2.

Задаваясь координатами размещения амортизаторов, получают систему из четырёх линейных уравнений:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ y_1 & y_2 & y_3 & y_4 \\ x_1 y_1 & x_2 y_2 & x_3 y_3 & x_4 y_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$

где $x_1 = -0,1855$ м; $x_2 = -0,1855$ м; $x_3 = 0,1855$ м; $x_4 = 0,1855$ м; $y_1 = -0,068$ м; $y_2 = 0,068$ м; $y_3 = -0,068$ м; $y_4 = 0,068$ м.

Решая эту систему относительно нагрузок на амортизаторы, находят статические нагрузки на амортизаторы: p_1 ; p_2 ; p_3 ; p_4 :

$$p_1 = 15,9 \text{ Н}; \quad p_2 = 15,9 \text{ Н}; \quad p_3 = 15,9 \text{ Н}; \quad p_4 = 15,9.$$

Исходя из полученных значений, выбирается тип амортизаторов АД-4, статические нагрузки в пределах 15...30 Н.

Так как статические нагрузки на все амортизаторы равны, то их осадка также равна, следовательно, выравнивание блока с помощью нивелирующих прокладок не требуется.

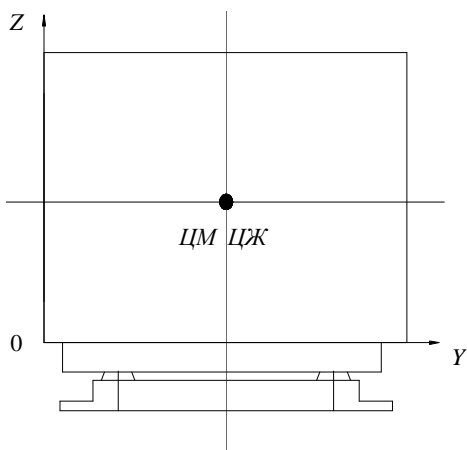


Рис. 3.3. Взаимное расположение центра масс и центра жёсткости

Рассчитывается резонансная частота блока на амортизаторах. Так как амортизаторы расположены симметрично и центр масс совпадает с центром жёсткости, то резонансная частота находится по формуле

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_{\Sigma}}{m}},$$

где m – масса блока; K_{Σ} – суммарная жёсткость системы.

$$K_{\Sigma} = \sum_{i=1}^4 K_{\text{ами}i} = 159,25 \cdot 4 = 637 \text{ Н/см};$$

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{637}{6,5}} = 15,8 \text{ Гц.}$$

3.4.6. РАСЧЁТ УПАКОВОЧНОЙ ТАРЫ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ

Упаковочная тара должна гарантировать сохранность ЭС при её перевозке любыми транспортными средствами [9, 14]. Контейнер для транспортировки изготавливают из недорогих материалов (металл, слоистое стекловолокно и дерево). Между жёсткой оболочкой тары и поверхностью ЭС прокладывают упругие амортизационные прокладки, гасящие вибрационные и ударные нагрузки при транспортировке (рис. 3.4).

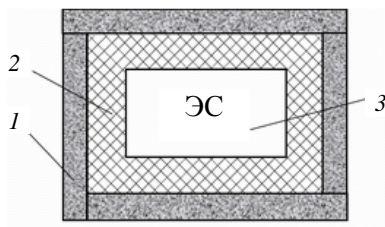


Рис. 3.4. Схема упаковочной тары:

1 – жёсткая внешняя оболочка тары; 2 – упругая прокладка; 3 – ЭС

Определяется материал прокладки. Для этого рассчитывается восстанавливающая сила после удара, которая вызовет в прокладке механическое напряжение:

$$\gamma = \frac{mg}{S} (1 + K),$$

где m – масса блока, кг; S – опорная поверхность блока, м²; K – наибольшая перегрузка, допустимая на ЭС.

Для транспортируемого блока: $m = 6,5$ кг, $S = 0,045$ м², $K = 15$.

Получаем $\sigma = 2,26$ Н/см². Данному значению восстанавливающей силы соответствует материал – резина.

Рассчитывается толщина амортизационной прокладки:

$$h = \Theta \frac{H + Z}{1 + K},$$

где H – высота, на которой работает блок ЭС, м;

$$\Theta = \sigma / T_v,$$

где T_v – энергии, накопленная в единице объёма прокладки при минимальной упругой деформации, Дж.

Величину Θ определяем из графика на рис. 3.5 для выбранного материала – резина и соответствующего значения восстанавливающей силы $\sigma = 2,26$ Н/см², рабочая высота для блока $H = 1,5$ м.

Рассчитывается толщина прокладки. Для приближённых расчётов удобно пользоваться выражением:

$$h = \Theta \frac{H}{K},$$

$$h = (5,5 \cdot 1,5) / 15 = 0,55 \text{ м.}$$

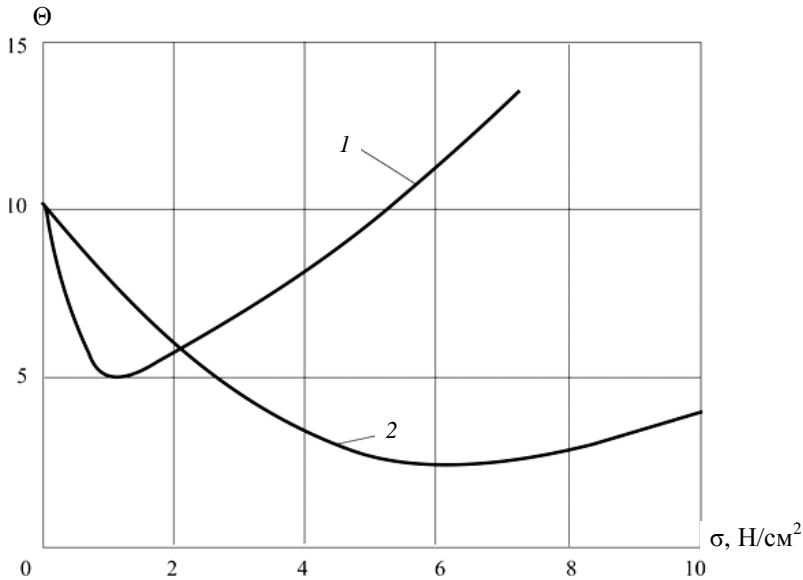


Рис. 3.5. Зависимость $\Theta = f(\sigma)$ для поролона и губчатой резины:
 1 – поролон ($\rho = 0,033 \text{ г/см}^3$); 2 – губчатая резина ($\rho = 0,127 \text{ г/см}^3$)

Таким образом, рассчитанная упаковочная тара, состоящая из жёсткой деревянной внешней оболочки и резиновой амортизационной прокладки толщиной 0,55 м, полностью гарантирует сохранность блока ЭС при его перевозке любым транспортным средством.

3.4.7. РАСЧЁТ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА

При расчёте теплового режима в пособии в качестве примера рассматривается блок ЭС, который представляет собой несложную систему источников выделения тепла. Точное аналитическое описание температурных полей внутри блока простое, потому что в блоке отсутствуют трансформаторы, мощные элементы которого выделяют тепло [10].

Задача заключается в расчёте и анализе элементов в блоке с учётом температуры окружающей среды. При расчёте теплового режима используется приближённый метод анализа и расчёта. Целью его является определение температуры поверхности кожуха, нагретой зоны и среды вблизи поверхности ЭС.

Блок заменяется физической тепловой моделью, в которой нагретая зона представляется в виде параллелепипеда, имеющего среднюю поверхностную температуру нагретой зоны t_3 и рассеиваемую тепловую мощность P_3 .

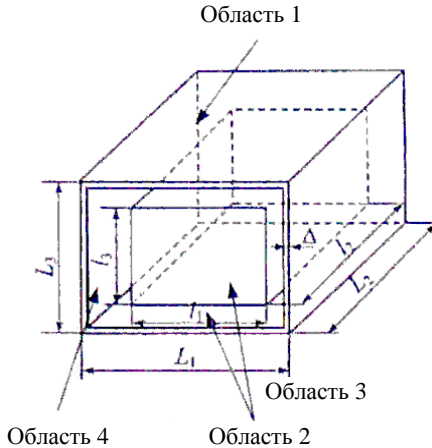


Рис. 3.6. Физическая модель блока

Примерные размеры блока $L_1 = 0,281$ м, $L_2 = 0,204$ м, $L_3 = 0,195$ м. Размеры нагретой зоны $l_1 = 0,26$ м, $l_2 = 0,19$ м, $l_3 = 0,18$ м.

Температура окружающей среды $t_c = 20$ °С, рассеиваемая блоком мощность в виде теплоты $P_0 = 12$ Вт.

Величины воздушных зазоров между нагретой зоной и нижней поверхностью корпуса $h_n = 0,015$ м, нагретой зоной и верхней поверхностью корпуса $h_b = 0,015$ м, нагретой зоной и боковой поверхностью корпуса $h_6 = 0,02$ м.

Находим площади поверхностей нагретой зоны:

$$S_b = S_n = l_1 l_2; \quad S_6 = 2l_3 (l_1 + l_2);$$

$$S_b = S_n = 0,0494 \text{ м}^2; \quad S_6 = 0,162 \text{ м}^2.$$

Рассчитываем приведённые степени черноты нагретой зоны в разных областях поверхностей нагретой зоны

$$\epsilon_{п} = \left(\frac{1}{\epsilon_3} + \left(\frac{1}{\epsilon_k} - 1 \right) \frac{S_3}{S_k} \right)^{-1},$$

где $\epsilon_{п.н}$, $\epsilon_{п.в}$, $\epsilon_{п.б}$ – соответственно ϵ поверхностей нагретой зоны: нижней, верхней и боковой; S_3 , S_k – площади нагретой зоны и корпуса

$$\epsilon_{п.н} = \epsilon_{п.в} = 0,496; \quad \epsilon_{п.б} = 0,42.$$

Рассчитываем удельную поверхностную мощность корпуса блока q_k :

$$q_k = P_0 / S_k = 12 / 0,262 = 45,8 \text{ Вт/м}^2.$$

В соответствии с найденной q_k задаёмся перегревом корпуса блока $\Delta t_k = 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Коэффициент лучеиспускания определяется по формуле

$$\alpha_{л} = \varepsilon_n \varphi_{12} f(t_1, t_2),$$

$$f(t_1, t_2) = 5,67 \frac{\left(\frac{t_1 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_2 + 273}{100}\right)^4}{t_1 - t_2},$$

где $f(t_1, t_2)$ – значение функции температуры; t_1 – температура кожуха, К; t_2 – температура среды, К; φ_{12} – коэффициент взаимного облучения (для одиночного блока $\varphi_{12} = 1$).

$$\alpha_{л.н} = 0,4965 \cdot 67 \frac{\left(\frac{25 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{20 + 273}{100}\right)^4}{25 - 20} = 2,903 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$\alpha_{л.б} = 0,425 \cdot 67 \frac{\left(\frac{25 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{20 + 273}{100}\right)^4}{25 - 20} = 2,458 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Определяем коэффициент теплоотдачи α_k для всех наружных поверхностей кожуха блока:

$$\alpha_k = A_1 \left(\frac{t_1 - t_2}{L}\right)^{1/4} N,$$

где A_1 – коэффициент, зависящий от температуры, введён для упрощения расчётов [10]; N – коэффициент ориентации нагретой поверхности: для вертикальной стенки $N = 1$, для нагретой поверхности, обращённой вниз, $N = 0,7$ и вверх $N = 1,3$; L – определяющий размер, м: для вертикально ориентированной поверхности – высота, для горизонтально ориентированной поверхности – меньшая сторона.

Коэффициенты теплоотдачи нижней и боковой поверхностей кожуха блока:

$$\alpha_{к.н} = 1,38 \left(\frac{25 + 20}{0,015}\right)^{1/4} = 5,897 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

$$\alpha_{к.б} = 1,38 \left(\frac{25 + 20}{0,02}\right)^{1/4} = 5,487 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Рассчитываем полные коэффициенты теплоотдачи с поверхности кожуха блока:

$$\alpha_B = \alpha_{к,в} + \alpha_l, \quad \alpha_H = \alpha_{к,н} + \alpha_l, \quad \alpha_6 = \alpha_{к,6} + \alpha_l;$$

$$\alpha_B = \alpha_H = 5,897 + 2,903 = 8,8;$$

$$\alpha_6 = 5,487 + 2,458 = 9,945.$$

Определяем тепловую проводимость кожуха блока в окружающей среде:

$$\sigma_k = \sigma_B S_B + \alpha_H S_H + \alpha_6 S_6;$$

$$S_H = 0,0494 \text{ м}^2;$$

$$S_6 = 0,162 \text{ м}^2;$$

$$S_B = 0,0494 \text{ м}^2;$$

$$\sigma_k = 2,157 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \cdot ^\circ\text{С},$$

где σ_k – тепловая проводимость кожуха блока в окружающей среде [10].

Определяем температуру нагретой зоны в первом приближении:

$$t_c^I = t_c + (t_k - t_c) \left(1 + \frac{\sigma_k}{\sigma_3} \right),$$

где t_k и t_c – соответственно температуры корпуса и среды.

$$t_1 = 20 + (25 - 20) \left(1 + \frac{2,157}{1,2} \right) = 33,987^\circ\text{С}.$$

Определяем расчётную мощность нагретой зоны:

$$P^I = \sigma_k (t_k - t_c),$$

$$P^I = 2,157 \cdot 5 = 10,785 \text{ Вт}.$$

Рассчитаем конвективно-кондуктивные коэффициенты верхней и боковой воздушной прослойки между нагретой зоной и внутренней поверхностью кожуха блока:

$$k_i = Nf \left(\frac{h_i}{l} \right) A_2 \sqrt[4]{\frac{t_3^1 - t_k}{h_i}},$$

где h_i – толщина воздушной прослойки между нагретой зоной и кожухом блока в соответствующей области, м; A_2 – коэффициент, завися-

щий от температуры, введён для упрощения расчётов [10]; $l = \sqrt{l_1 l_2}$ – для верхней области; $l = \sqrt{l_3 l_2}$ и $l = \sqrt{l_3 l_1}$ – для боковых областей нагретой зоны и кожуха блока:

$$k_{\text{н}} = 0,7 \cdot 0,61 \cdot 1,6^4 \sqrt{\frac{33,987 - 25}{0,015}} = 3,38;$$

$$k_{\text{в}} = 1,3 \cdot 0,61 \cdot 1,6^4 \sqrt{\frac{33,987 - 25}{0,015}} = 6,277;$$

$$k_{\text{б}} = 1 \cdot 0,61 \cdot 1,7^4 \sqrt{\frac{33,987 - 25}{0,02}} = 4,774.$$

Определим коэффициенты лучеиспускания для различных поверхностей корпуса:

$$\alpha_{\text{л.н2}} = 0,496 \cdot 5,67 \frac{\left[\left(\frac{33,987 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{20 + 273}{100} \right)^4 \right]}{33,987 - 20} = 3,039,$$

где $\alpha_{\text{л.н2}}$ – коэффициент лучеиспускания во втором приближении [9];

$$\alpha_{\text{л.б2}} = 0,42 \cdot 5,67 \frac{\left[\left(\frac{33,987 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{20 + 273}{100} \right)^4 \right]}{33,987 - 20} = 2,573.$$

Определяем коэффициенты теплопередачи и тепловую проводимость между нагретой зоной и корпусом:

$$\alpha_{\text{в2}} = \alpha_{\text{н2}} = 5,897 + 3,039 = 8,936;$$

$$\alpha_{\text{б2}} = 5,487 + 2,573 = 8,06;$$

$$\sigma_{\text{к2}} = 8,936 S_{\text{в}} + 8,936 S_{\text{н}} + 8,06 S_{\text{б}} = 2,189 \text{ Вт/}^\circ\text{С}.$$

Определяем температуру нагретой зоны во втором приближении:

$$t_3^{\text{II}} = t_{\text{с}} + P \left(\frac{1}{\sigma_3} + \frac{1}{\sigma_{\text{к}}} \right),$$

где P – мощность, полученная при расчёте в первом приближении, Вт; σ_3 – тепловая проводимость от нагретой зоны к кожуху блока, расчи-

танная во втором приближении, Вт/К²; σ_k – тепловая проводимость от кожуха блока в окружающую среду, полученная при расчёте в первом приближении, Вт/К².

$$t_2 = 20 + 10,785 \left(\frac{1}{2,157} + \frac{1}{2,189} \right) = 30,927 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Сравним температуры нагретой зоны, полученные при расчётах в первом и во втором приближениях. Если разница будет составлять более 10%, то надо произвести расчёт температуры нагретой зоны в третьем приближении

$$\delta = \frac{t_1 - t_2}{t_1} = \frac{33,987 - 30,927}{33,987} = 0,09 ;$$

$\delta = 9\%$, следовательно, нет необходимости производить расчёт температуры нагретой зоны в третьем приближении.

Таким образом, корпус проектируемого блока ЭС в целом удовлетворяет допустимым значениям перегрева с учётом условий климатического исполнения УХЛ 3.1 по ГОСТ 15150–69.

Проведённый расчёт показал, что для охлаждения проектируемого изделия рациональной является система, основанная на естественном воздушном охлаждении.

3.4.8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО УЗЛА

3.4.8.1. Выбор метода изготовления печатной платы

В современной конструкции ЭС широко применяются печатные платы. Использование их в качестве основания для размещения электрорадиоэлементов, микросхем и других функциональных единиц, а также соединяющих проводников обеспечивает высокую технологичность (уменьшение габаритов, массы, возможности автоматизации монтажа и др.) и постоянство паразитных параметров монтажа [8, 11].

Согласно ГОСТ 23752–79 (Платы печатные. Общие технические условия) печатные платы (кроме плат для ячеек СВЧ) разделяются на односторонние (ОПП), двусторонние (ДПП), многослойные (МПП), гибкие печатные платы (ГПП) и гибкие печатные кабели (ГПК). Они должны быть разработаны в соответствии с требованиями ГОСТ 23751–79 (Платы печатные. Требования и методы конструирования), в котором отмечено, что конструирование печатных плат следует осуществлять с учётом следующих методов изготовления:

- химического – для ОПП, ДПП и ГПК;
- комбинированного позитивного – для ДПП и ГПП;

- электрохимического (полуаддитивного) – для ДПП;
- металлизации сквозных отверстий – для МПП и ГПП;
- металлизации сквозных отверстий с внутренними переходами.

Поскольку применение типовых технологических процессов снижает трудоёмкость и себестоимость изделий, для изготовления печатной платы выбирается типовой технологический процесс изготовления двусторонних ДПП комбинированным способом.

Сущность комбинированного позитивного метода состоит в том, что металлизацию отверстий в печатной плате производят аддитивным методом, а печатные проводники на плате получают субтрактивным методом – вытравливанием фольги с пробельных мест.

Аддитивный метод основан на избирательном осаждении токопроводящего покрытия на диэлектрическое основание, которое предварительно подготавливается проведением операций «сенсibilизации» и «активации».

Сенсibilизация – процесс создания на поверхности диэлектрика плёнки ионов двухвалентного олова, которые впоследствии обеспечат восстановление ионов активатора металлизации.

Активирование – на поверхности происходит реакция восстановления ионов каталитического металла. Обработку проводят в растворах благородных металлов, преимущественно палладия, в течение 5...7 мин, затем промывают холодной водой.

Рисунок печатных проводников на плате получают методом фотолитографии с использованием позитивного фоторезиста.

3.4.8.2. Расчёт печатного монтажа

Определение минимальной ширины печатного проводника. Минимальная эффективная ширина печатного проводника по постоянному току:

$$b_{1\min} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} t},$$

где I_{\max} – максимальный ток, протекающий в проводнике, А; $j_{\text{доп}}$ – допустимая плотность тока, А/мм² (100 А/мм² – для комбинированного метода); t – толщина проводника, мкм (35 мкм = 0,035 мм).

Проводится анализ электрической схемы и определяются параметры, например: $I_{\max} = 0,5\text{А}$, $U_{\text{пит}} = 30\text{В}$. Тогда

$$b_{1\min} = \frac{0,5}{100 \cdot 0,035} = 0,14 \text{ мм}.$$

Определяется минимальная ширина проводника, мм, исходя из допустимого падения напряжения на нём:

$$b_{2\min} = \frac{\rho I_{\max} l}{U_{\text{доп}} t},$$

где ρ – удельное объёмное сопротивление, Ом·мм²/м ($\rho = 0,0175$ Ом·мм²/м); l – длина проводника, м ($l = 0,19$ м); $U_{\text{доп}}$ – допустимое напряжение, не превышающее 5% от напряжения питания, В ($U_{\text{доп}} = 1,5$),

$$b_{2\min} = \frac{0,0175 \cdot 0,5 \cdot 0,19}{1,5 \cdot 0,035} = 0,03 \text{ мм};$$

$$b_{\min} = \max \{b_{1\min}; b_{2\min}\} = \max \{0,14; 0,03\};$$

$$b_{\min} = 0,14 \text{ мм.}$$

Округляем до большего ближайшего значения, в соответствии с [10, 12]: $b_{\min} = 0,15$ мм, что соответствует третьему классу точности ПП.

Расчёт номинальных диаметров монтажных отверстий. С целью уменьшения типоразмеров отверстий на ПП примем для всех ЭРЭ, имеющих диаметры выводов:

$$0,6 \dots 0,7 \text{ мм}, \quad d_{31} = 0,7 \text{ мм},$$

$$0,8 \dots 0,9 \text{ мм}, \quad d_{32} = 0,9 \text{ мм},$$

$$0,9 \dots 1 \text{ мм}, \quad d_{33} = 1 \text{ мм}.$$

Номинальный диаметр монтажных металлизированных и неметаллизированных отверстий устанавливают, исходя из:

$$d = d_3 + |\Delta d_{\text{н.о}}| + r,$$

где d_3 – максимальный диаметр вывода установленного ЭРЭ, мм; r – разница между минимальным диаметром отверстия и максимальным диаметром вывода ЭРЭ ($r = 0,1 \dots 0,4$), мм; $\Delta d_{\text{н.о}}$ – нижнее предельное отклонение от номинального диаметра монтажного отверстия выбираем из [10, 12]:

$$d_1 = 0,7 + 0,1 + 0,1 = 0,9 \text{ мм};$$

$$d_2 = 0,9 + 0,1 + 0,1 = 1,1 \text{ мм};$$

$$d_3 = 1 + 0,1 + 0,1 = 1,2 \text{ мм}.$$

Рассчитанные значения d сводят к предпочтительному ряду отверстий:

$$0,7; 0,9; 1,1; 1,3 \text{ мм}.$$

Таким образом, получаем $d_1 = 0,9$ мм, $d_2 = 1,1$ мм, $d_3 = 1,3$ мм.

Максимальный диаметр просверлённого отверстия:

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15);$$

$$d_{\max} = d + \Delta d + 0,1,$$

где Δd – допуск на отверстия ($\Delta d = 0,1$ мм для $d \leq 1$ мм). Получаем:

$$d_{\max 1} = 0,9 + 0,1 + 0,1 = 1,1 \text{ мм};$$

$$d_{\max 2} = 1,1 + 0,1 + 0,1 = 1,3 \text{ мм};$$

$$d_{\max 3} = 1,3 + 0,1 + 0,1 = 1,5 \text{ мм}.$$

Рассчитаем диаметр контактных площадок. Минимальный эффективный диаметр контактной площадки:

$$D_{1\min} = 2(B_M + d_{\max}/2 + \delta D + \delta P),$$

где B_M – расстояние от края просверлённого отверстия до края контактной площадки (КП), мм ($B_M = 0,035$ мм); δD , δP – допуски на расположение отверстий и КП, мм ($\delta D = 0,08$ мм; $\delta P = 0,2$ мм):

$$D_{1\min 1} = 2(0,035 + 1,1/2 + 0,08 + 0,2) = 1,45 \text{ мм};$$

$$D_{1\min 2} = 2(0,035 + 1,3/2 + 0,08 + 0,2) = 1,62 \text{ мм};$$

$$D_{1\min 3} = 2(0,035 + 1,5/2 + 0,08 + 0,2) = 1,71 \text{ мм}.$$

Минимальный диаметр КП, изготавливаемых электрохимическим способом получения рисунка:

$$D_{\min} = D_{1\min} + 0,03;$$

$$D_{\min 1} = 1,45 + 0,03 \approx 1,5 \text{ мм};$$

$$D_{\min 2} = 1,62 + 0,03 \approx 1,7 \text{ мм};$$

$$D_{\min 3} = 1,71 + 0,03 \approx 1,8 \text{ мм}.$$

Максимальный диаметр КП:

$$D_{\max} = D_{\min} + (0,02 \dots 0,06),$$

$$D_{\max} = D_{\min} + 0,02.$$

Тогда:

$$D_{\max 1} = 1,5 + 0,02 = 1,52 \text{ мм};$$

$$D_{\max 2} = 1,7 + 0,02 = 1,72 \text{ мм};$$

$$D_{\max 3} = 1,8 + 0,02 = 1,82 \text{ мм}.$$

Таким образом, для проектируемой ПП получаем набор значений для отверстий и контактных площадок, приведённых в табл. 3.7.

3.7. Значения диаметров ПП

Для отверстий		Для ПП	
диаметр	значение, мм	диаметр	значение, мм
d_1	0,9	$D_{\min 1}$	1,5
d_2	1,1	$D_{\min 2}$	1,7
d_3	1,3	$D_{\min 3}$	1,8
$d_{\max 1}$	1,1	$D_{\max 1}$	1,52
$d_{\max 2}$	1,3	$D_{\max 2}$	1,72
$d_{\max 3}$	1,5	$D_{\max 3}$	1,82

Определение ширины проводников. Минимальная ширина проводника ПП, изготавливаемой комбинированным позитивным методом получения рисунка.

$$b_{\min} = b_{1\min} + 1,5h_{\phi} + 0,03,$$

где $b_{1\min}$ – минимальная эффективная ширина проводника, мм; ($b_{1\min} = 0,25$ мм для плат 3-го класса точности).

Тогда:

$$b_{\min} = 0,15 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 \approx 0,23 \text{ мм.}$$

Максимальная ширина проводников:

$$b_{\max} = b_{\min} + (0,02 \dots 0,06);$$

$$b_{\max} = b_{\min} + 0,02;$$

$$b_{\max} = 0,23 + 0,02 = 0,25 \text{ мм.}$$

Из приведённых расчётов следует:

$$b_{\min} = 0,23 \text{ мм;}$$

$$b_{\max} = 0,25 \text{ мм.}$$

Определение минимального расстояния между элементами проводящего рисунка. Минимальное расстояние между проводником и ПП:

$$S_{1\min} = L_0 - [(D_{\max}/2 + \delta p) + (b_{\max}/2 + \delta L)],$$

где L_0 – расстояние между центрами рассматриваемых элементов, мм (1,25 мм – шаг координатной сетки); δL – допуск на расположение проводников ($\delta L = 0,05$ мм).

Тогда:

$$S_{1\min 1} = 1,25 - [(1,52/2 + 0,2) + (0,25/2 + 0,05)] = 0,44 \text{ мм;}$$

$$S_{1\min 2} = 1,25 - [(1,72/2 + 0,2) + (0,25/2 + 0,05)] = 0,35 \text{ мм};$$

$$S_{1\min 3} = 1,25 - [(1,82/2 + 0,2) + (0,25/2 + 0,05)] = 0,3 \text{ мм};$$

$$S_{2\min} = L_0 - (D_{\max} + 2\delta p).$$

Определяется $S_{2\min}$:

$$S_{2\min 1} = 1,25 - (1,52 + 2 \cdot 0,2) = 0,58 \text{ мм};$$

$$S_{2\min 2} = 2,5 - (1,72 + 2 \cdot 0,2) = 0,38 \text{ мм};$$

$$S_{2\min 2} = 2,5 - (1,82 + 2 \cdot 0,2) = 0,28 \text{ мм}.$$

Минимальное расстояние между двумя проводниками:

$$S_{3\min} = L_0 - (b_{\max} + 2\delta l);$$

$$S_{3\min} = 1,25 - (0,25 + 2 \cdot 0,05) = 0,9 \text{ мм}.$$

Таким образом, параметры печатного монтажа отвечают требованиям, предъявляемым к платам 3-го класса точности.

Расчёт электрических параметров печатной платы. Постоянный ток в печатных проводниках распределяется равномерно по его сечению при условии, что материал проводника однороден и не имеет локальных посторонних включений других веществ.

$$R = \rho L_{\text{п}} / bt_{\text{п}} = 0,02 \cdot 10^{-6} \cdot 190 / 0,25 \cdot 35 \cdot 10^{-6} = 0,13 \text{ Ом},$$

где ρ – удельное объёмное электрическое сопротивление проводника, Ом/м ($0,02 \cdot 10^{-6}$ Ом/м); $L_{\text{п}}$ – длина проводника, мм; b – ширина проводника, мм; $t_{\text{п}}$ – толщина проводника, мм.

Исходя из требования допустимого перегрева печатных проводников (80°C), экспериментально для них установлена допустимая плотность тока $\gamma_{\text{доп}}$ (150 А/мм^2). Исходя из этого, допустимый ток в печатных проводниках

$$I_{\max} = 10^{-3} \gamma_{\text{доп}} b L_{\text{п}};$$

$$I_{\max} = 10^{-3} \cdot 100 \cdot 0,25 \cdot 190 = 0,6 \text{ А}.$$

Из этой формулы следует, что для стабильной работы печатных проводников должно соблюдаться неравенство:

$$b \geq 10^3 I / \gamma_{\text{доп}} t_{\text{п}}; \quad 0,25 \geq 0,17.$$

Падение напряжения на печатных проводниках:

$$\Delta U = \rho [L_{\text{п}} / bt_{\text{п}}] = 0,02 \cdot 10^{-6} \cdot (110 / 0,5 \cdot 35 \cdot 10^{-6}) = 0,13 \text{ В}.$$

Ёмкость и индуктивность между печатными проводниками, используемыми в качестве линии связи в логических схемах, служат источником помех, оказывающих существенное влияние на работу аппаратуры. Ёмкость (пФ) между двумя параллельными печатными проводниками шириной b (мм), расположенными на одной стороне платы:

$$C = 1,06 \varepsilon_r L_{\text{п}} / Lg [2a/b + t_{\text{п}}];$$

$$C = \frac{1,06 \cdot 3,7 \cdot 10^{-9} \cdot 50}{\lg \left(\frac{2 \cdot 2}{0,25 + 35 \cdot 10^{-6}} \right)} = 1,25 \text{ пФ},$$

где $L_{\text{п}}$ – длина участка, на котором проводники параллельны друг другу, мм; ε_r – диэлектрическая проницаемость среды.

Рассчитанная ёмкость удовлетворяет требованиям.

Собственная индуктивность (мкГн) печатного проводника шириной b , мм; толщиной $t_{\text{п}}$ и длиной $L_{\text{п}}$, мм,

$$L = 0,02 l_{\text{п}} \left(\lg \frac{2l_{\text{п}}}{t_{\text{п}} + b} + 0,2235 \frac{t_{\text{п}} + b}{l_{\text{п}}} + 0,5 \right);$$

$$L = 0,02 \cdot 190 \left(\lg \frac{2 \cdot 190}{0,035 + 0,25} + 0,2235 \frac{0,035 + 0,25}{190} + 0,5 \right) = 15,7 \text{ мкГн}.$$

Рассчитанная индуктивность удовлетворяет требованиям.

Индуктивность двух параллельных печатных проводников шириной b , мм, расположенных с одной стороны печатной платы с зазором a , мм, с противоположным направлением тока в них:

$$L = 0,0004 L_{\text{п}} [\ln ((a + b) / (t_{\text{п}} + b)) - (a - b) / L_{\text{п}} + 0,2235 (t_{\text{п}} + b) / L_{\text{п}} + 1,5];$$

$$L = 0,0004 \cdot 190 \left(\ln \frac{2 + 0,25}{0,035 + 0,25} - \frac{2 - 0,25}{190} + 0,2235 \frac{0,035 + 0,25}{190} + 1,5 \right) =$$

$$= 0,16 \text{ мкГн}.$$

Проводники различной длины, расположенные параллельно по одну сторону печатной платы, обладают взаимной индуктивностью, определяемой формулой

$$M = 2l \ln \left(\frac{2l}{a + b} \right);$$

$$M = 2 \cdot 0,019 \ln \left(\frac{2 \cdot 0,019}{2 + 0,25} \right) = 19,2 \text{ мкГн}.$$

Рассчитанная индуктивность удовлетворяет требованиям.

3.4.8.3. Расчёт печатной платы на механические воздействия

Целью расчёта является определение действующих на элементы изделия перегрузок при действии вибрации и ударов [14, 54].

Расчёт на воздействие вибраций.

1. Определяем частоту собственных колебаний для платы, закреплённой в 4-х точках:

$$f_0 = \frac{\pi}{2a^2} \left(1 + \frac{a^2}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{M} ab},$$

где a – длина платы, мм ($a = 170$ мм = 0,17 м); b – ширина платы, мм; ($b = 110$ мм = 0,11 м); D – цилиндрическая жёсткость, Н·м, определяемая по формуле

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)},$$

где E – модуль упругости, Н/м² (для стеклотекстолита $E = 3,02 \cdot 10^{10}$ Н/м²); h – толщина ПП, м ($h = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м); ν – коэффициент Пуассона (для стеклотекстолита $\nu = 0,22$) [11, 13].

$$D = \frac{3,02 \cdot 10^{10} \cdot (1,5 \cdot 10^{-3})^3}{12(1-0,22^2)} = 21,16 \text{ Н·м},$$

где M – масса платы, г; $M = \rho V \cdot 5$, 5 – так как много навесных элементов.

Для фольгированного стеклотекстолита выбираем из [11] $\rho = 2,05 \cdot 10^3$ кг/м³.

$$M = 2,05 \cdot 10^3 \cdot 0,170 \cdot 0,11 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 5 = 0,29 \text{ кг}.$$

Тогда:

$$f_0 = \frac{\pi}{2 \cdot 0,17^2} \left(1 + \frac{0,17^2}{0,11^2} \right) \sqrt{\frac{21,16}{0,2} \cdot 0,17 \cdot 0,11} = 358,92 \text{ Гц}.$$

Проверяем условие вибропрочности по правилу октавы $f_0/f > 1$, где f – частота колебаний блока ($f = 70$ Гц, см. ГОСТ 16019–01 для 4-й группы),

$$258,92/70 = 3,7;$$

$$3,7 > 2.$$

Следовательно, проектируемое устройство отвечает необходимым требованиям по вибропрочности.

Расчёт на действие удара. Ударные воздействия характеризуются формой и параметрами ударного импульса. Следует иметь в виду, что максимальное воздействие на механическую систему оказывает импульс прямоугольной формы. Методика расчёта заключается в следующем.

1. Определяется условная частота ударного импульса

$$\omega = \pi / \tau,$$

где τ – длительность ударного импульса, мс; $\tau = 10 \text{ мс} = 0,01 \text{ с}$, (см. ГОСТ 16019–01),

$$\omega = \pi / 0,01 = 314 \text{ рад/с}.$$

2. Рассчитывается коэффициент передачи при ударе:

а) для прямоугольного импульса

$$K'_y = 2 \sin \frac{\pi}{2\nu};$$

б) для полусинусоидального импульса

$$K''_y = \frac{2\nu}{\nu^2 - 1} \cos \frac{\pi}{2\nu},$$

где ν – коэффициент расстройки:

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi \cdot f_0} = \frac{314}{2 \cdot 3,14 \cdot 258,92} \approx 0,19;$$

$$K'_y = 2 \sin \frac{3,14}{2 \cdot 0,19} = 0,23;$$

$$K''_y = \frac{2 \cdot 0,19}{0,19^2 - 1} \cos \frac{3,14}{2 \cdot 0,19} = 0,016.$$

3. Рассчитывается ударное ускорение

$$a_y = H_y K_y,$$

где H_y – амплитуда ускорения ударного импульса, м/с²; $H_y = 147 \text{ м/с}^2$ (исходя из 4-й группы по механическим воздействиям),

$$a'_y = 147 \cdot 0,23 = 33,81 \text{ м/с}^2,$$

$$a''_y = 147 \cdot 0,016 = 2,5 \text{ м/с}^2.$$

4. Определяется максимальное относительное перемещение:

а) для прямоугольного импульса

$$Z'_{\max} = \frac{2H_y}{2\pi f_0} \sin \frac{\pi}{2\nu} = \frac{2 \cdot 98}{2 \cdot 3,14 \cdot 258,92} \sin \frac{3,14}{2 \cdot 0,19} = 0,11 \text{ мм};$$

б) для полусинусоидального импульса

$$Z''_{\max} = \frac{2H_y}{2\pi f_0} \frac{\nu}{\nu^2 - 1} \cos \frac{\pi}{2\nu} = \frac{2 \cdot 98}{2 \cdot 3,14 \cdot 258,92} \frac{0,19}{0,19^2 - 1} \cos \frac{3,14}{2 \cdot 0,19} = 0,0095 \text{ мм}.$$

5. Проверяется выполнение условия ударопрочности по следующим критериям:

а) для ПП с ЭРЭ $Z_{\max} < 0,003b$, где b – размер стороны ПП, параллельно которой установлены ЭРЭ, $b = 0,170$ м:

$$Z_{\max} < 0,003 \cdot 0,17 = 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ м};$$

$$4,0 \cdot 10^{-5} \text{ м} < 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ м (верно);}$$

$$0,8 \cdot 10^{-5} \text{ м} < 3,75 \cdot 10^{-4} \text{ м (верно);}$$

б) для ЭРЭ ударное ускорение должно быть меньше допустимого, т.е. $a_y < a_{y,\text{доп}}$, где $a_{y,\text{доп}}$ – наименьшее ударное ускорение, которое имеет ЭРЭ на печатном узле. Исходя из элементной базы, наименьшее ударное ускорение будет иметь трансформатор ТОТ44 с $a_{y,\text{доп}} = 150 \text{ м/с}^2$,

$$2,5 \text{ м/с}^2 < 150 \text{ м/с}^2;$$

$$33,81 \text{ м/с}^2 < 150 \text{ м/с}^2.$$

Условие ударопрочности выполняется.

Расчёт ускорения при падении блока ЭС. Частным случаем ударного воздействия является удар при падении прибора. Действующая при этом перегрузка находится следующим образом:

а) определяется относительная скорость соударения

$$V_0 = V_y + V_{\text{от}},$$

где $V_y = \sqrt{2gH}$ – скорость прибора в момент соударения, м/с; H – высота падения прибора, м; $H = 0,75$ м; $V_{\text{от}} = V_y K_B$ – скорость отскока, м/с; K_B – коэффициент восстановления скорости, выбирается из [11], $K_B = 0,9$;

$$V_y = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,75} = 3,83 \text{ м/с};$$

$$V_{от} = 3,83 \cdot 0,9 = 3,45 \text{ м/с};$$

$$V_0 = 3,83 + 3,45 = 7,28 \text{ м/с};$$

б) вычисляется действующее на прибор ускорение

$$a_{п} = V_0^2 / 2H = 7,28^2 / 2 \cdot 0,75 = 31,1 \text{ м/с}^2.$$

Условие прочности проверяется по неравенству $a_{п} < a_{п,доп}$. Для наиболее уязвимого элемента исследуемой схемы, например, трансформатора (ТОТ44) $a_{п,доп} = 150 \text{ м/с}^2$.

$$a_{п} = 31,1 < a_{п,доп} = 150.$$

Вычисленное ускорение, действующее на блок при падении его с высоты 0,75 м, много меньше допустимого ускорения для самого уязвимого элемента. Следовательно, проектируемое устройство отвечает необходимым требованиям ударпрочности при падении ЭС.

В учебнике П.П. Гелля «Конструирование и микроминиатюризация РЭА» [14] приведены примеры разработанных печатной платы и сборочного чертежа печатной платы.

3.4.8.4. Расчёт теплонагруженных элементов функционального узла

Расчёт теплонагруженных элементов проводится по следующей методике [13, 14].

1. При расчёте теплового режима блоков ЭС используют приближённые методы анализа и расчёта. Целью расчёта является определение температур нагретой зоны и среды вблизи поверхности ЭРЭ, необходимых для оценки надёжности.

Для определения температуры корпуса ЭРЭ расчёт проводится в следующей последовательности.

1.1. Определяется эквивалентный коэффициент теплопроводности модуля при отсутствии теплопроводных шин

$$\lambda_{эkv} = \lambda_{п},$$

где $\lambda_{п} \approx 0,25$ – теплопроводность материала основания платы (стеклотекстолит), Вт/(м·К).

1.2. Определяется эквивалентный радиус корпуса ЭРЭ

$$R = \sqrt{\frac{S_{0ис}}{\pi}},$$

где $S_{0ис}$ – площадь основания ЭРЭ.

В качестве примера рассмотрим расчёт R для следующих элементов блока РЭС:

$$- \text{ОР2177} \quad R = \sqrt{\frac{112}{\pi}} \approx 40,4 \text{ мм} = 40,4 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$- \text{ОР4177} \quad R = \sqrt{\frac{314}{\pi}} \approx 10 \text{ мм} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

- 564ИЕ10, 564КП1, 564КП2, 564ПУ4

$$R = \sqrt{\frac{108}{\pi}} \approx 5,9 \text{ мм} = 5,9 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

- 564КТ3, 564ЛА7, 564ЛА8, 564ЛН2, 564ЛП2, 564ЛП13,

$$564ТМ2, 1НТ251 \quad R = \sqrt{\frac{82,5}{\pi}} \approx 5,1 \text{ мм} = 5,1 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$- 1478ФН1У \quad R = \sqrt{\frac{38,5}{\pi}} \approx 3,5 \text{ мм} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$- 3ОТ110Б \quad R = \sqrt{\frac{254,5}{\pi}} \approx 9 \text{ мм} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$- \text{Р1-12-0,125} \quad R = \sqrt{\frac{14}{\pi}} \approx 2,1 \text{ мм} = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$- \text{Р1-12-0,5} \quad R = \sqrt{\frac{40}{\pi}} \approx 3,6 \text{ мм} = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$- \text{SM4001} \quad R = \sqrt{\frac{18,8}{\pi}} \approx 2,4 \text{ мм} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$- 2ДС523ВР \quad R = \sqrt{\frac{25}{\pi}} \approx 2,8 \text{ мм} = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

1.3. Рассчитывается коэффициент распространения теплового потока

$$m = \sqrt{\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\delta_{\text{п}} \lambda_{\text{ЭКВ}}}},$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты теплообмена с 1-й и 2-й сторон ПП; $\delta_{\text{п}} = 2 \text{ мм}$ – толщина ПП функционального узла.

Для естественного теплообмена $\alpha_1 + \alpha_2 = 17 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

$$m = \sqrt{\frac{17}{2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25}} = 184,4 \text{ м}^{-1}.$$

1.4. Определяется искомый перегрев поверхности корпуса ЭРЭ [14]

$$\Delta t_{\text{ис}} = \Delta t_{\text{в}} + k \left[\frac{Q}{k_{\alpha}(S_{\text{ис}} - S_{0\text{ис}}) + \frac{1}{\frac{\delta_3}{\lambda_3 \pi R^2} + \frac{1}{B + M\pi R \lambda_{\text{экр}} \delta_{\text{п}} m \frac{K_1(mR)}{K_0(mR)}}}} \right] +$$

$$+ \sum_{i=1}^N \frac{Q_i \frac{K_0(mr_i)}{K_0(mR_i)}}{k_{\alpha i}(S_{\text{ис}i} - S_{0\text{ис}i}) \left\{ 1 + \left[\frac{\delta_{3i}}{\lambda_{3i} \pi R_i^2} + \frac{1}{k_{\alpha i}(S_{\text{ис}i} - S_{0\text{ис}i})} \right] \right\}}$$

$$\dots \rightarrow \overline{\left(B_i + M\pi R_i \lambda_{\text{экр}} \delta_{\text{п}} m \frac{K_1(mR_i)}{K_0(mR_i)} \right)},$$

где $\Delta t_{\text{в}}$ – среднеобъёмный перегрев воздуха в блоке, °С, принимаем $\Delta t_{\text{в}} = 0$; B и M – условные величины, введённые для упрощения формы записи; при двустороннем расположении корпусов ЭРЭ: $B = 0$, $M = 1$; k – эмпирический коэффициент: для корпусов ЭРЭ, центр которых отстоит от торцов ПП на расстоянии менее $3R$ $k = 1,14$; для корпусов ЭРЭ, центр которых отстоит от торцов ПП на расстоянии более $3R$ $k = 1$ (ОР4177 $k = 1,14$; остальные ЭРЭ имеют $k = 1$); $r_i \leq 10/m$ – расстояние до ближайшего ЭРЭ; k_{α} – коэффициент теплоотдачи от корпусов ЭРЭ, который определяется по графику, приведённому на рис. 3.7.

Для элементов в рассмотренном примере k_{α} будет равно следующей величине:

- ОР4177 $k_{\alpha} \approx 30$ Вт/(м²·К);
- ОР2177 $k_{\alpha} \approx 50$ Вт/(м²·К);
- 564ИЕ10, 564КП1, 564КП2, 564ПУ4 $k_{\alpha} \approx 50$ Вт/(м²·К);
- 564КТ3, 564ЛА7, 564ЛА8, 564ЛН2, 564ЛП2, 564ЛП13, 564ТМ2, 1НТ251 $k_{\alpha} \approx 50$ Вт/(м²·К);
- 1478ФН1У $k_{\alpha} \approx 50$ Вт/(м²·К);
- 3ОТ110Б $k_{\alpha} \approx 50$ Вт/(м²·К);
- Р1-12-0,125 $k_{\alpha} \approx 50$ Вт/(м²·К);
- Р1-12-0,5 $k_{\alpha} \approx 50$ Вт/(м²·К);
- SM4001 $k_{\alpha} \approx 50$ Вт/(м²·К);
- 2ДС523ВР $k_{\alpha} \approx 50$ Вт/(м²·К).

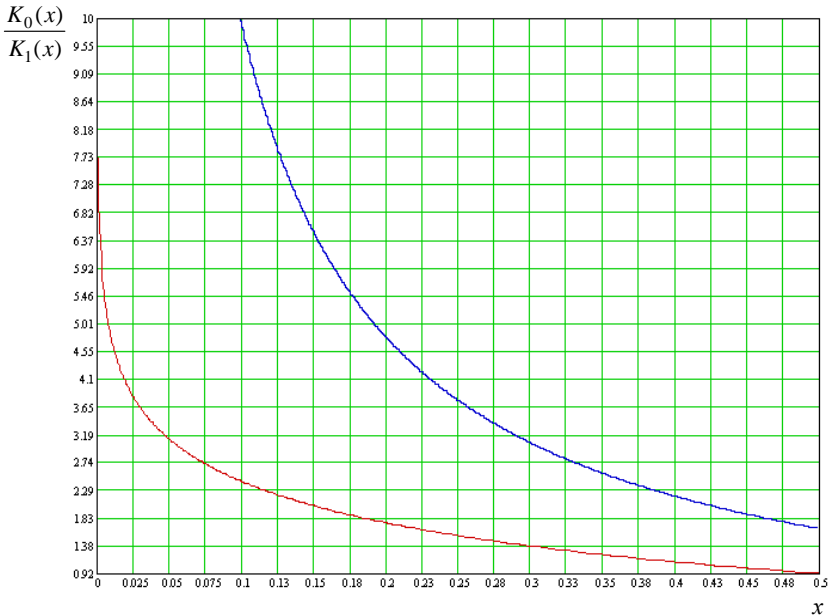


Рис. 3.7. Модифицированные функции Бесселя:
 x – минимальное расстояние до приближающегося ЭРЭ

K_1 и K_0 – модифицированные функции Бесселя, их значения определяем по графику (рис. 3.7).

- ОР4177 $K_1/K_0 \approx 1$;
- ОР2177 $K_1/K_0 \approx 1$;
- 564ИЕ10, 564КП1, 564КП2, 564ПУ4 $K_1/K_0 \approx 2$;
- 564КТ3, 564ЛА7, 564ЛА8, 564ЛН2, 564ЛП2, 564ЛП13, 564ТМ2, 1НТ251 $K_1/K_0 \approx 2$;
- 1478ФН1У $K_1/K_0 \approx 2$;
- 3ОГ110Б $K_1/K_0 \approx 2$;
- Р1-12-0,125 $K_1/K_0 \approx 2$;
- Р1-12-0,5 $K_1/K_0 \approx 2$;
- SM4001 $K_1/K_0 \approx 2$;
- 2ДС523ВР $K_1/K_0 \approx 2$.

N – число i -х корпусов ЭРЭ, расположенных вокруг корпуса рассматриваемого ЭРЭ:

- ОР4177 $N = 5$;
- ОР2177 $N = 3$;
- 564ИЕ10, 564КП1, 564КП2, 564ПУ4 $N = 4$;

- 564КТ3, 564ЛА7, 564ЛА8, 564ЛН2, 564ЛП2, 564ЛП13, 564ТМ2, 1НТ251 $N = 4$;
- 1478ФН1У $N = 3$;
- 3ОТ110Б $N = 1$;
- Р1-12-0,125 $N = 4$;
- Р1-12-0,5 $N = 2$;
- SM4001 $N = 2$;
- 2ДС523ВР $N = 2$.

$Q_{ис}$ – мощность, рассеиваемая используемой интегральной схемы (ИС).

- ОР4177 $Q_{ис} = 0,12$ Вт;
- ОР2177 $Q_{ис} = 0,12$ Вт;
- 564ИЕ10, 564КП1, 564КП2, 564ПУ4 $Q_{ис} = 0,12$ Вт;
- 564КТ3, 564ЛА7, 564ЛА8, 564ЛН2, 564ЛП2, 564ЛП13, 564ТМ2, 1НТ251 $Q_{ис} = 0,15$ Вт;
- 1478ФН1У $Q_{ис} = 0,12$ Вт;
- 3ОТ110Б $Q_{ис} = 0,12$ Вт;
- Р1-12-0,125 $Q_{ис} = 0,125$ Вт;
- Р1-12-0,5 $Q_{ис} = 0,5$ Вт;
- SM4001 $Q_{ис} = 0,15$ Вт;
- 2ДС523ВР $Q_{ис} = 0,15$ Вт.

$S_{исi}$ – суммарная поверхностная площадь используемых ИС.

- ОР4177 $S_{ис} = 112 \text{ мм}^2 = 112 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$;
- ОР2177 $S_{ис} = 314 \text{ мм}^2 = 314 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$;
- 564ИЕ10, 564КП1, 564КП2, 564ПУ4 $S_{ис} = 756 \text{ мм}^2 = 756 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$;
- 564КТ3, 564ЛА7, 564ЛА8, 564ЛН2, 564ЛП2, 564ЛП13, 564ТМ2, 1НТ251 $S_{ис} = 825 \text{ мм}^2 = 825 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$;
- 1478ФН1У $S_{ис} = 154 \text{ мм}^2 = 154 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$;
- 3ОТ110Б $S_{ис} = 1272,5 \text{ мм}^2 = 1272,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$;
- Р1-12-0,125 $S_{ис} = 742 \text{ мм}^2 = 742 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$;
- Р1-12-0,5 $S_{ис} = 40 \text{ мм}^2 = 40 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$;
- SM4001 $S_{ис} = 56,4 \text{ мм}^2 = 56,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$;
- 2ДС523ВР $S_{ис} = 50 \text{ мм}^2 = 50 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.

δ_{zi} – зазор между ПП и ЭРЭ:

$$\delta_{zi} = 1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ мм};$$

$\lambda_{zi} \approx 0,25 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ – коэффициент теплопроводности материала, заполняющего зазор между ПП и ЭРЭ (воздух).

– ОР4177

В качестве примера выполнен расчёт перегрева корпусов ЭРЭ, указанных в п. 3.5.8.4.

$$\begin{aligned} \Delta t_{ис2} = & 1,14 \left[\frac{0,12}{30(112-112) \cdot 10^{-6} + \frac{1}{\frac{10^{-3}}{0,025\pi(40,4 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{\pi(40,4 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 1}}} \right] + \\ & + \frac{4 \cdot 0,125 \frac{0,8}{35}}{\left[50(742-14) \cdot 10^{-6} \right] \left[1 + \left[\frac{10^{-3}}{0,025\pi(2,1 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{50(742-14) \cdot 10^{-6}} \right] \pi \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 2 \right]} + \\ & + \frac{0,11 \frac{0,8}{1,35}}{\left[50(676-33,8) \cdot 10^{-6} \right] \left[1 + \left[\frac{10^{-3}}{0,025\pi(3,3 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{50(676-33,8) \cdot 10^{-6}} \right] \times \right.} \rightarrow \\ & \left. \rightarrow \frac{0,11 \frac{0,8}{1,35}}{\times \pi \cdot 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 2} \right] = 14,064 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

– ОР2177:

$$\begin{aligned} \Delta t_{ис3} = & 1 \left[\frac{0,12}{50(628-314) \cdot 10^{-6} + \frac{1}{\frac{10^{-3}}{0,025\pi(10 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{\pi(10 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 1}}} \right] + \\ & + \frac{3 \cdot 0,125 \frac{0,8}{35}}{\left[50(742-14) \cdot 10^{-6} \right] \left[1 + \left[\frac{10^{-3}}{0,025\pi(2,1 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{50(742-14) \cdot 10^{-6}} \right] \times \right.} \rightarrow \\ & \left. \rightarrow \frac{3 \cdot 0,125 \frac{0,8}{35}}{\times \pi \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 2} \right] = 17,253 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

– 564ИЕ10, 564КП1, 564КП2, 564ПУ4:

$$\Delta t_{ис4} = 1 \left[\frac{0,12}{50(756-108) \cdot 10^{-6} + \frac{1}{\frac{10^{-3}}{0,025\pi(5,9 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{\pi(5,9 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 2}}} \right] +$$

$$+ \frac{3 \cdot 0,125 \frac{0,8}{3,5}}{\left[50(742-14) \cdot 10^{-6} \right] \left[1 + \left[\frac{10^{-3}}{0,025\pi(2,1 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{50(742-14) \cdot 10^{-6}} \right] \pi \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 2 \right]} +$$

$$+ \frac{0,12 \frac{0,8}{0,08}}{\left[50(825-82,5) \cdot 10^{-6} \right] \left[1 + \left[\frac{10^{-3}}{0,025\pi(10,4 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{50(825-82,5) \cdot 10^{-6}} \right] \right]} \times$$

$$\rightarrow \frac{0,12 \frac{0,8}{0,08}}{\times \pi \cdot 10,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 2} = 21,327 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

– 564КТ3, 564ЛА7, 564ЛА8, 564ЛН2, 564ЛП2, 564ЛП13, 564ТМ2, 1НТ251:

$$\Delta t_{ис5} = 1 \left[\frac{0,15}{50(756-108) \cdot 10^{-6} + \frac{1}{\frac{10^{-3}}{0,025\pi(5,1 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{\pi(5,1 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 2}}} \right] +$$

$$+ \frac{3 \cdot 0,125 \frac{0,8}{3,5}}{\left[50(742-14) \cdot 10^{-6} \right] \left[1 + \left[\frac{10^{-3}}{0,025\pi(2,1 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{50(742-14) \cdot 10^{-6}} \right] \pi \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 2 \right]} +$$

$$+ \frac{0,12 \frac{0,8}{0,08}}{\left[50(825-82,5) \cdot 10^{-6} \right] \left[1 + \left[\frac{10^{-3}}{0,025\pi(10,4 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{50(825-82,5) \cdot 10^{-6}} \right] \right]} \times$$

$$\rightarrow \frac{0,12 \frac{0,8}{0,08}}{\times \pi \cdot 10,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 2} = 22,252 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

– 1478ФН1У:

$$\Delta t_{\text{ис6}} = 1 \left[\frac{0,12}{50(154 - 38,5) \cdot 10^{-6} + \frac{1}{\frac{10^{-3}}{0,025\pi(3,5 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{\pi(3,5 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 2}}} \right] +$$

$$+ \frac{3 \cdot 0,125 \frac{0,8}{3,5}}{\left[50(742 - 14) \cdot 10^{-6} \right] \left[1 + \left[\frac{10^{-3}}{0,025\pi(2,1 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{50(742 - 14) \cdot 10^{-6}} \right] \pi \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 2 \right]} =$$

= 19,188 °C.

– 30Т110Б:

$$\Delta t_{\text{ис7}} = 1 \left[\frac{0,12}{50(1272,5 - 254,5) \cdot 10^{-6} + \frac{1}{\frac{10^{-3}}{0,025\pi(9 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{\pi(9 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 2}}} \right] +$$

$$+ \frac{0,12 \frac{0,8}{0,08}}{\left[50(825 - 82,5) \cdot 10^{-6} \right] \left[1 + \left[\frac{10^{-3}}{0,025\pi(10,4 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{50(825 - 82,5) \cdot 10^{-6}} \right] \pi \cdot 10,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 2 \right]} =$$

= 19,503 °C.

– P1-12-0,125:

$$\Delta t_{\text{ис9}} = 1 \left[\frac{0,125}{50(1028 - 14) \cdot 10^{-6} + \frac{1}{\frac{10^{-3}}{0,025\pi(2,1 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{\pi(2,1 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 2}}} \right] +$$

$$+ \frac{0,11 \frac{0,8}{1,3}}{\left[50(676 - 33,8) \cdot 10^{-6} \right] \left[1 + \left[\frac{10^{-3}}{0,025\pi(3,3 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{50(676 - 33,8) \cdot 10^{-6}} \right] \pi \cdot 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 2 \right]} +$$

$$+ \frac{3 \cdot 0,125 \frac{0,8}{3,5}}{\left[50(742 - 14) \cdot 10^{-6} \right] \left[1 + \left[\frac{10^{-3}}{0,025\pi(2,1 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{50(742 - 14) \cdot 10^{-6}} \right] \right]} \times$$

$$\rightarrow \frac{3 \cdot 0,125 \frac{0,8}{3,5}}{\left[\times \pi \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 2 \right]} = 13,61 \text{ °C.}$$

– P1-12-0,5:

$$\Delta t_{\text{ис}10} = 1 \left[\frac{0,5}{50(251-40) \cdot 10^{-6} + \frac{1}{\frac{10^{-3}}{0,025\pi(3,6 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{\pi(3,6 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 2}}} \right] +$$

$$+ \frac{2 \cdot 0,12 \cdot \frac{0,8}{0,08}}{\left[50(12725-2545) \cdot 10^{-6} \right] \left[1 + \frac{10^{-3}}{0,025\pi(9 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{50(12725-2545) \cdot 10^{-6}} \right] \pi \cdot 9 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 2} =$$

$$= 34,508 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

– SM4001:

$$\Delta t_{\text{ис}11} = 1 \left[\frac{0,15}{50(112,8-18,8) \cdot 10^{-6} + \frac{1}{\frac{10^{-3}}{0,025\pi(2,8 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{\pi(2,8 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 2}}} \right] +$$

$$+ \frac{2 \cdot 0,125 \cdot \frac{0,8}{3,5}}{\left[50(742-14) \cdot 10^{-6} \right] \left[1 + \frac{10^{-3}}{0,025\pi(2,1 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{50(742-14) \cdot 10^{-6}} \right] \pi \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 2} =$$

$$= 29,492 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

– 2ДС523ВР:

$$\Delta t_{\text{ис}12} = 1 \left[\frac{0,15}{50(100-25) \cdot 10^{-6} + \frac{1}{\frac{10^{-3}}{0,025\pi(2,8 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{\pi(2,8 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 2}}} \right] +$$

$$+ \frac{2 \cdot 0,12 \cdot \frac{0,8}{0,08}}{\left[50(1625-82,5) \cdot 10^{-6} \right] \left[1 + \frac{10^{-3}}{0,025\pi(10,4 \cdot 10^{-3})^2} + \frac{1}{50(825-82,5) \cdot 10^{-6}} \right] \pi \cdot 10,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 184,4 \cdot 2} =$$

$$= 35,746 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

1.5. Определяется температура поверхности корпусов ЭРЭ, приведённых в выше рассмотренном примере:

$$t_{\text{ис}} = t_0 + \Delta t_{\text{ис}},$$

- ОР4177 $t_{ис} = 20 + 14 = 34 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- ОР2177 $t_{ис} = 20 + 17 = 37 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 564ИЕ10, 564КП1, 564КП2, 564ПУ4 $t_{ис} = 20 + 21 = 41 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 564КТ3, 564ЛА7, 564ЛА8, 564ЛН2, 564ЛП2, 564ЛП13,
564ТМ2, 1НТ251 $t_{ис} = 20 + 22 = 42 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 1478ФН1У $t_{ис} = 20 + 19 = 39 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 3ОТ110Б $t_{ис} = 20 + 20 = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Р1-12-0,125 $t_{ис} = 20 + 14 = 34 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Р1-12-0,5 $t_{ис} = 20 + 35 = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- SM4001 $t_{ис} = 20 + 30 = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 2ДС523ВР $t_{ис} = 20 + 36 = 56 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

В результате проведённых расчётов можно сделать вывод о том, что температурный режим всех ЭРЭ блока ЭС соответствует указанной в примере группе эксплуатации и не требует искусственного охлаждения.

3.5. СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА

В квалификационной работе бакалавра при разработке ЭС осуществляется схемотехническое проектирование, заключающееся в разработке электрической принципиальной схемы устройства ЭС, её анализе, синтезе и расчёте с целью обеспечения заданного и оптимального алгоритма функционирования проектируемого изделия ЭС. Разработанное устройство при его эксплуатации должно обеспечивать пользователю надёжность функционирования, устойчивость к воздействию внутренних и внешних дестабилизирующих факторов, ремонтпригодность. Вследствие этого в выходных схемотехнических номинальных параметрах устройства должны быть предусмотрены допуски на предельно-допустимые условия его эксплуатации.

Если на защиту в бакалаврской работе выносятся в качестве специального задания устройство, входящее в состав блока ЭС или технической системы, то приводится структурная электрическая схема всего блока или системы, а для разрабатываемого устройства – функциональная и принципиальная электрическая схема, для которой проводится анализ, синтез и её расчёт.

При разработке электрической схемы необходимо, в первую очередь, изучить в результате проведения патентных исследований аналогии проектируемого устройства, их недостатки и преимущества. Проектирование должно быть направлено на устранение отмеченных недостатков. Далее рассматривается принцип построения устройства ЭС, на основе которого составляется структурная схема и проводится её анализ на соответствие техническому заданию.

Если схема удовлетворяет требованиям, то разрабатывается функциональная схема устройства, отражающая алгоритм функционирования ЭС, последовательность выполнения функций устройства. На функциональной схеме показываются также связи взаимодействия между составляющими компонентами, на которых указываются параметры и характеристики передаваемых сигналов. На основе функциональной схемы разрабатывается принципиальная электрическая схема проектируемого ЭС. Устройство может быть цифровым или аналоговым или совмещать аналоговые и цифровые блоки и элементы.

Цифровые устройства отличаются от аналоговых высокой технической эффективностью, определяемой такими техническими характеристиками, как высокая надёжность, помехоустойчивость, технологичность. Основным преимуществом аналоговых устройств является более высокое, чем у цифровых устройств, быстродействие [17].

При разработке электрической схемы реализуется следующая методика проектирования:

а) в соответствии с функциональной схемой выбирается элементная база;

б) разрабатывается принципиальная электрическая схема и приводится в пояснительной записке подробное её описание и назначение всех элементов;

в) выполняется анализ принципа действия устройства;

г) проводится расчёт параметров схемы: элементной базы и устройств (усилителей, генераторов, фильтров, аналого-цифровых преобразователей и др.);

д) если параметры схемы не соответствуют требованиям технического задания, то проводится повторный анализ работы электрической схемы устройства и замена элементов, не удовлетворяющих требованиям по параметрической группе.

При разработке электрических схем ЭС рекомендуется использовать программы их моделирования, например Electronics Workbench, MicroCAP [18, 19].

При анализе электрической схемы дипломник обязан знать физические процессы, происходящие в элементах и устройствах ЭС, их параметры и характеристики.

Важным при схемотехническом проектировании является согласование по входным и выходным параметрам разрабатываемой электрической схемы с другими структурными компонентами схемы, чтобы не нарушить алгоритм функционирования всего блока или электронной системы. Поэтому помимо анализа расчётных параметров необходимо анализировать осциллограммы выходных сигналов аналоговых и цифровых устройств.

При выборе элементной базы следует использовать новейшую современную элементную базу и приводить сравнительный анализ их

параметров и характеристик при обосновании выбора микропроцессоров, микроконтроллеров и других интегральных микросхем, а также транзисторов, усилителей и других аналоговых элементов.

Расчёт электрической схемы заключается в определении номиналов пассивных элементов схемы: резисторов, конденсаторов, индуктивностей и расчёте параметров и характеристик активных элементов и устройств: усилителей, блоков питания, фильтров и др. В результате расчёта цифровых устройств определяются их параметры: быстродействие, коэффициенты объединения по входу и разветвления по выходу, а также реализуемые логические функции.

Результаты расчёта и анализа позволяют сформировать рекомендации для тепловых расчётов, надёжности, электромагнитной совместимости при разработке конструкции и технологии изготовления проектируемого ЭС.

Примеры разработки и расчёта аналоговых и цифровых устройств приведены во многих учебниках и справочниках, в которых необходимо также изучить принцип действия элементов и устройств, теорию электрических цепей и сигналов, радиотехники [20 – 26].

Схемотехническое проектирование предполагает также модернизацию схемы аналога разработки. Например, совершенствование и модернизация усилительных устройств является неотъемлемой частью разработки радиоэлектронных средств. Совершенствование усилительных устройств рекомендуется осуществлять по следующим основным направлениям:

1. *Улучшение качественных характеристик усилителя:* точности выходных параметров и характеристик, стабильности и устойчивости работы, надёжности. Для повышения устойчивости усилительных устройств необходимо использовать разнообразную топологию печатных плат, которая влияет на ёмкость монтажа.

2. *Оптимизация качественно-количественных характеристик усилителя:* расширение диапазона усиливаемых частот, увеличение выходной мощности.

3. *Разработка архитектуры усилительных устройств* на основе широкого использования обратных связей для формирования входного и выходного сопротивлений, амплитудно-частотных характеристик, обеспечения стабильности коэффициента усиления, стабилизации рабочей точки активного элемента и других параметров, а также уменьшения искажений сигнала на выходе усилителя.

4. *Улучшение конструктивно-технологических* показателей связано с разработкой конструкции усилителя в микроминиатюрном исполнении с соблюдением требований стандартов по дизайну, эргономике, ремонтпригодности и применением элементной базы, созданной на основе новых физических процессов и технологий изготовле-

ния, применением высокотехнологических методов для изготовления печатной платы при изготовлении усилителя.

5. *Проведение математического моделирования* на компьютере при разработке усилительных устройств с целью выбора оптимального варианта схемотехнического решения, расчёта параметров и характеристик усилителя, выполнения метрологического анализа погрешностей измерения, анализа частотных и переходных характеристик с учётом отклонения и нестабильности параметров и характеристик усилителя при воздействии дестабилизирующих факторов.

6. *Разработка принципиальных электрических схем* усилителей с использованием новой современной элементной базы, отличающейся высокой стабильностью параметров, надёжностью и устойчивостью к воздействию дестабилизирующих факторов.

7. *Оптимизация схемотехнических решений* необходима для решения важнейшей задачи при передаче входных сигналов в усилителе – повышение линейности проходных передаточных характеристик усилителя, уменьшение шумов в усилителе и повышение чувствительности по входу.

8. *Для улучшения технико-экономических характеристик* рекомендуется замена в усилителе дорогостоящих компонентов с последующей модернизацией усилителя.

В дипломной работе, посвящённой теоретическим и экспериментальным исследованиям, при схемотехнической разработке рекомендуется выполнить, например, анализ зависимости точности изготовления используемой элементной базы на выходные параметры электрической схемы проектируемого устройства ЭС, или влияния условий эксплуатации ЭС на его структурные компоненты и выходные параметры. Дипломная работа также посвящается математическому моделированию и решению оптимизационных задач с использованием методов системного анализа и синтеза при схемотехническом проектировании с целью определения оптимальных параметров при функционировании ЭС.

Схемотехнический анализ, расчёт и моделирование ЭС рекомендуется выполнять с использованием стандартных известных пакетов прикладных программ. В настоящее время существуют программно-аппаратные средства, которые позволяют реализовать процесс разработки ЭС от этапа схемотехнической разработки в соответствии с техническим заданием, моделирования ЭС до этапа создания полного комплекта конструкторской документации на проектируемое изделие [27, 28].

Для изучения приборов и разработки на их базе устройств ЭС предлагаются оценочные и демонстрационные платы – Evaluation & demonstration board. Универсальным аппаратно-программным средством для замещения собой эмулируемого в электрической схеме микро-

контроллера является In-circuit emulator. Имитировать работу микроконтроллера можно с помощью программного симулятора Simulator. Отладка программы микроконтроллера для реализации алгоритма функционирования разрабатываемого ЭС осуществляется отладчиком Debugger. Для замещения постоянно запоминающих устройств (ПЗУ) при отладке схемы ЭС используются эмуляторы ПЗУ – ROM emulator. Программирование микроконтроллеров, запоминающих устройств, программируемых логических интегральных схем осуществляется с помощью программаторов Programmer. Для разработки микроконтроллеров широко используются интегрированные среды Integrated Development Environment, представляющие собой совокупность программных средств для разработки программного обеспечения и последующей компиляции [27, 28].

Схемотехническая реализация проектируемых ЭС в настоящее время осуществляется в основном на базе микроконтроллеров, разработчиками и изготовителями которых являются Microchip, Motorola, Atmel, Philips, STMicroelectronics, Texas Instruments.

Таким образом, в результате схемотехнического проектирования необходимо:

- выполнить анализ электрических структурной и функциональной схем ЭС;
- выбрать и обосновать применение используемой элементной базы;
- выполнить расчёт электрической принципиальной схемы ЭС, заключающийся в нагрузочном расчёте электрической принципиальной схемы, определении максимальной мощности, рассеиваемой блоком, и тока потребления блоком;
- описать подробно принцип работы проектируемого ЭС;
- подготовить рекомендации для разработки конструкции блока ЭС.

Итогом схемотехнического анализа является выработка рекомендаций для разработки конструкции проектируемого изделия ЭС и технологии его изготовления на основе разработанной электрической схемы на современной элементной базе в соответствии с техническим заданием и условиями эксплуатации.

3.6. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ БАКАЛАВРА

Технико-экономическое обоснование квалификационной работы бакалавра проводится на стадии технического проекта, когда возможно оценить предполагаемые затраты на изготовление электронного средства.

В технико-экономической части КРБ студент должен обосновать эффективность разработанной конструкции электронного средства, провести маркетинговый анализ и оценку существующих аналогов проектируемого электронного средства. Необходимо определить место разрабатываемого ЭС на рынке производственной продукции, его конкурентоспособность. Следует оценить целесообразность выпуска разрабатываемого ЭС в единичном, серийном или массовом производстве с точки зрения получения прибыли. В технико-экономическом обосновании КРБ необходимо исходить из того, что проектируемое ЭС должно по техническим характеристикам и эксплуатационным данным соответствовать мировым стандартам для аналогичных ЭС.

Технико-экономическое обоснование должно иметь следующее содержание [29 – 33]:

1. Маркетинговые исследования.
2. Расчёт производительности электронных средств.
3. Расчёт капитальных вложений единовременных затрат.
4. Расчёт себестоимости (смета затрат) и цены спроектированного электронного средства.
5. Оценка эффективности инвестиционного проекта.

Результаты расчёта экономической эффективности студент должен оформить в виде сводной таблицы технико-экономических показателей [29] и включить в состав графической части бакалаврской работы.

При выполнении технико-экономического обоснования квалификационной работы бакалавра необходимо руководствоваться рекомендациями и учебно-методическими пособиями, разработанными на кафедре экономического профиля [29 – 33].

3.7. РАБОЧАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Согласно техническому заданию в ходе подготовки квалификационной работы бакалавра разрабатывается комплект рабочей документации на проектируемое устройство.

Рекомендуется выполнять разработку документации при помощи САПР AutoCAD–2010.

Документация включает набор чертежей, схем и плакатов.

Схема электрическая структурная поясняет принцип функционирования и взаимосвязь между основными функциональными элементами проектируемого устройства. Описание к данной схеме приводится в соответствующем разделе дипломного проекта.

Компоновочный чертёж устройства ЭС иллюстрирует принцип размещения (компоновки) основных частей, входящих в проектируемое устройство, и является графическим пояснением к компоновочным расчётам.

Сборочный чертёж устройства графически иллюстрирует взаимодействие и пространственное положение деталей, сборочных единиц и других элементов устройства.

Приводятся также чертежи деталей, входящих в состав проектируемого блока. Основные геометрические параметры деталей и их обоснование приведены в тепловых расчётах проектируемого устройства.

Схема электрическая принципиальная устройства ЭС разрабатывается на основании проведённого обзора аналогичных устройств, анализа схемотехнических решений и электрического моделирования на персональной ЭВМ.

Сборочный чертёж блока ЭС показывает пространственное расположение и крепление деталей и сборочных единиц конструкции блока.

Чертёж печатной платы – это чертёж детали, которая служит для установки электрорадиоэлементов и интегральных микросхем, элементов, входящих в устройство ЭС. Данный чертёж разрабатывается на основании принципиальной электрической схемы и сборочного чертежа проектируемого функционального узла. Например, печатная плата является двухсторонней. Способ изготовления – комбинированный позитивный с металлизацией отверстий. По приведённым расчётам ширины проводящего рисунка диаметров контактных площадок и монтажных отверстий выбирается третий класс точности изготовления печатной платы с толщиной дорожек 0,3 мм.

На плакате «Экономические связи предприятия» наглядно показывается один из возможных вариантов построения экономических связей между разработчиком, заказчиком, производителем продукта и поставщиками комплектующих. Экономические связи формируются в результате маркетинговых исследований существующего рынка поставщиков электронных компонентов для проектируемого устройства ЭС. В качестве предприятия-изготовителя выбирается предприятие, занимающееся разработкой и изготовлением различных средств связи.

В сводной таблице технико-экономических показателей сведены все основные технико-экономические параметры изделия: годовой объём выпуска изделия, годовая производительность, основные эксплуатационно-технологические показатели; рассчитанные: себестоимость изделия, его рыночная цена, капитальные вложения производителя, годовая экономия себестоимости, срок окупаемости и экономический эффект.

Этапы и сроки выполнения бакалаврской работы представлены на плакате в виде диаграммы Ганта.

Кроме того, разрабатываются технологические процессы сборки блока и изготовления печатной платы проектируемого устройства.

Процесс разработки конструкторской документации на устройство ЭС проводится с применением системы автоматизированной разра-

ботки печатных плат P-CAD (указывается год разработки программы P-CAD).

При разработке электрической схемы первоначально создаётся библиотека электрорадиоэлементов, входящих в разрабатываемую принципиальную электрическую схему. Каждый элемент этой библиотеки представляет собой совокупность двух компонентов: корпуса и символа. Корпус характеризует основные габариты элемента, занимаемые на плате. Символ представляет собой условное графическое изображение элемента схемы, изображённого в соответствии со стандартом ЕСКД.

Разработку элементов рекомендуется проводить в подпрограмме Pattern Editor. Разработка условных графических изображений элементов следует проводить в подпрограмме Symbol Editor.

Рекомендуется в подпрограмме Schematic создавать электрическую принципиальную схему устройства с использованием символов разработанной библиотеки. Затем генерируется файл связей (netlist), который содержит перечни элементов и списки связей между ними.

В подпрограмме PCB загружается файл связей и создаётся файл размещения элементов с расширением .pcb. В данной подпрограмме проводится компонование элементов в плате. Процесс компонования проводится согласно правилу двух минимумов: минимума длины связей и минимума числа пересечений. После этого полученный файл загружается в подпрограмму автоматической разводки печатных плат – Shape route, в которой задаются следующие параметры: толщина проводников, диаметры контактных площадок, шаг координатной сетки, минимальное расстояние между проводниками. Данные параметры получаются при расчёте рисунка печатной платы. Таким образом, формируется трассировка печатных проводников и компоновка элементов на плате.

3.8. ПРОИЗВОДСТВО ПРОДУКТА

3.8.1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭС В КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА

В технологической части квалификационной работы выполняется оценка технологичности конструкции ЭС, разрабатываются технологические процессы сборки блока ЭС, а также изготовления детали. Технологический процесс изготовления разрабатывается для печатной платы, на которой размещаются элементы разрабатываемой электрической принципиальной схемы. Кроме того, приводится экономическое обоснование выбранного варианта сборки блока, обосновывается применяемое технологическое оборудование и оснастки. Разработка технологических процессов безусловно предполагает применение механизации и автоматизации технологических процессов производства ЭС.

При разработке технологии производства ЭС студент должен определить, в первую очередь, тип производства, так как в зависимости от этого будет проводиться построение технологических процессов, оценка технологичности конструкции ЭС. Оценка технологичности проводится на основе рассчитанного комплексного показателя технологичности, который должен соответствовать нормативному показателю технологичности для соответствующего типа производства, рассматриваемом в дипломном проекте.

Проектирование технологического процесса изготовления печатной платы основывается на расчёте конструкторско-технологических параметров печатного монтажа с проведением их анализа по постоянному и переменному току. В зависимости от рассчитанных параметров выбирается метод изготовления печатных плат и класс плотности печатного монтажа.

Разработка технологических процессов начинается с анализа существующих техпроцессов для выбранного типа производства, сравнения их по производительности, себестоимости, качеству изготовления изделий ЭС, а также рассматривается возможность применения типового техпроцесса сборки блока и изготовления печатной платы. Технологический процесс сборки изделия ЭС включает процессы механической сборки, электрического монтажа, настройки, регулировки и контроля.

В результате разработки технологических процессов сборки блока ЭС и изготовления печатной платы создаётся комплект технологической документации. В соответствии с ГОСТ ЕСТД составляются маршрутные карты, ведомости материалов и оснастки. При выборе технологического оборудования и оснастки следует осуществлять механизацию и автоматизацию технологических операций изготовления печатной платы сборки, монтажа, контроля и регулировки проектируемого изделия ЭС.

3.8.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА

Основным направлением развития производства, подготовки предприятия к выпуску и освоению новой продукции является непрерывное совершенствование технологической подготовки производства (ТПП).

ТПП представляет собой систему производственно-технологических процессов, обеспечивающую на производстве выпуск изделий ЭС в соответствии с техническим заданием на изготовление и с заданным уровнем качества.

Технологическая подготовка производства осуществляется на основе единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП) [34]. ЕСТПП – это единая система государственных стандар-

тов, регламентирующих все этапы технологической подготовки производства. Применение ЕСТПП способствует повышению качества выпускаемых изделий и эффективности производства в целом на всех этапах организации и управления технологической подготовкой производства на основе использования прогрессивных наукоёмких технологий изготовления радиоэлектронных средств и методов управления ТПП.

Основные задачи ЕСТПП:

- обеспечение подготовки производства к выпуску изделий в сокращённые сроки;
- выпуск изделий ЭС с минимальными затратами на изготовление в соответствии с техническим заданием и требованиями качества.

ЕСТПП определяет для любого типа производства единый подход к организации и технологической подготовке производства, преобразования его к выпуску новой продукции, применению новейших разработок технологического оборудования и оснастки, новых прогрессивных методов изготовления изделий ЭС, к повышению степени механизации и автоматизации производства, к разработке высокопроизводительных технологических процессов изготовления изделий, автоматизированных систем технологической подготовки и управления производством.

На основе ЕСТПП разрабатываются отраслевые системы технологической подготовки производства (ОСТПП), которые учитывают особенности рассматриваемой отрасли.

ЕСТПП создана на основе следующих общетехнических стандартов: Единой системы технологической документации (ЕСТД), Единой системы конструкторской документации (ЕСКД), Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ), Единой системы программной документации (ЕСПД), Единой системы аттестации качества продукции (ЕСК), Единой системы классификации и кодирования технико-экономической информации (ЕСКК).

ЕСТД определяет единую комплектность и систему обеспечения технологической документации, учёт применяемости деталей, сборочных единиц и оснастки, нормативную и справочную информацию. Применение ЕСТД позволяет осуществить автоматизацию при разработке технологической документации, повысить уровень типизации технологических процессов, нормализации и унификации технологического оборудования, инструмента и оснастки.

Положения ЕСТПП, используемые в качестве руководства при проектировании и реализации всех этапов технологической подготовки производства ЭС, являются информационной базой и основой информационного обеспечения для создания автоматизированных систем технологической подготовки и управления производством.

Целью функционирования предприятия является повышение качества и надёжности выпускаемых изделий, уменьшение их себестоимости. Решение этих задач должно быть отражено на всех этапах жизненного цикла предприятия и основных этапах технологической подготовки производства.

В соответствии с ГОСТ 14.004–83 [34] (Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных задач) *технологической подготовкой производства* называется совокупность мероприятий, обеспечивающих технологическую готовность производства.

Технологическая готовность производства – это наличие на предприятии полных комплектов конструкторской и технологической документации и средств технологического оснащения, необходимых для осуществления заданного объёма выпуска продукции с установленными технико-экономическими показателями. *Единой системой технологической подготовки производства* называется система организации и управления технологической подготовкой производства, регламентированная государственными стандартами. *Отраслевая система технологической подготовки производства* – это система организации и управления технологической подготовкой производства, установленная отраслевыми стандартами, разработанными в соответствии с государственными стандартами ЕСТПП. *Система технологической подготовки производства предприятия* – система организации и управления технологической подготовкой производства, установленная нормативно-технической документацией предприятия в соответствии с государственными стандартами ЕСТПП и ОСТПП.

3.8.3. ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Технологичность конструкции ЭС – это совокупность конструкторско-технологических требований, позволяющая изготовить изделие с минимальными затратами на производство при выполнении требуемых технических и эксплуатационных условий.

Обеспечение технологичности конструкции изделия ЭС осуществляется в соответствии с ГОСТ 14.201–83 (Обеспечение технологичности конструкции изделия. Общие требования) [35]. При технологической подготовке производства обеспечение технологичности конструкции достигается в результате: отработки конструкции изделия на технологичность на всех этапах разработки изделия ЭС; количественной оценки технологичности; совершенствования условий выполнения работ при производстве, эксплуатации и ремонте изделия, технологическом контроле конструкторской документации и внесении в неё соответствующих изменений. При обработке изделия на технологич-

ность учитываются вид изделия, степень его новизны и сложности, условия изготовления, технического обслуживания и ремонта, объём выпуска изделия, новые высокопроизводительные методы и прогрессивные технологии изготовления, оптимальные условия производства и рациональный выбор и загрузка технологического оборудования и оснастки, связь достигнутых показателей технологичности с другими показателями качества изделия.

Количественная оценка технологичности изделия проводится на основе базовых показателей технологичности, которые определены для каждого класса блоков ЭС в количестве, как правило, не более семи.

В таблице 3.17 приведены нормативные показатели технологичности коэффициентов $K_{кт}$ блоков РЭС в зависимости от класса блока, вида изделия и типа производства [35].

Качественная оценка технологичности изделия осуществляется с помощью типовых качественных характеристик на этапе эскизного проекта: регулируемость, контролепригодность, взаимозаменяемость и др.

Оценка технологичности выполняется по комплексному показателю технологичности [33]

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

где K_i – значение рассчитанного базового показателя; φ_i – весовой коэффициент показателя; n – число показателей ($n = 7$).

3.17. Нормативные показатели блоков ЭС

Класс блоков ЭС	$K_{кт}$		
	Опытная партия	Установочная серия	Серийное производство
Радиотехнические (радиопередатчики, радиоприёмники)	0,45...0,65	0,75...0,8	0,81...0,85
Электронные (усилители, генераторы)	0,45...0,7	0,45...0,75	0,5...0,8
Механические (механизмы привода) и электромеханические (электронные переключатели)	0,3...0,5	0,4...0,55	0,45...0,65

Конструкция изделия ЭС считается технологичной, если рассчитанное значение комплексного показателя технологичности соответствует нормативному диапазону для рассматриваемого класса блока (табл. 3.17).

В качестве примера рассмотрим определение базовых показателей технологичности электронного блока с указанием их весовых коэффициентов.

1. Коэффициент использования интегральных микросхем и микросборок

$$K_{\text{ИСИМС}} = \frac{H_{\text{ИМС}}}{H_{\text{ИМС}} + H_{\text{ЭРЭ}}},$$

где $H_{\text{ИМС}}$ – число интегральных микросхем и микросборок; $H_{\text{ЭРЭ}}$ – количество электрорадиоэлементов (ЭРЭ).

2. Коэффициент автоматизации и механизации монтажа ЭРЭ

$$K_{\text{АиМ}} = \frac{H_{\text{АиМ}}}{H_{\text{М}}},$$

где $H_{\text{АиМ}}$ – количество монтажных соединений, осуществляемых автоматизированным или механизированным способом; $H_{\text{М}}$ – общее количество монтажных соединений.

3. Коэффициент механизации подготовки ЭРЭ к монтажу

$$K_{\text{МП}} = \frac{H_{\text{МП}}}{H_{\text{ЭРЭ}}},$$

где $H_{\text{МП}}$ – число ЭРЭ, подготовка которых к монтажу осуществляется механизированным способом; $H_{\text{ЭРЭ}}$ – общее количество навесных элементов ЭРЭ.

4. Коэффициент механизации операций контроля и настройки электрических параметров

$$K_{\text{МКН}} = \frac{H_{\text{МКН}}}{H_{\text{КН}}},$$

где $H_{\text{МКН}}$ – количество операций контроля и настройки, которые можно осуществить механизированным способом; $H_{\text{КН}}$ – общее количество операций контроля и настройки.

5. Коэффициент повторяемости ЭРЭ

$$K_{\text{пов}} = 1 - \frac{H_{\text{ТЭРЭ}}}{H_{\text{ЭРЭ}}},$$

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

6. Коэффициент применяемости ЭРЭ

$$K_{\text{ПЭРЭ}} = 1 - \frac{H_{\text{ТОРЭРЭ}}}{H_{\text{ТЭРЭ}}},$$

где $H_{\text{ТОРЭРЭ}}$ – количество типоразмеров оригинальных ЭРЭ; $H_{\text{ТЭРЭ}}$ – общее количество типоразмеров ЭРЭ в изделии.

7. Коэффициент прогрессивности формообразования деталей

$$K_{\text{ф}} = \frac{D_{\text{пр}}}{D},$$

где $D_{\text{пр}}$ – количество деталей, изготавливаемых прогрессивными методами формообразования; D – общее количество деталей в блоке.

Для повышения технологичности конструкции ЭС на производстве применяют известные методы, правила, приёмы и направления совершенствования [36]: унификация и стандартизация применяемых деталей и сборочных единиц в изделии и их взаимозаменяемость; нормализация конструктивных элементов изделий ЭС; классификация и типизация деталей, сборочных единиц и на их основе технологических процессов изготовления изделий ЭС; использование новых прогрессивных технологий изготовления ЭС и современных материалов; применение автоматизации при проектировании и производстве изделий ЭС – АСТПП, САПР, T-FLEX Технологии и др.

3.8.4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ (ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ)

Печатные платы являются деталями, без которых невозможно представить ни одно изделие радиоэлектронных средств. В связи с этим разработаны типовые технологические процессы изготовления различных печатных плат (ПП): односторонних, двухсторонних, многослойных и гибких. Все методы изготовления печатных плат делятся на три группы: субтрактивные, аддитивные и комбинированные [37].

Поскольку применение типовых технологических процессов снижает трудоёмкость и себестоимость изделий, для изготовления печат-

ной платы выбираем типовой технологический процесс изготовления ПП, например, комбинированным позитивным методом, который включает следующие операции:

- заготовительная;
- контрольная;
- фолитографическая;
- заготовительная;
- контрольная;
- штамповочная;
- сверлильная;
- контрольная;
- подготовительная;
- гальваническая;
- контрольная;
- подготовительная;
- фотолиграфическая;
- экспонирование;
- получение рисунка схемы ПП;
- контрольная;
- ретушировальная;
- гальваническая;
- контрольная;
- ретушировальная;
- контрольная;
- снятие фотореста;
- травильная;
- проявочная;
- контрольная;
- удаление ретуши;
- контрольная;
- маркировочная;
- контрольная;
- упаковочная.

Сущность комбинированного позитивного метода состоит в том, что металлизацию отверстий в печатной плате производят аддитивным методом, а печатные проводники на плате получают субтрактивным методом – вытравливанием фольги с пробельных мест.

Аддитивный метод основан на избирательном осаждении токопроводящего покрытия на диэлектрическое основание, которое предварительно подготавливается проведением операции сенсбилизации и активации.

Сенсбилизация – процесс создания на поверхности диэлектрика плёнки ионов двухвалентного олова, которые впоследствии обеспечат восстановление ионов активатора металлизации.

Активирование заключается в том, что на поверхности сенсбилизированной SnCl_2 происходит реакция восстановления ионов каталитического металла. Обработку проводят в растворах платиновых металлов, преимущественно палладия, в течение 5...7 мин, затем промывают холодной водой.

Рисунок печатных проводников на плате получают методом фотолитографии с использованием позитивного фоторезиста.

Получение рисунка ПП методом фотолитографии проводится в следующей последовательности:

- очистка подложки (с нанесённой на неё слоем меди);
- нанесение фоторезиста методом центрифугирования;

- сушка фоторезист проводится в два этапа – при температуре 40 и 90 °С;
- совмещение фотошаблона;
- засвечивание в ультрафиолете в течение 10...15 мин;
- проявление фоторезистора в 0,5 растворе КОН.

Подробно технологический процесс изготовления ПП представляется в приложении к бакалаврской работе на маршрутной карте, а также приводится ведомость используемых материалов [4].

3.8.5. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ БЛОКА ЭС

Для экономической оценки варианта сборки блока ЭС в основном используется две характеристики: себестоимость и трудоёмкость. Себестоимость выражается в денежных затратах на изготовления изделия. С учётом затрат на амортизацию оборудования, специальной технологической оснастки и инструмента её можно рассчитать по формуле [38]

$$C = \sum_i^p M + \sum_i^m \left[O + П + И + \left(1 + \frac{a_1 + a_2}{100} \right) \cdot З \right],$$

где M – стоимость материалов, расходуемых на единицу продукции, за вычетом стоимости реализуемых отходов, р.; O – расходы на амортизацию и содержание оборудования, приходящиеся на единицу продукции, р.; $П, И$ – расходы на содержание соответственно приспособлений и инструмента, приходящиеся на единицу продукции, р.; a_1 – процент начислений по заработной плате на социальные расходы (обычно составляет 13,5%); a_2 – процент накладных расходов, начисляемых на расходы по заработной плате; p – количество различных марок материалов, расходуемых на единицу изготавливаемой продукции; m – количество операций, необходимых для изготовления единицы продукции; $З$ – заработная плата.

Стоимость материалов, затрачиваемых на изготовление единицы продукции, определяется по формуле

$$M = \sum_1^p g_1 q_1 - \sum_1^p g_2 q_2,$$

где g_1 – масса материала каждой марки, расходуемого на единицу продукции, кг; q_1 – стоимость 1 кг расходуемого материала, р.; g_2 и q_2 – соответственно масса и стоимость 1 кг реализуемых отходов.

Зарботная плата, приходящаяся на единицу продукции, рассчитывается по формуле

$$З = \sum_1^m \left(\frac{S z_1}{f_1} + \frac{S z_2}{f_2} \right) \frac{t}{60}, \text{ р.},$$

где S – часовая ставка рабочего первого разряда; z_1 – разрядный коэффициент работы, определяемый по квалификационному справочнику; f_1 – количество станков или оборудования данного вида, или рабочих мест, обслуживаемых одним рабочим; z_2 – разрядный коэффициент работы, выполняемой наладчиком; f_2 – количество станков или оборудования данного вида, обслуживаемых одним наладчиком; t – трудоёмкость, т.е. время, затрачиваемое на операцию, мин.

Трудоёмкость t входит в себестоимость и устанавливается для каждой операции. Трудоёмкость процесса составляет сумму трудоёмкостей по всем операциям.

Трудоёмкость операции t складывается из подготовительно-заключительного времени $T_{пз}$, приходящегося на единицу продукции, и штучного времени – $T_{шт}$, затрачиваемого на выполнение данной операции:

$$t = T_{пз} / n + T_{шт},$$

где $T_{пз}$ – подготовительно-заключительное время, необходимое на ознакомление с чертежом, технологическим процессом, консультацию с мастером, технологом, а также для наладки станка и т.д. Это время рассчитывается на всю партию изделий n .

Штучное время выражается формулой

$$T_{шт} = t_{о.т} + t_{в} + t_{об} + t_{д},$$

где $t_{о.т}$ – основное технологическое время; $t_{в}$ – вспомогательное время; $t_{об}$ – время обслуживания рабочего места; $t_{д}$ – время перерывов на отдых и личные надобности рабочего.

Сумму основного технологического и вспомогательного времени называют оперативным временем $t_{оп}$:

$$t_{оп} = t_{о.т} + t_{в}.$$

Если обозначить $\frac{t_{об} + t_{д}}{t_{оп}} 100$ через K , то штучное время будет считаться:

$$T_{\text{шт}} = t_{\text{он}} \left(1 + \frac{K}{100} \right),$$

где K берётся в процентах от оперативного времени.

Трудоёмкость t для данной операции получила название технической нормы времени. Величина, обратная технической норме времени, называется нормой выборки $Q = 1/t$ [шт. в единицу времени].

Производительность процесса Q_1 определяется количеством деталей или узлов, изготавливаемых за единицу времени (час, смену):

$$Q_1 = \frac{\Phi}{\sum t},$$

где Φ – фонд рабочего времени; $\sum t$ – сумма трудоёмкостей по всем операциям процесса.

Для механической обработки величины, входящие в формулу определения $T_{\text{шт}}$, берутся из таблиц справочника по нормированию станочных работ, а для сборочно-монтажных и регулировочных работ – из таблиц примерных норм времени. В отдельных случаях измерение затрат времени на ручные приёмы производится с помощью хронометра и после обработки данных устанавливают среднее время.

Таким образом, при разработке технологического процесса учитываются экономические соображения и используются методы, позволяющие снизить трудоёмкость изготовления детали и, как следствие, себестоимость.

Следует по возможности использовать типовые технологические процессы, которые хорошо зарекомендовали себя и широко распространены, для которых необходима стандартная оснастка, инструмент и оборудование.

Для проектируемого технологического процесса сборки определяется суммарная трудоёмкость, которая включает трудоёмкость каждой технологической операции сборки блока

$$\sum t_{\text{пр}} = \sum T_{\text{пз}} / n + \sum T_{\text{шт}}.$$

Укрупнённая рыночная цена изготавливаемых изделий рассчитывается, исходя из следующих показателей:

- стоимость материалов и покупных комплектующих изделий;
- стоимость услуг сторонних организаций (теплоснабжение, энергосбережение, газоснабжение);
- собственные затраты, связанные с производством (зарботная плата основных и вспомогательных рабочих);
- накладные расходы, связанные с производством;

- общепроизводственные и транспортные расходы;
- планируемая прибыль.

В бакалаврской работе приводятся как минимум два варианта технологического процесса сборки блока ЭС. Для каждого варианта рассчитываются суммарные себестоимости и трудоёмкость. Оптимальный вариант сборки выбирается исходя из меньшей себестоимости и трудоёмкости.

3.8.6. ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ОСНАСТКИ

Целью выбора технологического оборудования и оснастки является автоматизация и механизация технологических процессов изготовления изделий ЭС, в частности, применение автоматизированных линий сборки. При разработке технологического процесса выбирается и разрабатывается технологическое оснащение – оснастка, оборудование, а также измерительные приборы для проведения технологических операций контроля, регулировки и настройки.

Средства технологического оснащения включают:

- технологическое оборудование;
- технологическую оснастку;
- средства механизации и автоматизации производственных процессов.

Выбор средств технологического оснащения производится с учётом:

- типа производства и его организационной структуры;
- вида изделия и программы его выпуска;
- характера намеченной технологии;
- возможности группирования операций;
- максимального применения стандартной оснастки и оборудования;
- равномерной загрузки имеющегося оборудования.

Выбор технологического оборудования согласно ГОСТ 14.304–83 должен быть основан на анализ затрат на реализацию технологического процесса в установленный промежуток времени при заданном количестве изделий.

Выбор оборудования производят по главному параметру, который является наиболее показательным для выбираемого оборудования.

В бакалаврской работе указывается оборудование, которое применяется для производства проектируемого устройства, например, станок специальный, сверлильно-фрезерный; автоматическая линия металлизации печатных плат АГ-38М; линия травления печатных плат ЛТ-901.

Общие правила выбора технологической оснастки регламентируются ГОСТ 14.301–73.

Технологическая оснастка представляет собой дополнительные или вспомогательные устройства, необходимые для выполнения операций, например: механической обработки, холодной штамповки, изготовления деталей из пластмасс, развальцовки, заклёпки и других процессов [38].

Выбор технологической оснастки должен быть основан на анализе затрат на реализацию технологического процесса в установленный промежуток времени при заданном качестве изделий. При выборе технологической оснастки должны учитываться конкретные производственные условия, при которых применение различных систем технологической оснастки будет наиболее рациональным.

При изготовлении электронных средств особенность подготовки производства по специальному технологическому оснащению состоит в преобладающем количестве оснастки для прессового оборудования.

К наиболее часто применяемым наименованиям оснастки относятся штампы, пресс-формы, кондукторы, приспособления сборки и контроля.

При разработке технологического процесса в бакалаврской работе могут быть применены следующие стандартные приспособления: устройство для подготовки к сборке микросхем в плоских корпусах ГГ-1875, устройство для подрезки выводов микросхем ГГ-1939, приспособление для формовки выводов ЭРЭ ГГ-1994, приспособление для установки выводов на печатные платы ГГ 0867-4029, установка для рихтовки и обрезки выводов трансформаторов ГГ-2293, установка для зачистки проволочных выводов ЭРЭ ГГ-1614, полуавтомат для укладки ЭРЭ и микросхем на печатные платы, модель УР-10 ГГ-2487.

Кроме того, применяются следующие инструменты: плоскогубцы с различной шириной губок, круглогубцы, острогубцы, ножницы, отвёртки различной длины для винтов с различным шлицом, электромеханические отвёртки, пинцеты, паяльники, молотки, кернера, ножи и скальпели.

Приводятся основные материалы, используемые при производстве изделия ЭС, например, аммиак ГОСТ 6403–78, аммоний сернокислый ГОСТ 6451–78, бумага конденсаторная ГОСТ 1908–82, бумага фильтровальная ГОСТ 23436–83, краска ЧМ чёрная ТУ 29-02-859–78, лак НЦ ТУ 6-10-1291–77, лак канифольный ОСТ4 ГО.033.200–81, медный купорос (раствор) ГОСТ 3652–74, проявитель ГОСТ 6535–74, раствор активирования ГОСТ 2137–81, серная кислота ГОСТ 65321–78, спиртобензиновая смесь ОСТ4 ГО.029-233–84, сплав «Розе» ГОСТ 6403–78, флюс ФКСП ОСТ4 ГО.033.200–81, эмаль НЦ-25 ГОСТ 5406–84.

3.8.7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС СБОРКИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Для выполнения сборки и монтажа изделия ЭС необходимо разработать техпроцесс сборки изделия в соответствии с ЕСТД, технологическими и техническими требованиями к конструкции изделия, оформить технологическую документацию, выбрать технологическое оборудование и оснастку или разработать техническое задание на его проектирование. В процессе сборки и монтажа следует использовать механизации и автоматизации. Составляется схема сборочного состава изделия ЭС с указанием деталей, сборочных единиц, их уровня сложности.

Наиболее часто применяют при сборке ЭС схемы сборки с базовой деталью (рис. 3.10) и веерного типа (рис. 3.11) [38]. Схема веерного типа изображает состав конструкции, этапы сборки, количество и наименование сборочных единиц и деталей. Однако в схеме веерного типа не указана последовательность выполнения технологических операций при сборке и монтаже изделия и их наименование. В схеме с базовой деталью при сборке выбирается базовая деталь, например, печатная плата, которая будет использоваться при сборке изделия.

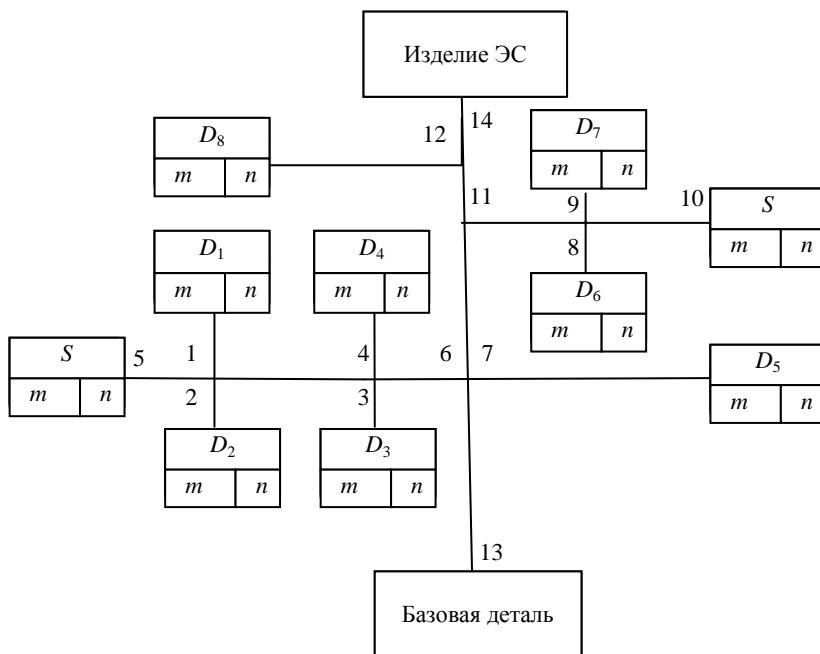


Рис. 3.10. Схема сборки с базовой деталью

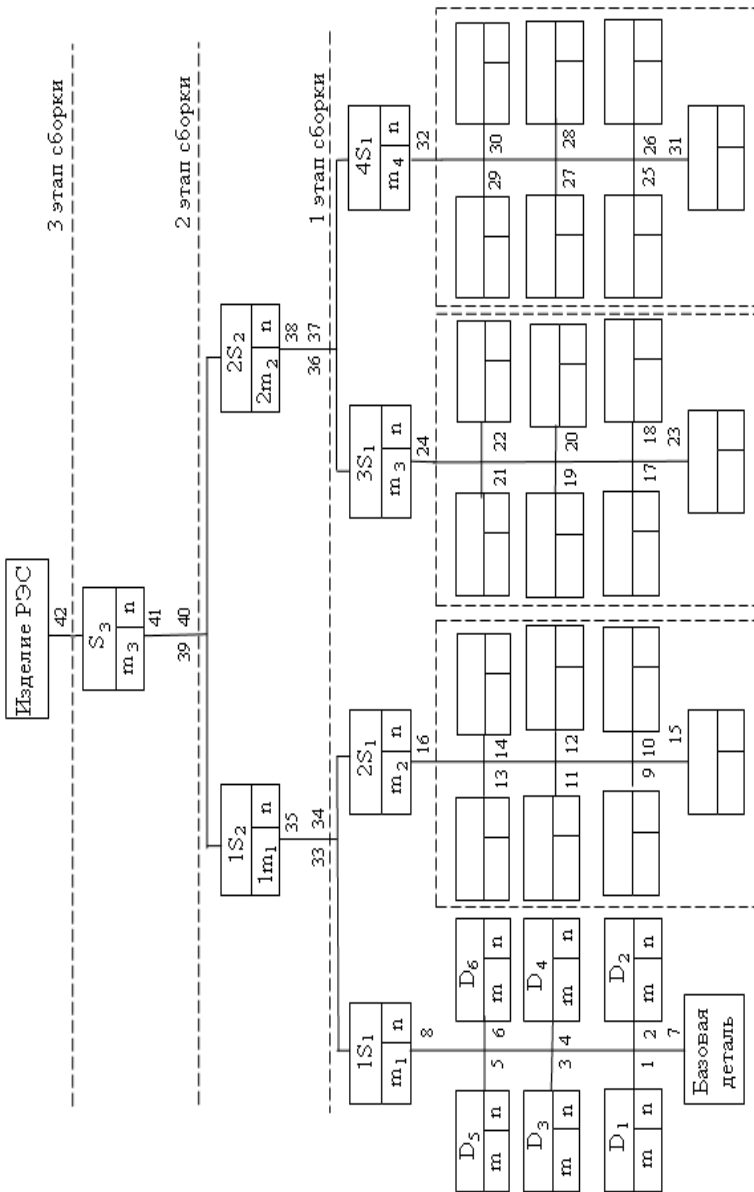


Рис. 3.11.1. Схема сборки веерного типа

В схеме с базовой деталью отражены названия технологических операций сборки и монтажа и последовательность выполнения технологического процесса сборки изделия ЭС.

На рисунках 3.10 и 3.11 в схемах сборки обозначены: *S* – наименование сборочной единицы; *m* – номер ведомости спецификации; *n* – количество деталей и сборочных единиц; *D* – название и обозначение детали в соответствии с ГОСТом.

Технологический процесс сборки узла на ПП состоит из следующих операций:

- а) комплектация электрорадиоэлементов;
- б) входной контроль ЭРЭ;
- в) подготовка ЭРЭ к монтажу, рихтовка выводов производится согласно требованиям к сборочному чертежу;
- г) подготовка поверхностей ЭРЭ и печатной платы к пайке и фиксация ЭРЭ на плате;
- д) нанесение дозированного количества припоя и флюса;
- е) при пайке осуществляется нагрев ЭРЭ до заданной температуры и выдержка в течение 2...3 с;
- ж) очистка соединений от флюса;
- з) контроль качества пайки и монтажа.

Технологический процесс сборки изделия ЭС проводят в следующей последовательности:

1. Механические соединения:

- а) осуществляют неразъёмные соединения деталей и сборочных единиц с рамой, шасси и платами изделия;
- б) устанавливаются крепёжные детали;
- в) устанавливаются перемещающиеся сборочные единицы блока;
- г) проводится технологическая операция контроля.

2. Электрические соединения:

- а) осуществляется подготовка электрорадиоэлементов ИМС, жгутов, кабелей и проводов к монтажу;
- б) проводится установка ЭРЭ и ИМС на печатную плату;
- в) выполняется сборка узла на печатной плате, электрическое соединение отдельных узлов и подсоединение жгутов к разъёмам блока;
- г) проведение технологической операции регулировки и настройки;
- д) выполнение операции контроля.

3. Заключительный этап общей сборки:

- а) устанавливаются регулировочные детали;
- б) устанавливаются корпуса, кожухи.

Маршрутный технологический процесс отражает последовательность выполнения технологических операций сборки изделия ЭС и используемое технологическое оборудование. Описание маршрутного

техпроцесса сборки приводится в маршрутных картах. Формы и правила оформления маршрутных карт показаны в ГОСТ 3.1118–82 [39]. При операционном описании техпроцесса в маршрутной карте указывается адресная информация (номер цеха участка, рабочего места, операции), наименование операции, перечень элементов, применяемых при выполнении операций, технологическое оборудование и трудозатраты.

Порядок оформления маршрутных карт изложен в ГОСТ 3.1104–81 (Правила оформления форм, бланков и документов). Оформление основных надписей в формах маршрутных карт производится по ГОСТ 3.1103–82.

В маршрутной карте указывается код (А, Б, О, Т, М), номер (№), наименование и содержание операций.

На маршрутной карте указывается адресная информация: номер цеха (цех), участка (Уч), рабочего места (РМ), операции (Опер). Приведены обозначения служебных символов для формы с горизонтальным расположением:

А – номер цех, участка, рабочего места, где выполняется операция, номер, код и наименование операции, обозначение документов, применяемых при операции;

Б – код, наименование оборудования и информация по трудозатратам;

О – содержание операции (перехода) и другие, приведённые в ГОСТ 1118–82;

Т – информация о применяемой при выполнении операции оснастке;

М – информация о применяемом материале.

Кроме того, в форме 5А приведены следующие обозначения кодов операций, оборудования и документов:

СМ – степень механизации;

Проф. – профиль и размеры;

Р – разряд работы;

КТС – код операции по технологическому классификатору;

КР – количество исполнителей;

КОИД – количество одновременно изготавливаемых (обрабатываемых) деталей при операции;

ЕН – единица нормирования (нормы расхода материалов или времени);

ТПЗ – норма подготовительно-заключительного времени;

ОПЛ – обозначение подразделения, откуда поступают комплектующие (склада, кладовой);

ЕВ – код единицы величины;

КИ – количество деталей и сборочных единиц, применяемых при сборке или разборке;

$N_{рас}$ – норма расхода материала;

Цех – номер (код) цеха, в котором выполняется операция;

Уч – номер (код) участка, конвейера, поточной линии и т.п.;

РМ – номер (код) рабочего места;

Опер. – номер операции (процесса в технологической последовательности изготовления или ремонта изделия (включая контроль и перемещение)).

При разработке маршрутного технологического процесса в качестве исходных данных используются: годовой объём выпуска изделий РЭС, схема сборки изделия с указанием типа сборки (с базовой деталью или веерного типа), типовой технологический процесс сборки, время реализации всех этапов техпроцесса – подготовительно-заключительное, время штучное расчётное, затраченное на выполнение технологической операции.

Выбор соответствующей формы маршрутной карты зависит от разрабатываемого вида технологического процесса, назначения формы в составе комплекта документов и применяемых методов проектирования документов.

Маршрутные карты составляются по форме 5А для единичных технологических процессов, проектирование которых проводилось с применением средств автоматизации. При маршрутном описании технологического процесса маршрутная карта является одним из основных документов, в котором описывается весь процесс последовательности выполнения технологических операций.

После заполнения маршрутной карты составляются перечни оборудования, приспособлений и инструмента, а также ведомость материалов, используемых в разработанных технологических процессах сборки узла на печатной плате и блока усилителя.

Разработка технологических операций составляет основу операционного технологического процесса. Операционный технологический процесс содержит подробное описание выполнения технологических операций.

При разработке технологических операций определяется вид операции (монтажная, слесарная, контрольная), последовательность её выполнения, используемое технологическое оборудование. Процесс выполнения технологической операции сопровождается технологической инструкцией, в которой приводится описание проводимой операции с указанием её технических условий и параметров: параметров изделия после выполнения операции, условий её выполнения и применяемое технологическое оборудование, времени выполнения, допустимой погрешности изготовления деталей, точности сборки и монтажа

блоков и узлов. Кроме того, проводится оценка точности разрабатываемой технологической операции, нормирование операции и технико-экономическое обоснование.

Для выполнения технологической операции сборки необходимо её материальное обеспечение и сопровождение технологической документацией. Материальное обеспечение заключается в наличии соответствующих технологического оборудования, инструмента, оснастки. Например, рабочее место оснащается монтажным столом, необходимыми материалами, комплектующими компонентами, технологическим оснащением. В качестве технологической документации используется технологическая карта, в которой приводится последовательность выполнения технологической операции, перечень используемых деталей и материалов.

3.8.8. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ЭС

Развитие производства ЭС непосредственно связано с автоматизацией технологической подготовки производства.

При разработке автоматизированной системы ТПП (АСТПП) в программном обеспечении АСТПП рекомендуется использовать новые разработки программных продуктов для технологической подготовки производства. Например, применять программу **T-FLEX Технология**, разработанную компанией «Топ Системы» [40]. Программа позволяет разработать технологические проекты, технологическую документацию. С помощью программы GAПР–TFLEX CAD 3D возможно проектирование технологического оборудования и оснастки [40].

В подсистеме управления предприятием в АСТПП предлагается использовать программно-методический комплекс технологической подготовки производства ТЕМП, предназначенный для формирования базы данных технологических процессов [41].

Автоматизация конструкторско-технологической подготовки осуществляется с помощью программы ADEM-VX: разработка конструкторской документации, проектирование техпроцессов, составление технологической документации [42]. Программа разработана группой компаний ADEM.

Компания B2B-Energo предлагает программно-технические комплексы для автоматизации функционирования систем контроля и управления технологическими процессами, для автоматизации функционирования систем технологической подготовки производства [43].

Компания «Клио-Софт» разрабатывает современное программное обеспечение для управляющих программ ЧПУ, разработки изделий, технологической подготовки производства и управления жизненным циклом изделия [44].

Компания SolidWorks Russia разработала САПР ТП SWR-Технология (система подготовки технологической документации), которая является специализированным модулем, предназначенным для информационной поддержки и автоматизации проектирования технологических процессов и разработки технологической документации [45].

Автоматизация проектирования технологической документации осуществляется в соответствии с рекомендациями Р50-54-71–88 [46] с помощью систем автоматизированного проектирования. Рекомендации устанавливают комплекс требований по разработке форм технологических документов (с текстом, разбитым на графы) на основе базы данных, применяемых в автоматизированных системах технологической подготовки и управления производством на предприятиях (организациях) машиностроения и приборостроения. В рекомендациях указаны ГОСТы, где приведены общие требования к формам, бланкам и документам, правила оформления маршрутных карт, технологических документов, применяемых при нормировании расхода материалов, система обозначения технологической документации и др.

При разработке технологических и маршрутных процессов используются системы автоматизированной подготовки САМ [47].

Система ТЕМП позволяет осуществить автоматизацию проектирования комплекта технологической документации и параллельно готовить данные для подготовки программ с ЧПУ и внешних систем: MES-системы, системы управления предприятием и др. Одним из достоинств системы является создание базы данных технологических маршрутов промышленного предприятия [41]. При проектировании технологической документации база данных используется для расчёта суммарной трудоёмкости изготовления изделия по цехам и участкам, расчёта расценок изготовления изделия, оперативного календарного планирования, расчёта и анализа себестоимости изготовления изделия, оценки эффективности изготовления изделия по различным вариантам, расчёта производственных мощностей и др.

Программный комплекс «Автоматизация проектирования техпроцессов и выпуска технологической документации» ASCON [48] предназначен для решения задач технологической подготовки производства: автоматизированного проектирования технологических процессов, расчёта оптимального количества материалов для производства изделия, расчёта режимов обработки для различных видов производства, расчёта оптимальных затрат труда, формирования требуемого комплекта технологических документов. Технологическая информация из программного комплекса передаётся в различные системы классов PDM/MRP/ERP для производственного планирования и управления. При автономном использовании программный комплекс состоит из двух подсистем: КОМПАС–Автопроект–Технология и КОМПАС–

Автопроект–Спецификации. Подсистема КОМПАС–Автопроект–Технология обеспечивает: автоматизированное проектирование технологических процессов основных видов производств, автоматическое формирование стандартного комплекса технологической документации и документов произвольной формы в горизонтальном и вертикальном исполнении в формате MS Excel, интеграцию с КОМПАС–График – оперативный просмотр графики (операционных эскизов, карт наладок и др.), возможность разработки сквозного технологического процесса, автоматическую нумерацию технологических операций и переходов, нормирование технологических операций, перевод технологий на иностранные языки, возможность разработки пользователем подсистем проектирования технологий для различных видов производств, автоматизированное формирование кода изделия в соответствии с ЕСКД и ТКД, выполнение расчётных процедур.

Для автоматизации проектирования технологических процессов и технологической подготовки производства применяется система ВЕРТИКАЛЬ [49]. Система позволяет автоматически формировать все необходимые комплекты технологической документации, используемой на предприятии, производить расчёты материальных и трудовых затрат на производство изделий, повысить качество разработки технологической документации. После сохранения техпроцесса в электронном архиве в системе ВЕРТИКАЛЬ можно сформировать комплект технологической документации, при этом формы карт и распределение данных в них осуществляется в соответствии с ГОСТом. Программа формирует комплект технологических карт согласно требованиям предприятия. Чертежи и эскизы, необходимые для проектирования техпроцесса в САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ, могут быть созданы в любой САД-системе. Максимальный эффект от совместной работы конструкторских и технологических САПР обеспечивается взаимодействием ВЕРТИКАЛЬ КОМПАС-3D. 3D-модель и чертёж детали, на которую разрабатывается техпроцесс, изображается в окне ВЕРТИКАЛЬ, где доступен также определённый набор функций для работы с графикой. Для 3D-модели измерение геометрии и команды навигации по изображению (вращение, выделение граней), для чертежа – измерение, связь размера чертежа с переходом, автоматический перенос данных в текст технологической документации техпроцесса.

Автоматизация технологической подготовки производства осуществляется также на базе программных продуктов T-FLEX [50]. Автоматизация осуществляется на основе совместного использования систем параметрического проектирования TFLEX CAD и автоматизированного проектирования техпроцессов TFLEX / T-FLEX / Техно Про. Конструктор создаёт чертежи в TFLEX CAD, поступающие к технологическому, который на основе T-FLEX CAD и T-FLEX / Техно Про вносит не-

достающую информацию в чертежах. После этого проектируется технологическая документация на изделие. T-FLEX / Техно Про формирует операционные, маршрутно-операционные, маршрутные технологические карты, карты контроля, ведомости оснастки, титульные листы, осуществляет проектирование технологических операций, технологических процессов, расчёт технологических режимов, подбор используемых инструментов, автоматическое заполнение технологических документов произвольных форм и ряд других операций.

Использование программных продуктов и систем автоматизированного проектирования позволяют решить задачу автоматизации проектирования технологической документации.

3.9. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ЭС

Автоматизация производства это основа развития современной промышленности. Цель автоматизации производства заключается в повышении производительности труда, улучшении качества продукции, экономии материальных ресурсов, росте коэффициента использования оборудования, улучшении условий труда и безопасности работы, повышении оперативности управления объектом и технического уровня производства.

Автоматизация производства ЭС разделяется на частичную, комплексную и полную.

Частичная автоматизация производства ЭС это автоматизация отдельных производственных операций, осуществляется в тех случаях, когда управление процессами вследствие их сложности или скоротечности практически недоступно человеку и когда простые автоматические устройства эффективно заменяют его. Частично автоматизируется, как правило, действующее производственное оборудование.

Комплексная автоматизация производства ЭС означает передачу от человека к технике операций управления технологическим процессом изготовления определённого вида продукции ЭС в рамках производственной системы: линии, участка, цеха, предприятия, которая рассматривается как единый взаимосвязанный автоматический комплекс. Комплексная автоматизация производства ЭС охватывает весь комплекс производственных систем, включая технологический процесс заготовительных цехов, механической, термической, гальванической обработки, сборки, контроля и регулировки, складирования готовой продукции.

Полная автоматизация производства ЭС – высшая ступень автоматизации, которая предусматривает передачу всех функций управления и контроля комплексно-автоматизированным производством автоматическим системам управления. Она проводится тогда, когда ав-

томатизируемое производство рентабельно, устойчиво, его режимы практически неизменны, а возможные отклонения заранее могут быть учтены, а также в условиях недоступных или опасных для жизни и здоровья человека [37, 38, 51].

Студентам в данном разделе необходимо провести анализ существующей системы автоматизации производства изделий ЭС на конкретном предприятии, оценить степень автоматизации технологического процесса, производительность труда и разработать новую более эффективную систему автоматизации [37, 38, 51, 52].

Выбор степени автоматизации зависит от конкретных условий производства ЭС и экономической целесообразности. В зависимости от доли участия человека в управлении процессом и оборудованием автоматизацию технологического процесса производства ЭС подразделяют на три уровня: высокий, средний и низкий.

Степень автоматизации технологического процесса оценивают коэффициентом K_a :

$$K_a = \frac{1}{\sum_{i=1}^m t_i^H / \sum_{j=1}^n t_j^a}, \quad (3.1)$$

где t_i^H – среднее время по множеству i ($i = \overline{1, m}$) операций, затрачиваемое на реализацию неавтоматизированных операций, включая управление; t_j^a – среднее время по множеству j ($j = \overline{1, n}$) операций, затрачиваемое на автоматизированное их выполнение; n, m – число значений времени t .

Считается, что при $K_a > 0,98$ технологический процесс имеет высокий уровень автоматизации и такой технологический процесс считают полностью автоматическим; при $0,98 > K_a > 0,5$ – средний уровень автоматизации, такой процесс называют автоматизированным; при $K_a < 0,5$ процесс имеет низкий уровень автоматизации.

Определение экономически обоснованного уровня автоматизации производства ЭС производится по уровню автоматизации одной операции

$$Y = t_j^{Ma} / t_j, \quad (3.2)$$

где t_j^{Ma} – машинно-автоматическое время j -й операции; t_j – общее время выполнения операции.

Для оценки уровня автоматизации по совокупности операций, выполняемых на автоматизированной линии, используется выражение

$$Y_{a.l} = \frac{\sum_{j=1}^n (t_j^{\text{MP}} + t_j^{\text{MA}})}{\sum_{j=1}^m t_j}, \quad (3.3)$$

где t_j^{MP} – машинно-ручное время j -й операции, выполняемой на автоматизированной линии; n – число операций. Чем ближе эти показатели к единице, тем выше уровень автоматизации производства ЭС.

Каждый уровень автоматизации достигается определёнными капитальными вложениями, и чем выше этот уровень, тем больше сумма капитальных затрат. Экономически обоснованным считается уровень, который обеспечивает минимум затрат при заданных показателях надёжности и производительности средств автоматизации производства ЭС.

При сравнении нескольких вариантов технических средств, предназначенных для автоматизации производства ЭС на j -й операции, экономически обоснованный вариант определяется наименьшей величиной годовых приведённых затрат

$$Z_t = C(Y_{a.j}) + E_n K(Y_{a.j}), \quad (3.4)$$

где $K(Y_{a.j})$ – суммарные капитальные вложения в средства автоматизации для реализации j -й операции, зависящие от варианта технического решения и уровня автоматизации, р.; $C(Y_{a.j})$ – себестоимость продукции за год от реализации j -й операции, зависящая от уровня автоматизации, р.; E_n – нормативный коэффициент экономической эффективности.

Задача нахождения оптимального уровня автоматизации j -й операции сводится к определению значения $Y_{a.j}$, минимизирующего сумму годовых приведённых затрат.

Прогрессивность автоматизации производства ЭС должна оцениваться с позиции технико-экономической эффективности, критерием которой является рост производительности труда.

Производительность труда Π_t – это количество выпущенных изделий ЭС N , отнесённое к трудовым затратам T :

$$\Pi_t = N / T. \quad (3.5)$$

Количество выпущенных ЭС зависит от того, сколько времени эксплуатируется автоматизированное специальное технологическое оборудование. При условии, если в процессе эксплуатации автоматизи-

зированного специального технологического оборудования производительность указанного оборудования не изменяется, то

$$N = t_3 N_{\Gamma}, \quad (3.6)$$

где t_3 – календарное время эксплуатации оборудования, г; N_{Γ} – годовой выпуск продукции.

Общие трудовые затраты на производство ЭС определяются как

$$T = T_{\Pi} + (T_V + T_{\text{ж}}) / t_3, \quad (3.7)$$

где T_{Π} – единовременные затраты прошлого (овеществлённого) труда; T_V – годовые текущие затраты на материалы, электроэнергию, ремонт и т.п.; $T_{\text{ж}}$ – текущие затраты живого труда на обслуживание оборудования.

Из (3.6), (3.7) получаем, что величина Π_t определяется как

$$\Pi_t = \frac{t_3 N_{\Gamma}}{T_{\Pi} + (T_V + T_{\text{ж}}) t_3}.$$

Исследование влияния отдельных показателей на производительность труда делает возможной оценку различных путей автоматизации производства ЭС. Наиболее эффективным из них является тот, при котором повышение производительности труда, обеспечивающееся созданием автоматических и автоматизированных средств производства ЭС, растёт, опережая рост текущих затрат. Автоматизация производства ЭС при этом должна не только повышать производительность труда, но и обеспечивать заданные темпы роста Π_t в сравнении с имею-

3.18. Результаты расчётов

	Базовый вариант (изготовление изделий РЭС с использованием существующей системы автоматизации или без неё)	Проектируемый вариант (изготовление изделий РЭС с использованием разработанной системы автоматизации)
Степень автоматизации K_a
Производительность труда Π_t
...

щимся уровнем производства. Поэтому каждое средство автоматизации производства ЭС необходимо оценивать ещё и с этих позиций [14].

Результаты расчётов рекомендуется представить в виде табл. 3.18.

При необходимости в таблицу занести результаты расчётов дополнительных показателей, отражающих эффективность разработанной системы автоматизации производства изделий ЭС.

В выводе по разделу указать в процентном содержании, насколько повысилась степень автоматизации, производительность и другие показатели, а также дать предложения по возможному дальнейшему развитию автоматизации производства изделий ЭС на предприятии.

3.9.1. РАСЧЁТ НАДЁЖНОСТИ БЛОКА ЭС

Важное место в квалификационной работе бакалавра отводится задачам анализа и синтеза надёжности. Для решения этих задач студенты должны обладать необходимыми знаниями как по общим теоретическим, так и по специальным, относящимся к радиоэлектронике и микропроцессорным системам разделам надёжности.

Надёжность есть свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значение установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

В зависимости от класса разрабатываемого объекта, его назначения, исходных данных на проектирование последовательность проведения расчётов надёжности может быть различной. При расчёте надёжности необходимо выполнить следующие этапы:

1. Дать характеристику объекта с точки зрения надёжности.
2. Выбрать основные показатели надёжности и нормы, относительно которых будет оцениваться надёжность устройств.
3. Выбрать, обосновать метод расчёта и рассчитать надёжность устройства с точки зрения различных влияющих факторов.
4. Общие выводы.

1. Характеристика объекта с точки зрения надёжности является первоначальным этапом при расчёте устройства. При описании объекта необходимо оценить его функционирование с учётом всех возможных режимов работы: температурных режимов элементов схемы; необходимо знать токи, напряжения на них; учитывать качество соединений и паек. В соответствии с этим делаются выводы о ремонтопригодности устройства, выявляются наиболее опасные с точки зрения надёжности элементы схемы и при расчёте надёжности уделять им особое внимание.

2. На втором этапе необходимо обосновать группу показателей надёжности, которая в полной мере характеризует надёжностные свойства исследуемого объекта, их называют нормируемыми показателями надёжности (ПН). На последующих этапах ПН рассчитываются и сравниваются с допустимыми значениями и делается вывод – удовлетворяет ли данный разрабатываемый объект требованиям надёжности или нет.

Нормируемые ПН рекомендуется определять в следующей последовательности: в зависимости от ремонтпригодности, ограничений на продолжительность эксплуатации, временного режима использования и определение фактора при оценке последствий отказа. По таблице 7 [53] выбирается шифр, соответствующий перечисленным критериям; полученный результат следует подставить в табл. 8 [53] и выбрать нормируемые ПН. Именно эти выбранные показатели надёжности следует рассматривать в бакалаврской работе.

3. Основным этапом проектирования устройства является числовой расчёт надёжности электрической схемы, он включает в себя четыре этапа:

- 1) прикидочный расчёт;
- 2) расчёт схемы с учётом условий эксплуатации;
- 3) расчёт надёжности элементной базы;
- 4) расчёт надёжности с учётом других видов отказов.

Прикидочный расчёт N_{CX} производится с целью проверки возможности выполнения требований технического задания по надёжности, исходные данные и результаты расчёта рекомендуется представлять в форме табл. 3.19.

По данным таблицы 3.19 рассчитываются граничные и средние значения интенсивностей отказов, а также другие показатели безотказности электрической схемы.

$$\lambda_{\min}^n = \sum_{j=1}^m n_j \lambda_{j \min}, \quad \lambda_{\max}^n = \sum_{j=1}^m n_j \lambda_{j \max}, \quad \lambda_{cp}^n = \sum_{j=1}^m n_j \lambda_{j \text{cpl}};$$

$$P_{\min}^n(t) = \exp[-\lambda_{\max}^n t], \quad P_{\max}^n(t) = \exp[-\lambda_{\min}^n t], \quad P_{cp}^n(t) = \exp[-\lambda_{cp}^n t];$$

$$m_{t \min}^n = 1/\lambda_{\max}^n, \quad m_{t \max}^n = 1/\lambda_{\min}^n, \quad m_{t \text{cp}}^n = 1/\lambda_{cp}^n,$$

где m – число типов элементов схемы.

3.19. Исходные данные и результаты расчёта

Порядковый номер и тип элемента	Число элементов каждого типа n_j	Границы и среднее значение интенсивности отказов $\lambda_j \cdot 10^6$, 1/ч, $\lambda_{j \min}, \lambda_{j \text{cp}}, \lambda_{j \max}$	Суммарные значения интенсивности отказов элементов определённого типа $n_j \lambda_j \cdot 10^6$, 1/ч, $n_j \lambda_{j \min}, n_j \lambda_{j \text{cp}}, n_j \lambda_{j \max}$
1. Резисторы			
2. Конденсаторы			
3. Диоды			
4. Пайки			
.....			

Расчёт безотказности конструируемого объекта с учётом условий эксплуатации аппаратуры производится с целью установления зависимости безотказности работы устройства от внешних влияющих факторов производится с помощью поправочных коэффициентов для интенсивностей отказов по формуле

$$\lambda_j^3 = \lambda_{0j} K_{1,2j} K_{3j} K_{4j},$$

где λ_{0j} – интенсивность отказов j -го элемента в номинальном режиме; $K_{1,2j}$ – коэффициент, учитывающий одновременное воздействие вибрации и ударных нагрузок; K_{3j}, K_{4j} – коэффициенты, учитывающие воздействие климатических факторов и высоты соответственно.

Если в объекте содержится n_j однотипных элементов, имеющих одинаковые значения λ_j и K_j^3 , то для всей электрической схемы интенсивность $\lambda_{\text{СХ}}^3$ определяется по формуле

$$\lambda_{\text{СХ}}^3 = \sum_{j=1}^m n_j \lambda_{0j} K_j^3.$$

Значения интенсивности и поправочных коэффициентов приведены в таблицах П.3.1 – П.3.3 [53].

Исходные данные интенсивности отказов $\lambda_{\text{СХ}}^3$ для расчёта электрической схемы с учётом условий эксплуатации заносятся в табл. 3.20.

3.20. Исходные данные интенсивности отказов

Номер и наименование элемента	Обозначение на схеме	Тип элемента	Количество элементов j -го типа n_j , шт.	Интенсивность отказов в номинальном режиме $\lambda_{0j} \cdot 10^6$, 1/ч	Поправочные коэффициенты						Интенсивность отказов элемента j -го типа с учётом условий эксплуатации, $n_j \lambda_{0j} K_j^3 \cdot 10^6$, 1/ч
					K_{1j}	K_{2j}	$K_{1,2j}$	K_{3j}	K_{4j}	K_j^3	

Уточнённый расчёт показателей безотказности N_{CX}^Y производится, когда конструкция объекта в основном определена. Здесь прежде всего учитывается отклонение электрической нагрузки ЭЭС и окружающей их температуры от номинальных значений. Интенсивности отказов j -го типа и всей схемы рассчитывается по формулам:

$$\lambda_j^Y = \lambda_{0j}^3 a_j, \quad \lambda_{CX}^Y = \lambda_{CX} = \sum_{j=1}^m n_j \lambda_j^Y,$$

где a_j – поправочный коэффициент, определяемый как функция коэффициента K_{nj} , учитывающего электрическую нагрузку и температуру T_j для элемента j -го типа. Значения коэффициентов для некоторых элементов приведены в табл. П.4.1 – П.4.4 [53].

Коэффициенты нагрузки для резисторов и конденсаторов определяются соответственно по формулам:

$$K_n = W / W_d, \quad K_n = (U_{\text{п}} + U_{\text{имп}} + U_{\text{пер}}) / U_{\text{ном}},$$

где W_d, W – допустимая и средняя мощность, рассеиваемая на резисторе; $U_{\text{ном}}, U_{\text{п}}$ – номинальное и постоянное напряжение на конденсаторе; $U_{\text{имп}}$ – амплитуда импульсного напряжения; $U_{\text{пер}}$ – амплитуда переменной составляющей напряжения.

Для удобства расчёта λ_{CX}^Y заполняется табл. 3.21.

3.21. Коэффициенты нагрузки для резисторов и конденсаторов

Номер и наименование элемента	Обозначение на схеме	Тип элемента	Количество элементов j -го типа n_j , шт.	Интенсивность отказов в номинальном режиме $\lambda_{0j} \cdot 10^6$, 1/ч	Поправочные коэффициенты			Уточнённая интенсивность отказов элемента j -го типа с учётом условий эксплуатации, $\lambda_j^p \cdot 10^6$, 1/ч	Уточнённая интенсивность отказов элементов j -го типа $n_j \lambda_j a_j \cdot 10^6$, 1/ч
					K_{nj}	T_j , °C	a_j		

Для транзисторов в качестве K_n берётся максимальный из следующих коэффициентов:

$$U_{кэ} / U_{кэ,д}, U_{кб} / U_{кб,д}, U_{эб} / U_{эб,д}, W / W_d,$$

где $U_{кэ}$, $U_{кб}$, $U_{эб}$ – прямое напряжение между коллектором и эмиттером, коллектором и базой, эмиттером и базой; $U_{кэ,д}$, $U_{кб,д}$, $U_{эб,д}$ – допустимое прямое напряжение между коллектором и эмиттером, коллектором и базой, эмиттером и базой; W_d , W – допустимая и рассеиваемая на транзисторе мощности.

Для диодов коэффициент нагрузки берётся с учётом коэффициентов по прямому току $I_{пр}$, обратному току $I_{обр}$ и напряжению U , тогда:

$$K_n = \left\{ (I_{пр,раб} / I_{пр,ном}); (I_{обр,раб} / I_{обр,ном}); (U_{раб} / U_{ном}) \right\}.$$

Коэффициент нагрузки для контактов реле, выключателей, коммутационных устройств и монтажных проводов определяется отношением рабочего и номинального токов: $K_n = I_{раб} / I_{ном}$, а для обмоток реле и электромагнитов – относительным временем нахождения их под нагрузкой или относительной наработкой.

В заключении анализа надёжности разрабатываемого объекта рассчитываются окончательные значения нормируемых ПН, которые учитывают все возможные виды отказов – отказы элементов электри-

ческой схемы, конструкционные, технологические, эксплуатационные и др.

Например, анализ данных по отказам ЭС показывает, что 60% всех отказов вызвано нарушениями ЭРЭ принципиальной схемы, 30% – ошибками конструкции и 10% – нарушениями технологии изготовления и сборки. Тогда для всего объекта общая интенсивность отказов определяется по формуле

$$\lambda_{об} = \lambda_{СХ} K_k K_T,$$

где K_k, K_T – поправочные коэффициенты, учитывающие увеличение интенсивности отказов за счёт ошибок в конструкции и нарушений в технологии соответственно.

Эти коэффициенты приближённо определяются по формулам:

$$K_k = (\delta_{СХ} + \delta_k) / \delta_{СХ} = 1,5; \quad K_T = (\delta_{СХ} + \delta_k + \delta_T) / (\delta_{СХ} + \delta_k) = 1,1,$$

где $\delta_{СХ}, \delta_k, \delta_T$ – доли в процентах трёх видов отказов соответственно.

4. Общие выводы.

Провести сравнительную оценку основных показателей надёжности базового и проектируемого вариантов. Сравнительную оценку рекомендуется выполнить в виде табл. 3.22.

В выводе указать в процентном содержании, на сколько наработка на отказ проектируемого варианта выше базового, а также дать предложение по дальнейшему улучшению надёжности ЭС.

Подробно этапы расчёта надёжности изложены в учебном пособии [53].

3.22. Сравнительная оценка основных показателей надёжности

Этапы расчёта	$\lambda \cdot 10^6,$ 1/ч	$m_t,$ ч	$m_{t\text{ доп}},$ ч	$\lambda_{\text{доп}} \cdot 10^6,$ 1/ч
Прикидочный расчёт				
Расчёт с учётом условий эксплуатации				
Уточнённый расчёт				
Расчёт с учётом всех видов отказов				

3.9.2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ЭС

3.9.2.1. Контроль качества ЭС в процессе производства

В общем случае под контролем качества изделия понимается проверка количественных и качественных характеристик (показателей) его свойств на соответствие установленным требованиям.

Качество – это совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворить установленные и предполагаемые потребности. Качество продукта закладывается в процессе его разработки и производства, а оценивается при эксплуатации потребителем с помощью показателей.

Объектом качества могут быть: 1) деятельность или процесс; 2) продукция как материальная, например, в виде технических изделий, так и не материальная, например, информация, а также комбинация из них; 3) организация, система или отдельное лицо; 4) любая комбинация из первых трёх.

Показатели качества – это параметры качества, имеющие количественные характеристики (например, масса, размеры и т.п.) или качественные характеристики в баллах, которые могут оцениваться органолептически, например, цвет и т.д.

Для достижения требуемого качества ЭС большую роль играет организация контроля качества (рис. 3.12).

При контроле материала, полуфабриката, заготовки и детали обязательной проверке подлежат: марка материала (кроме детали), геометрические и физико-химические параметры, внешние и внутренние дефекты. Для сборочной единицы, комплекса, комплекта предусмотрен контроль геометрических и функциональных параметров, внешних и внутренних дефектов.

На всех стадиях (операциях) технологического процесса предусматривается контроль качественных и количественных характеристик изделий, средств технологического оснащения и контроля. Процессы контроля должны обеспечивать решение задач, установленных для входного, операционного и приёмочного контроля, и охватывать весь технологический процесс и его результаты, предотвращать попадание дефектных заготовок и изделий на последующие этапы изготовления.

При входном контроле контролируется качество материалов, полуфабрикатов, заготовок, комплектующих деталей, сборочных единиц (в соответствии с ТУ и договорами контроль осуществляют специальные подразделения).

При операционном контроле контролируются параметры деталей и сборочных единиц в процессе изготовления (контроль осуществляют исполнитель, мастер, контролёр). Операционный контроль осуществляет исполнитель операции, руководитель участка, контролёр ОТК.

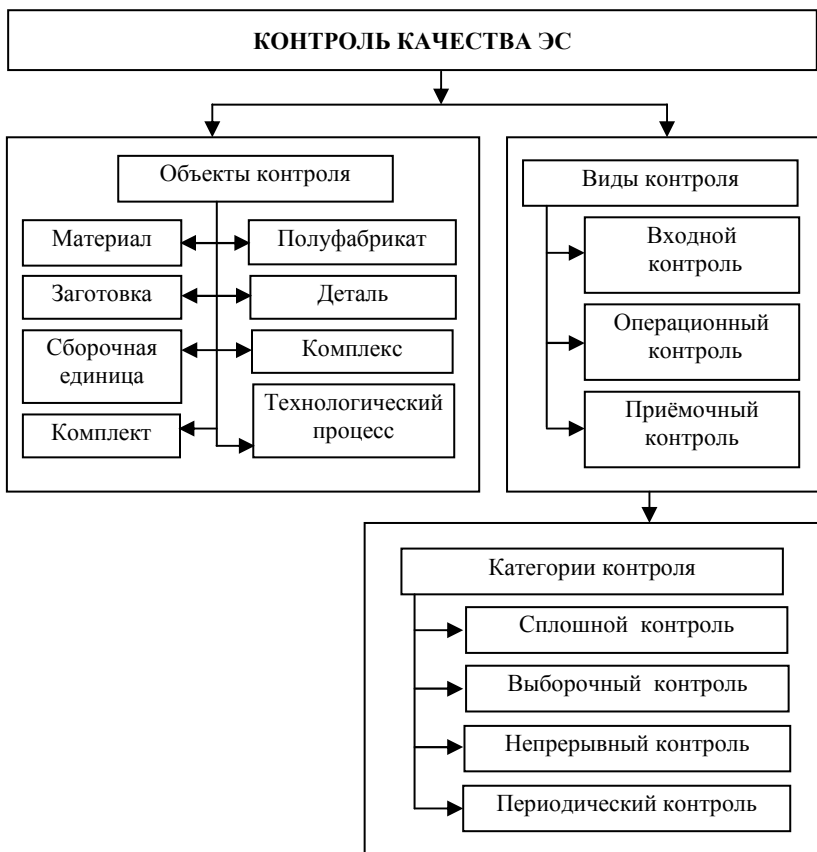


Рис. 3.12. Контроль качества ЭС

При приёмочном контроле контролируется качество готовой продукции в соответствии с требованиями нормативно-технической документации (ОТК, при необходимости представитель заказчика).

Процессы контроля подразделяют на четыре категории, применяемые по усмотрению предприятия (рис. 3.12). По полноте охвата контролёром любая категория контроля подразделяется на сплошной контроль и выборочный контроль, а по связи с объектом контроля – на непрерывный и периодический.

Сплошной контроль применяют в условиях высоких требований к уровню качества продукции, у которых недопустим пропуск дефектов в дальнейшем производстве и эксплуатацию. Выборочный контроль применяют для изделий, когда их количество достаточно для обеспечения качественного статистического метода контроля.

Непрерывный контроль применяют для обеспечения постоянного контроля количественных и качественных характеристик изделия с помощью средств автоматического или полуавтоматического контроля. Периодический контроль применяют при установившемся производстве и стабильности технологического процесса.

3.9.2.2. Управление качеством ЭС

В соответствии со стандартом ISO 8420 следует различать:

- 1) управление качеством (quality control), которое касается средств оперативного характера для выполнения требований к качеству;
- 2) обеспечение качества (quality assurance), направленное на достижение уверенности в выполнении требований к качеству как внутри организации, так и у потребителей;
- 3) общее руководство качеством (quality management), включающее управление качеством и обеспечение качества, а также дополнительные понятия, в том числе политику в области качества, планирование и улучшение качества.

Широко используемое понятие Всеобщее Управление Качеством (ВУК) следует рассматривать как принципиально новый подход к управлению любой организацией, нацеленный на качество, он основан на участии всех её членов и направлен на достижение долгосрочного успеха через удовлетворение требований потребителя и выгоды как для членов организации, так и общества. Таким образом, основными чертами ВУК являются долговременная стратегия глобального руководства организацией и участие всех её членов в интересах самой организации, потребителей и общества в целом.

Система управления качеством, как правило, применяется ко всем видам деятельности, влияющим на качество продукции ЭС, и взаимодействует с ними. Это воздействие распространяется на все стадии жизненного цикла продукции и процессов – от первоначального определения и до конечного удовлетворения требований заказчика. Вид деятельности системы управления качеством ЭС представлен на рис. 3.13.

1. Маркетинг и изучение рынка предполагает выявление требований к продукции (изделию). Результатом выполнения этого этапа является выдача задания отделу проектирования технических условий на продукцию, которую предлагается модернизировать или спроектировать заново.

2. Проектирование и разработка продукции – это перевод требований технических условий на разработку конструкторской документации для изготовления изделий.

3. Планирование и разработка процессов предусматривает разработку технологических процессов производства, процессов измерения и средств как для контроля в процессе изготовления деталей и сборочных единиц, так и готовой продукции ЭС.

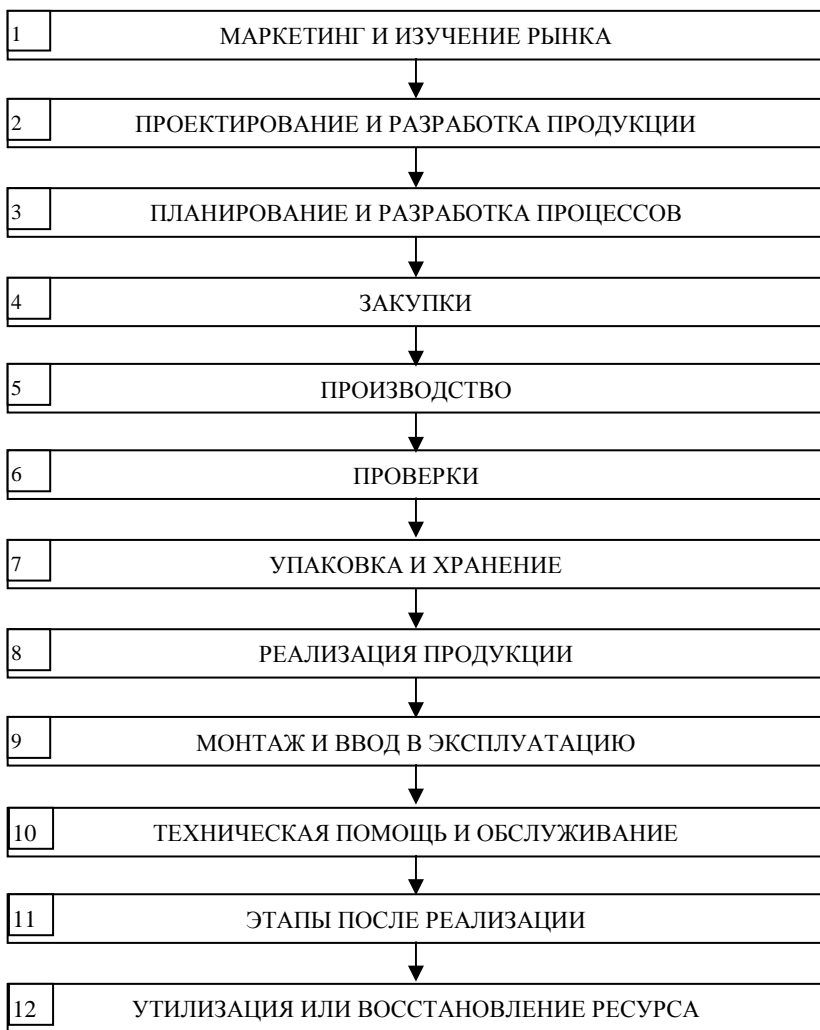


Рис. 3.13. Деятельность системы управления качеством

4. Этап закупки предполагает, что для производства новой продукции необходимо приобрести сырьё, материалы, комплектующие изделия, средства измерения и контроля, расходные материалы и т.п.

5. Производство ЭС начинается после того, когда разработаны технологические процессы и закуплены необходимые материалы и комплектующие части. Результатом этого этапа являются изделия ЭС.

6. Проверки осуществляют контроль качества как выполнения технологического процесса в процессе производства, так и готовой продукции.

7. Этап упаковки и хранения предусматривает организацию процесса консервации, упаковки и хранения готовых изделий.

8. Реализация продукции требует высокой организации в ходе погрузочно-разгрузочных работ и при её транспортировке.

9. Монтаж и ввод в эксплуатацию изделий предусматривает организацию помощи в монтажных работах или снабжение соответствующими инструкциями потребителя.

10. Техническая помощь и обслуживание предусматривает получение от изготовителя технической помощи в период эксплуатации и в период гарантийного срока эксплуатации.

11. Этапы после реализации продукции должны предусматривать необходимую помощь после окончания гарантийного срока (техническая документация по техническому обслуживанию и ремонту) и получение информации о работоспособности в процессе эксплуатации, чтобы вносить изменения по улучшению качества продукции.

12. Утилизация или восстановление ресурса является важным этапом жизненного цикла продукции. В настоящее время утилизация ЭС занимает много времени, так как на старые изделия при проектировании не в полной мере разработаны нормативно-технические документы.

3.9.2.3. Показатели качества ЭС

Качество ЭС оценивается совокупностью характеристик, в том числе целевое назначение, надёжность, безопасность и др. Группы основных показателей качества представлены на рис. 3.14.

Показатели качества могут быть единичными, относящимися только к одному из его свойств в группе (масса в группе назначения, вероятность безотказной работы в надёжности и т.п.); или групповыми (комплексными), относящимися к нескольким свойствам группы (коэффициент готовности в надёжности и т.д.).

Во многих случаях качество ЭС определяется на основе сравнения характеристик разрабатываемой ЭС с некоторой образцовой. Для такой относительной оценки качества используются базовые показатели.

3.9.2.4. Комплексный показатель уровня качества ЭС

В задачах выбора оптимального варианта проектируемого изделия обычно для сравнения вариантов используют комплексный (обобщённый) показатель качества.

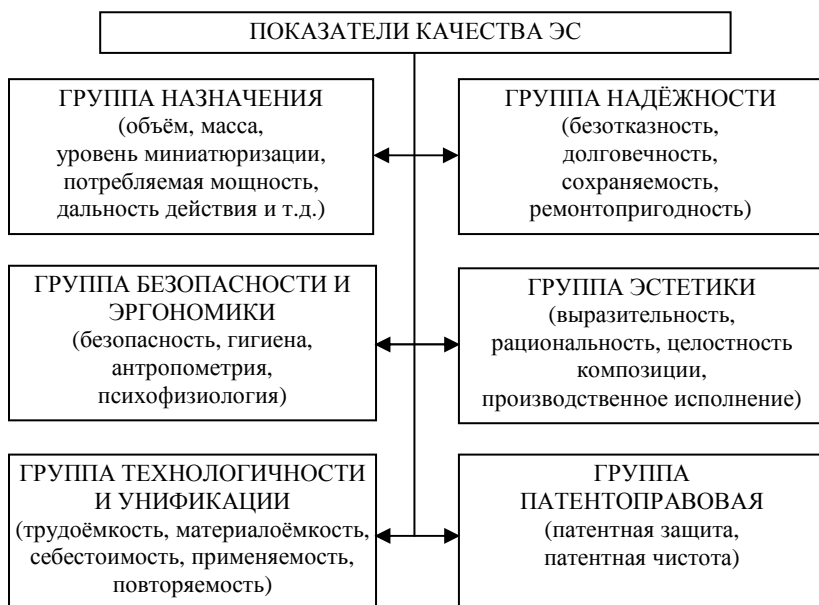


Рис. 3.14. Показатели качества

3.9.2.5. Методика расчёта комплексного показателя уровня качества ЭС

Комплексный показатель Q уровня качества изделия можно представить в виде суммы «взвешенных» значений частных показателей q_i , $i = \overline{1, N}$, т.е.

$$Q = \sum_{i=1}^N q_i a_i,$$

где a_i – весовой коэффициент i -го частного показателя; N – количество частных показателей качества.

В практике определения значений весовых коэффициентов a_i наиболее широко используются стоимостной, вероятностный и экспертный методы.

1. Стоимостной метод предполагает, что весовые коэффициенты a_i зависят от затрат, которые со временем меняются:

$$a_i(t) = \frac{S_i(t)}{\sum_{i=1}^N S_i(t)},$$

где $S_i(t)$ – стоимостные затраты на обеспечение i -го показателя качества в текущий момент времени t .

Недостатком этого метода является необходимость частого пере-счёта значений a_i при изменении цен на материалы, энергоресурсы и т.д.

2. Вероятностный метод основан на том, что систематически производятся статистическая обработка показателей качества и проектов и определяется некоторая функция, показывающая зависимость a_i от степени приближения i -го свойства показателя качества к эталонному значению. Весовой показатель выше, чем ближе значение q_i к эталону.

3. Экспертный метод позволяет находить весовые коэффициенты a_i на основе обработки мнений группы специалистов. С целью повышения объективности получения оценок a_i процедура обработки строго регламентируется и сводится к следующему:

1) устанавливается ограниченный перечень свойств (показателей), наиболее полно характеризующих качество ЭС (обычно их число 5...10);

2) устанавливается балльная шкала оценок. Например, применяются следующие оценки качества: 3 балла – «отлично», 2 балла – «хорошо», 1 балл – «удовлетворительно», «плохо» соответствует нулю баллов. Такие баллы обеспечивают значительную разницу, т.е. психологически обоснованную между оценками «хорошо» и «удовлетворительно» – 100%, а между «хорошо» и «отлично» – 50%;

3) проводится экспертиза. Для чего привлекается экспертная группа, например, из семи специалистов, предпочтительно стабильная по составу. Оценка a_i считается принятой, если число голосов за неё не менее пяти;

4) для повышения достоверности получаемых результатов выставление баллов производится в два тура при открытом обосновании каждым экспертом своей оценки между турами.

Метод предполагает, что голоса всех экспертов одинаковы, поэтому большое значение имеет место подбор состава экспертной группы [54].

3.9.2.6. Оценка качества ЭС

Расчёт показателей качества конструкции ЭС выполняют с помощью заполнения карты технического уровня показателей качества. Уровень качества конструкции (УКК) оценивается в три этапа [54].

1. Выбор номенклатуры показателей качества конструкции ЭС. Например, для наземных ЭС могут быть выбраны следующие шесть

групп показателей качества: назначения, надёжности, безопасности и эргономики, эстетики, технологичности и унификации, патентно-правовая группа (патентная защита, патентная чистота).

2. Подбор аналогов и выбор базового изделия. Базовым считается изделие, которое по показателям качества превосходит на настоящий момент другие изделия и его техническая реализуемость подтверждена на практике.

3. Заполнение карты технического уровня показателей качества и расчёт УКК.

Расчёт УКК производится одновременно с заполнением карты технического уровня. Этот расчёт основан на сравнении показателей качества оцениваемой (разрабатываемой) конструкции с базовыми показателями. Сравнение производится сначала для оценки частных показателей УКК каждого свойства (масса, вероятность безотказной работы и т.д.), затем для каждой группы показателей (надёжность, технологичность и т.д.) и по ним для обобщённого показателя качества ЭС.

Для расчёта единичных показателей свойств конструкции в случае, если повышение её качества характеризуется уменьшением показателя (масса, габариты, трудоёмкость, энергопотребление и др.), используется формула

$$q_{ji} = B_{ji} / D_{ji}, \quad i = 1, 2, \dots, n_j,$$

где q_{ji} – единичный (частный) уровень качества i -го свойства конструкции для j -й группы показателей; B_{ji} – базовый показатель i -го свойства конструкции для j -й группы; D_{ji} – показатель i -го свойства оцениваемой конструкции для j -й группы показателей; n_j – число частных показателей j -й группы.

Если повышение качества конструкции характеризуется увеличением показателя (прочность, дальность действия, время наработки на отказ и т.д.), то расчёт q_{ji} выполняется по формуле

$$q_{ji} = D_{ji} / B_{ji}.$$

Для оценки группового уровня качества конструкции Q_j по j -й группе показателей используется выражение

$$Q_j = \sum_{i=1}^{n_j} a_{ji} q_{ji},$$

где a_{ji} – весовой коэффициент i -го свойства в j -й группе показателей оцениваемой конструкции.

Обобщённый показатель качества конструкции ЭС Q_{06} оценивается по формуле

$$Q_{06} = \sum_{j=1}^N A_j Q_j,$$

где A_j – весовой коэффициент j -й группы показателей качества оцениваемой конструкции; N – количество групп показателей качества.

Если обобщённый показатель качества ЭС $Q_{06} > 1$, то качество ЭС в целом лучше базового ЭС.

Следует заметить, что оценка Q_{06} существенно зависит от назначаемых весовых коэффициентов a_{ji} и A_j . Эти коэффициенты должны быть больше для наиболее важных показателей и удовлетворять условиям нормировки, т.е.

$$\sum_{i=1}^{n_j} a_{ji} = 1, \quad j = \overline{1, N}; \quad \sum_{j=1}^N A_j = 1.$$

Пример заполнения карты технического уровня приведён в табл. 3.23.

3.23. Карта технического уровня

№ показателя	Наименование показателя	Численное значение показателя				
		B_{ji}	D_{ji}	q_{ji}	a_{ji}	$q_{ji} a_{ji}$
1.	Группа назначения					
1.1.	Объём, дм ³	25	20	1,25	0,3	0,375
1.2.	Масса, кг	160	120	1,33	0,2	0,266
1.3.	Мощность потребляемая, Вт	160	130	1,23	0,3	0,369
1.4.	Уровень миниатюризации	200	220	1,1	0,2	0,22

$$Q_1 = 1,23; \quad A_1 = 0,3; \quad A_1 Q_1 \approx 0,369$$

2.	Группа надёжности					
2.1.	Время наработки до отказа, ч	2000	2500	1,25	0,4	0,5
2.2.	Средний срок службы, лет	6	6	1	0,2	0,2
2.3.	Среднее время восстановления, ч	2	1	2	0,4	0,8

$$Q_2 = 1,5; \quad A_2 = 0,3; \quad A_2 Q_2 \approx 0,45$$

№ показателя	Наименование показателя	Численное значение показателя				
		B_{ji}	D_{ji}	q_{ji}	a_{ji}	$q_{ji} a_{ji}$
3.	Группа безопасности и эргономики					
3.1.	Безопасность, баллы	3	3	1	0,4	0,4
3.2.	Гигиена, баллы	3	3	1	0,1	0,1
3.3.	Антропометрия, баллы	3	2,6	1,30	0,3	0,39
3.4.	Психофизиология, баллы	3	3	1	0,2	0,2
$Q_3 = 1,090; A_3 = 0,1; A_3 Q_3 \approx 0,109$						
4.	Группа эстетики					
4.1.	Выразительность, баллы	3	3	1	0,2	0,2
4.2.	Рациональность формы, баллы	2	3	1,5	0,4	0,6
4.3.	Совершенство производственного исполнения	3	3	1,0	0,4	0,4
$Q_4 = 1,2; A_4 = 0,4; A_4 Q_4 = 0,12$						
5.	Группа технологичности и унификации					
5.1.	Трудоёмкость, нормо-ч	220	200	1,1	0,5	0,55
5.2.	Материалоёмкость, кг	120	100	1,2	0,2	0,24
5.3.	Себестоимость, тыс. р.	11	10	1,1	0,2	0,22
5.4.	Применяемость	0,5	0,6	1,2	0,1	0,12
$Q_5 = 1,13; A_5 = 0,1; A_5 Q_5 = 0,113$						
6.	Группа патентно-правовая					
6.1.	Патентная защита, баллы	2	3	1,5	0,8	1,2
6.2.	Патентная чистота, баллы	2	2	1	0,2	0,2
$Q_6 = 1,4; A_6 = 0,1; A_6 Q_6 = 0,14$						
$Q_{06} = 1,301$						

В выводе указать в процентном содержании: на сколько качество проектируемого варианта лучше базового.

3.9.3. ИСПЫТАНИЯ ЭС

3.9.3.1 Общие сведения об испытаниях

Испытания ЭС представляют собой совокупность операций по проверке соответствия фактических характеристик (показателей) задаваемым требованиям. Проверке подлежат показатели надёжности и назначения, энергетические, эксплуатационные и другие характеристики.

Оценить фактические значения показателей качества изделий, обосновать необходимость мероприятий по их улучшению можно главным образом на основе проведения испытаний, сбора и статистической обработки экспериментальных данных.

Из большого числа методов математической статистики для использования в производственных и эксплуатационных условиях отобран ряд эффективных инструментов контроля качества (семь основных инструментов контроля качества), которые позволяют решать большинство проблем повышения качества. К этим методам относятся следующие.

1. Контрольный листок. Он используется для сбора данных и их упорядочения для упрощения дальнейшего использования собранной информации, представляет собой бумажный бланк, на котором заранее напечатаны контролируемые параметры. Данные в него заносятся с помощью простых пометок.

Перед сбором данных надо чётко определить причину и цель сбора данных, разработать стратегию процессов сбора и анализа данных, задаваться вопросами (и уметь отвечать на них) – почему?, где?, сколько?, как?, кто?, когда?, как долго?

2. Контрольная карта. Целью применения контрольных карт является текущий контроль качества за производством и предупреждение брака путём своевременного вмешательства в технологический процесс.

Контрольная карта – диаграмма, позволяющая наглядно отразить ход производственного процесса и выявить нарушения технологии.

Построение контрольных карт включает следующие этапы:

- 1) выбор показателя и вида карты;
- 2) отложение на оси ординат значения контролируемого параметра (x) или его характеристик;
- 3) отложение на оси абсцисс времени t взятия выборки;
- 4) построение трёх линий: центральной (требуемое значение x), линии верхнего контрольного предела K_v (UCL – Upper Control Level), линии нижнего контрольного предела K_n (Lower Control Level).

Процесс считается контролируемым, если систематические составляющие его погрешности регулярно выявляются и устраняются, а

остаются только случайные составляющие погрешностей, которые обычно имеют нормальный закон распределения.

Основная цель – снабжение работников информацией относительно того, удовлетворяет ли продукция техническим требованиям, выявление отклонений в процессе, сигнализирующих о том, что продукция не соответствует определённым требованиям. Обычно новый сбор статистических данных начинают после корректирующих мероприятий (капитальный ремонт и т.д.).

3. Гистограмма (эмпирическая плотность вероятности). Гистограмма позволяет зрительно оценить закон распределения контролируемой случайной величины и количественно оценить ряд коэффициентов, характеризующих качество производственного процесса (коэффициент годности, коэффициент смещения, индекс годности).

4. Диаграмма разброса или рассеяния. Диаграмма характеризует вид и тесноту связи между парами соответствующих переменных (x , y). В математической статистике это корреляционное поле или поле корреляции. Парой (x , y) может быть: характеристика качества (y) и влияющий фактор (x); две характеристики качества; два фактора.

Диаграмма разброса используется для определения вида и тесноты связи, анализа характера изменения параметров качества во времени, оценки тесноты связи, определения временного шага взаимосвязи переменных.

5. Диаграмма Парето (метод ABC-анализа). Диаграмма Парето – метод, позволяющий распределить усилия для разрешения возникающих проблем и выявить основные причины, с которых надо начинать действовать. Основная идея – надо разделить проблемы на немногочисленные, несущественно важные, и многочисленные, но несущественные. Виды проблем: появление брака, поломки оборудования, рекламации, затоваривание склада и т.д. Различают два вида диаграмм Парето:

1) диаграмма Парето по результатам деятельности. Она предназначена для выявления главной проблемы и отражает следующие нежелательные результаты: качество (дефекты, поломки, ремонты, ошибки, отказы, рекламации, возвраты продуктов); себестоимость (объём потерь, затраты); сроки поставок (нехватка запасов, ошибки в составлении счетов, срыв сроков поставок); безопасность (несчастные случаи, аварии, трагические ошибки);

2) диаграмма Парето по причинам проблем, возникающих в ходе производства. Она используется для выявления главной из причин: исполнитель работы (смена, бригада, возраст, опыт, квалификация, индивидуальные характеристики); оборудование (станки, инструменты, оснастка, организация использования, модели); сырьё (вид, изготовитель, партия, поставщик); метод работы (условия производства,

приёмы, последовательность операций, заказы-наряды); измерения (точность, верность и повторяемость); стабильность (повторяемость в течение длительного периода); тип измерительного прибора.

Метод ABC-анализа диаграммы Парето предполагает выделение групп А (наиболее важных затрат, образцов и т.д.), В (промежуточная) и С (малозначимые данные).

6. Метод стратификации (расслаивания данных). Данные, разделённые на группы в соответствии с их особенностями, называют слоями или стратами. Стратификация (расслаивание) есть процесс разделения данных на слои (страты). Метод стратификации заключается в селекции статистических данных с целью получения информации о процессе, данные группируются в зависимости от условий их получения, и каждая группа обрабатывается в отдельности. Существуют разные методы расслаивания. Метод 5М используется наиболее часто в производственных условиях. Метод предполагает учёт пяти факторов:

1) расслаивание по исполнителям (человек – man) – квалификация, стаж работы, пол и т.д.;

2) расслаивание по машинам (machine) и оборудованию – марка, новое и старое, конструкция, фирма и т.д.;

3) расслаивание по материалу (material) – партия, фирма-производитель, место производства, качество сырья и т.д.;

4) расслаивание по способу (методу – method) производства – температура, технология, место и т.д.;

5) расслаивание по измерению (measurement) – метод, тип измерительных средств, точность и т.д.

7. Причинно-следственная диаграмма (диаграмма Исикавы). Причинно-следственная диаграмма (ПСД) определяет характер (структуру) многофакторных отношений типа причина–следствие (результат) по данным систематических наблюдений. Знание этой структуры в виде простой и доступной формы облегчает решение проблемы. ПСД позволяет выявить наиболее существенные факторы (причины), влияющие на конечный результат (следствие). ПСД предложил профессор Токийского университета Каору Исикава на терминологию в области контроля качества. Эта диаграмма показывает отношения между показателем качества и воздействующими на него факторами. Обычно ПСД используется совместно с методом расслаивания 5М. Структура диаграммы напоминает скелет рыбы.

«Хребет» скелета связывает различные причины (факторы) и показатели качества. «Большие кости» характеризуют главные причины первого уровня А, В, С, D, E, F, G, которые являются следствиями других причин: A_1 , A_2 , ... для А и т.д. A_j , B_j , ... «средние кости», могут быть и третичные причины – «малые кости».

Основными целями испытания ЭС являются:

- определение оптимальных конструктивно-технологических решений при создании новых ЭС;
- доводка изделий до необходимого уровня качества;
- объективная оценка качества изделий при их постановке на производство, в процессе производства и при техническом обслуживании.

Для контроля качества и приёмки изделий устанавливаются основные категории.

В настоящее время наряду с рассмотренными методами широко используются метод дисперсионного анализа, факторного анализа, проверки статистических гипотез и др.

Испытания для оценки качества и надёжности по видам делятся на:

- специальные для оценки одного показателя;
- совмещенные, когда одновременно оценивается несколько параметров;
- наблюдения, т.е. данные собираются в процессе эксплуатации.

В свою очередь специальные испытания подразделяются на контрольные и определительные.

Контрольные испытания предназначены для оценки соответствия изделий техническим условиям. К ним относятся:

- приёмо-сдаточные испытания, предназначенные для приёма изделия заказчиком;
- периодические испытания, проводимые в календарные сроки для контроля качества выпускаемых изделий (если изделие не выдержало периодического испытания, производство приостанавливается до устранения причин возникновения дефектов и получения положительных результатов повторных испытаний);
- типовые испытания (проводятся для оценки эффективности и целесообразности предполагаемых изменений в изделии).

Определительные испытания предназначены для определения наиболее важных показателей качества на основе данных средств измерения контроля с заданной точностью и достоверностью.

Каждая категория включает разные виды испытаний (в частности, электрические, механические, климатические, на надёжность и др.).

Для сокращения времени испытаний используют ускоренные испытания, которые могут проводиться в нормальном, форсированном или комбинированном режимах.

3.9.3.2. Организация и статистическая обработка результатов испытаний

Организация испытаний предполагает подготовку их и проведение в соответствии с определённой методикой. В частности, методика проведения контрольных испытаний на надёжность должна включать следующие позиции:

- периодичность, метод и планы проведения испытаний;
- число испытываемых изделий и правила их отбора в выборку для испытаний;
- режимы испытаний, контролирование параметров и периодичность их проверки;
- необходимое испытательное и контрольно-измерительное оборудование;
- номенклатура и значения параметров для принятия решения о годности или отбраковке испытываемых изделий;
- порядок учёта и выявления причин отказов.

При необходимости в методику включается порядок проведения технического обслуживания и ремонта испытываемых изделий.

Результаты испытаний оформляются протоколом, который содержит:

- наименование и код продукции по существующему классификатору;
- основные сведения об изделии (тип, марка, параметры и т.п.);
- цель испытаний и число испытанных образцов (с указанием номеров изделий, партий, дат выпуска);
- информацию о программе и методике испытаний;
- сведения о наблюдавшихся отказах и их классификация, выявленные причины отказов;
- результаты испытаний и выводы о соответствии опытных образцов изделий заданным требованиям и значения достигнутых показателей;
- рекомендации по совершенствованию изделий с целью повышения уровня надёжности.

Испытание изделий на качество и надёжность проводится согласно разработанному плану. План испытаний при контроле показателей надёжности должен содержать число образцов, поставленных на испытание, стратегию проведения испытаний (с восстановлением или заменой отказавших изделий, без восстановления или замены отказавших изделий), правила прекращения испытаний, число независимых наблюдений и отрицательных исходов, которое позволяет принять решение о соответствии (или несоответствии) изделий заданным требованиям к уровню надёжности.

При испытаниях на надёжность наблюдением может быть время безотказной работы, продолжительность восстановления и т.д., отрицательным исходом наблюдения – наступление отказа, невозможность восстановления в течение заданного времени и т.п.

При контроле надёжности невосстанавливаемых изделий объём выборки равен необходимому числу наблюдений. Для восстанавливаемых изделий объём выборки может быть уменьшен, если независимость наблюдений обеспечена к началу очередного наблюдения.

Стандартами рекомендуется ряд типовых планов испытаний и условные обозначения этих планов. Например, план [NRT] означает, что на испытания ставятся N объектов (N – объём выборки), отказавшие в ходе испытаний объекты заменяются новыми (символ R), продолжительность испытаний T . Для данного плана оценка интенсивности отказов $\hat{\lambda}$ в предположении экспоненциального распределения времени работы до отказа производится по формуле

$$\hat{\lambda} = d / NT ,$$

где d – число отказов за время испытаний.

При использовании плана [NUT] отказавшие во время испытаний объекты не восстанавливают и не заменяют новыми (символ \cup). Для этого плана

$$\hat{\lambda} = d / S ,$$

где S – суммарная наработка за время испытаний [54].

3.10. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В разделе по безопасности жизнедеятельности в квалификационной работе бакалавра необходимо обосновать, что проектируемое изделие ЭС отвечает требованиям электрической и пожарной безопасности. На предприятии-изготовителе, где реализуются технологические процессы изготовления, регулировки, настройки и контроля ЭС, также необходимо предусмотреть мероприятия по электробезопасности, защите от вредного воздействия электромагнитных полей на рабочем месте, пожарной профилактике производственных помещений, охране окружающей среды, гигиене труда и промышленной санитарии, освещению, вентиляции, кондиционированию помещения. Охрана труда при производстве ЭС включает анализ условий труда при изготовлении изделий ЭС, организацию рабочих мест, защиту от вредных и опасных факторов, чрезвычайных ситуаций на производстве.

При подготовке раздела «Безопасность жизнедеятельности» в квалификационной работе необходимо руководствоваться соответст-

вующей методической литературой, рекомендуемой кафедрой «Безопасность жизнедеятельности в ноосфере» ФГБОУ ВПО «ТГТУ», а также учебными пособиями, учебниками, санитарными нормами и правилами (СНиП) по охране труда и безопасности жизнедеятельности, указанными в списке использованных и рекомендуемых источников литературы настоящего учебного пособия.

В квалификационной работе в разделе «Безопасность жизнедеятельности» следует рассмотреть следующие вопросы: обзор опасных веществ, применяющихся в производстве [55], характеристику производственных помещений [56], защиту от электромагнитных излучений [57], пожарную безопасность зданий и сооружений [58], расчёт искусственного освещения [59], расчёт кондиционирования воздуха [60], расчёт защитного заземления [55]. Вопросы безопасности жизнедеятельности должны сопровождаться соответствующими расчётами, обоснованием и конкретными мероприятиями.

Основными направлениями совершенствования технологической подготовки производства ЭС являются: повышение технической и экономической эффективности ТПП, применение автоматизации и прогрессивных технологий при разработке технологических процессов на всех этапах ТПП: изготовления, сборки, контроля, регулировки и настройки, испытания и оценки качества ЭС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учебное пособие по подготовке бакалаврской работы при внимательном его прочтении позволит студентам решить важную задачу в их жизни – защиту квалификационной работы по проектированию и технологии электронных средств.

В пособии приводятся рекомендации по написанию основных разделов квалификационной работы, примеры выполнения отдельных расчётов по конструированию ЭС, а также имеются ссылки на список рекомендуемой литературы.

Однако для решения поставленной перед студентами задачи недостаточно материалов настоящего пособия. Необходимо сконцентрировать полученные в процессе учебы в университете знания и использовать их при проектировании ЭС.

Следует внимательно изучить этапы жизненного цикла подготовки квалификационной работы, составить график планирования работы по проектированию не формально, а выполнять его, чтобы квалификационная работа была выполнена в срок. Конечно, важны все этапы жизненного цикла, но приоритетными являются 7, 8 и 9 этапы. Именно эти этапы отражают суть квалификационной работы – новизну схемотехнических, конструкторских и технологических решений в работе и новизну теоретических исследований в научной бакалаврской работе.

Для обеспечения качества полученных решений при проектировании и ускорения этого процесса необходимо своевременно обращаться за помощью к назначенным консультантам – специалистам по разделам квалификационной работы.

При подготовке заключения по выполненной бакалаврской работе следует указать выводы по всем разделам работы:

- при проведении маркетинговых исследований выбраны: изготовитель изделия ЭС, поставщики комплектующих и потребители продукции;

- в результате патентного поиска выбран аналог проектируемого изделия, определены его недостатки и, в соответствии с этим, направление проектирования;

- выполнена схемотехническая реализация проектируемого ЭС, заключающаяся в модернизации электрической схемы аналога на основе применения современной элементной базы и улучшении выходных технических характеристик;

- разработана конструкция ЭС с применением новых материалов и технологий изготовления с учётом электромагнитной совместимости, ремонтпригодности и отвечающая современным требованиям дизайна и эргономики;

– проведены необходимые конструкторские расчёты: надёжности, тепловой, на механические воздействия и др. (указать выводы по результатам расчёта);

– осуществлена технологическая подготовка производства, выполнена оценка технологичности конструкции ЭС – конструкция технологична, так как комплексный показатель технологичности соответствует нормативному диапазону для проектируемого блока; разработаны технологические процессы сборки блока (указать тип сборки) и изготовления печатной платы (указать способ изготовления печатной платы);

– выполнено технико-экономическое обоснование бакалаврской работы (приводятся данные об экономическом эффекте от внедрения ЭС и за счёт чего он получен);

– рассмотрены вопросы охраны труда и безопасности жизнедеятельности (привести соответствующие расчёты и мероприятия);

– разработана система автоматизации при проектировании и изготовлении изделий ЭС (указываются применяемые автоматизированные и автоматические линии, станки с числопрограммным управлением, робототизированные комплексы);

– при проектировании использованы современные информационные технологии (указать какие).

В заключении по выполненной квалификационной работе указываются направления дальнейшего совершенствования проектируемого электронного средства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования направления подготовки бакалавра техники и технологии 551000 «Проектирование и технология электронных средств». Министерство образования РФ. Москва. 2000 г.
2. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 211000 «Конструирование и технология электронных средств». Министерство образования и науки РФ. Москва. 2009 г.
3. Стандарт предприятия. СТП ТГТУ 07–97. Проекты (работы) дипломные и курсовые. Правила оформления / сост. С.Н. Кузнецов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 40 с.
4. Комплексная программа производственной практики : метод. указ. / сост. : З.М. Селиванова, Д.Ю. Муромцев. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 20 с.
5. Селиванова, З.М. Технология радиоэлектронных средств : учеб. пособие / З.М. Селиванова. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010. – 80 с.
6. Селиванова, З.М. Технология радиоэлектронных средств : лаб. практикум / З.М. Селиванова, А.В. Петров. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 80 с.
7. Безопасность жизнедеятельности в дипломных проектах : учеб. пособие / А.В. Бояршинов, В.М. Дмитриев, В.Ф. Егоров и др. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 124 с.
8. Баканов, Г.Ф. Основы конструирования и технологии радиоэлектронных средств : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Г.Ф. Баканов, С.С. Соколов, В.Ю. Суходольский ; под. ред. И.Г. Мироненко. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с.
9. Белоусов, О.А. Основные конструкторские расчёты в РЭС : учеб. пособие / О.А. Белоусов, Н.А. Кольтюков, А.Н. Грибков. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 84 с.
10. Конструирование блоков РЭС : метод. указ. / сост. : Ю.Л. Муромцев, Н.А. Кольтюков, О.А. Белоусов, Е.Н. Яшин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – Ч. 1. – 28 с.
11. Пирогова, Е.В. Проектирование и технология печатных плат / Е.В. Пирогова. – М. : Радио и связь, 1997. – 255 с.
12. Кольтюков, Н.А. Проектирование несущих конструкций РЭС / Н.А. Кольтюков, О.А. Белоусов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009 – 84 с.

13. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры : учеб. пособие для ВУЗов / Е.М. Парфенов и др. – М. : Радио и связь, 1989. – 272 с.
14. Гелль, П.П. Конструирование и микроминиатюризация РЭА : учебник для ВУЗов / П.П. Гелль, Н.К. Иванов-Есипович. – Л. : Энергоатомиздат, 1984. – 535 с.
15. Базовый принцип конструирования РЭА / под ред. Е.М. Парфенова. – М. : Радио и связь, 1981. – 272 с.
16. Ненашев, А.П. Конструирование радиоэлектронных средств / А.П. Ненашев. – М. : Высшая школа, 1990. – 431 с.
17. Схемотехника электронных систем. Аналоговые и импульсные устройства / В.И. Бойко, А.Н. Гуржий, В.Я. Жуйков и др. – СПб. : БХВ – Петербург, 2004. – 496 с.
18. Электроника и микропроцессорная техника. Дипломное проектирование систем автоматизации и управления : учебник / под ред. д-ра техн. наук, проф. В.И. Лачина. – Ростов на/Д. : Феникс, 2007. – 576 с.
19. Селиванова, З.М. Схемотехника электронных средств : учеб. пособие / З.М. Селиванова. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 80 с.
20. Хоровиц, П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл : пер. с англ. – изд. 7-е. – М. : Мир, БИНОМ, 2009. – 704 с.
21. Радиовещание и электроакустика : учебник для вузов / С.И. Алябьев, А.В. Выходец, Р. Гермер и др. ; под ред. Ю.А. Ковалгина. – М. : Радио и связь, 2000. – 792 с.
22. Дэвис, Д. Карманный справочник радиоинженера / Д. Дэвис, Дж.Дж. Карр / пер с англ. Т.И. Сенниковой. – М. : Издательский дом «Додэка–XXI», 2006. – 544 с.
23. Селиванова, З.М. Общая электротехника и электроника : учеб. пособие по курсовому проектированию / З.М. Селиванова, [Ю.Л. Му-ромцев.] – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 120 с.
24. Волович, Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств / Г.И. Волович. – М. : Издательский дом «Додэка–XXI», 2007. – 526 с.
25. Опадчий, Ю.Ф. Аналоговая и цифровая электроника : учебник для вузов / Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров. – М. : Радио и связь, 2002. – 768 с.
26. Корис, Р. Справочник инженера – схемотехника / Р. Корис, Х. Шмидт-Вальтер. – М. : Техносфера, 2006. – 608 с.
27. Гурин, А. Программно-инструментальные средства разработки и отладки / А. Гурин, П. Перевозчиков. – <http://www.rlocman.ru>

28. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры : учебник для вузов / К.Н. Билибин, А.И. Власов, А.В. Журавлева и др. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 528 с.
29. Проектирование и технология электронных средств : учебное пособие по дипломному проектированию / З.М. Селиванова, Д.Ю. Муромцев, Т.И. Чернышова и др. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2011. – 172 с.
30. Котлер, Ф. Основы маркетинга / Ф. Котлер ; пер. с англ. – М. : Прогресс, 1990. – 733 с.
31. Грачева, К.А. Практикум по организации и планированию машиностроительного производства : учеб. пособие / К.А. Грачева, Л.А. Некрасов, Л.А. Одинцова ; под ред. Ю.В. Скворцова, Л.А. Некрасова. – М. : Высшая школа, 2004. – 431 с.
32. Организация производства / под общ. ред. О.В. Туровец. – Воронеж : ВГТУ, 1993. – 384 с.
33. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования (Госстрой, Минэкономики, Минфин, Госкомпром), 1994. – 421 с.
34. ГОСТ 14.004–83. Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий.
35. Грошев, В.Н. Технология радиоэлектронных средств : учеб. пособие / В.Н. Грошев. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 80 с.
36. Белевцев, А.Т. Технология производства радиоаппаратуры / А.Т. Белевцев. – М. : Энергия, 1971. – 554 с.
37. Технология и автоматизация производства радиоэлектронной аппаратуры : учебник для вузов / И.П. Бушминский, О.Ш. Даутов, А.П. Достанко и др. ; под. ред. А.П. Достанко, Ш.М. Чабдарова. – М. : Радио и связь, 1989. – 624 с.
38. Павловский, В.В. Проектирование технологических процессов изготовления РЭА / В.В. Павловский, В.И. Васильев, Т.Н. Гутман. – М. : Радио и связь, 1982. – 160 с.
39. ГОСТ 3.1118–82. Единая система технологической документации. Формы и правила оформления маршрутных карт.
40. T-FLEX Технология. – <http://www.tflex.ru>
41. Программно-методический комплекс технологической подготовки производства ТЕМП. – <http://temp-system.narod.ru>
42. АДЕМ-VX. Проектирование техпроцессов, подготовка технологической документации. – <http://www.adem.ru>
43. B2B-Energo. Программно-технические комплексы для автоматизации и проектирования. – <http://www.b2b-energ.ru>
44. Клио-Софт. Управляющие программы для станков с ЧПУ и технологической подготовки производства. – <http://www/clio-soft.ru>

45. САПР ТП SWR-Технология. Система подготовки технологической документации. – <http://www.solidworks.ru>
46. P50-54-71–88. Рекомендации. Единая система технологической документации. Автоматизированное формирование форм технологических документов на основе баз данных.
47. Система автоматизированной подготовки производства САМ. – <http://www.ru.wikipedia>
48. ASCON. Автоматизация проектирования техпроцессов и выпуска технологической документации. – <http://www.itshop.ru>
49. Разработка технологической документации (CAPP). – <http://www.qk-it-consult.ru>
50. Автоматизация конструкторско-технологической подготовки производства на базе программных продуктов T-FLEX. – <http://www.cad.dp.ua/obzors/tflex.php>
51. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры / под ред. В.А. Шахнова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 528 с.
52. Технология и автоматизация производства радиоэлектронной аппаратуры / под ред. А.П. Достанько, Ш.М. Чабдарова. – М. : Радио и связь, 1989. – 624 с.
53. Муромцев, Ю.Л. Надёжность радиоэлектронных и микропроцессорных систем : учеб. пособие / Ю.Л. Муромцев, В.Н. Грошев, Т.И. Чернышова / Московский институт химического машиностроения. – М., 1989. – 104 с.
54. Муромцев, Ю.Л. Проектирование многослойных печатных плат: учеб. пособие / Ю.Л. Муромцев, А.П. Пудовкин, Н.А. Малков. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. – 84 с.
55. Фролов, А.В. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда : учеб. пособие для вузов / А.В. Фролов, Т.Н. Бакаева ; под общ. ред. А.В. Фролова. – Ростов н/Д. : Феникс, 2005. – 730 с.
56. НПБ 105–95. Определение категорий помещений и зданий по взрывоопасной и пожарной опасности. – 34 с.
57. СанПин 2.2.4.1191–03. Электромагнитные поля в производственных условиях: Санитарные нормы и правила. – СПб. : Изд-во ДЕАН, 2003. – 32 с.
58. СНиП 21-01–97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – 34 с.
59. СНиП 23-05–95. Естественное и искусственное освещение: Строительные нормы и правила. – М. : Минстрой России, 1995. – 35 с.
60. СНиП 2.04.05–91. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Строительные нормы и правила. – М. : Стройиздат, 1991. – 34 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Образец заполнения информационно-удостоверяющего листа

200					
Номер п/п	Обозначение документа	Наименование документа, вид документа		Примечание	
				Обозначение основного документа	10
					20
					20
	Цель выпуска	Дата выдачи задания	Дата защиты		10
	Разработка дипломного проекта				
	Разработал				
	Проверил				
	Т. контроль				
	Н. контроль				
	Утвердил				5
	55	50	45	45	
			Лист	Листов	5
					10

Перечень документов, сдаваемых в архив

№ п/п	Название документа	Обозначение документа	Количество штук	Количество листов
1	Бакалаврская работа на CD-диске	ТГТУ. 465636.024 ДЭ	1	–
2	Информационно-удостоверяющий лист	ТГТУ.465636.024 УЛ	1	12
3	Рецензия	–	1	1
4	Отзыв	–	1	1

Бакалаврскую работу сдал
согласно перечню

дата, подпись

А.В. Иванов

Бакалаврскую работу принял
согласно перечню

дата, подпись

С.Н. Петрова

Разработано службой
метрологии и
стандартизации

С.Н. Кузнецов

Согласовано:

Проректор
по методической работе и
качеству образования

Н.П. Пучков

Проректор
по научно-инновационной
деятельности

С.И. Дворецкий

Заведующая архивом

Л.В. Киреева

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ	6
2. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ БАКАЛАВРА	8
2.1. Жизненный цикл подготовки квалификационной работы бакалавра	8
2.2. Рекомендуемое содержание квалификационной работы	24
3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОСНОВНЫМ РАЗДЕЛАМ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ	27
3.1. Техническое задание	27
3.1.1. Назначение, технические характеристики и параметры изделия	27
3.1.2. Выбор элементной базы и проверка её на соответствие условиям эксплуатации	28
3.1.3. Эргономические требования	29
3.2. Планирование работ	30
3.2.1. Этапы и сроки выполнения работ	30
3.2.2. Используемые информационные средства	32
3.3. Эскизный проект	33
3.3.1. Описание и анализ работы блока	33
3.3.2. Трассировка и размещение элементов печатного узла	34
3.3.3. Специальная разработка	34
3.4. Технический проект	35
3.4.1. Окончательная компоновка блока ЭС	35
3.4.2. Выбор оптимального варианта компонования блока	37
3.4.3. Разработка несущей конструкции	42
3.4.4. Обеспечение защиты блока от механических и внешних климатических воздействий	43

3.4.5. Расчёт амортизаторов	45
3.4.6. Расчёт упаковочной тары для транспортирования ...	47
3.4.7. Расчёт теплового режима	49
3.4.8. Проектирование функционального узла	54
3.4.8.1. Выбор метода изготовления печатной платы	54
3.4.8.2. Расчёт печатного монтажа	55
3.4.8.3. Расчёт печатной платы на механические воздействия	61
3.4.8.4. Расчёт теплонагруженных элементов функционального узла	64
3.5. Схемотехническая разработка	73
3.6. Техничко-экономическое обоснование квалификационной работы бакалавра	77
3.7. Рабочая документация	78
3.8. Производство продукта	80
3.8.1. Технология производства ЭС в квалификационной работе бакалавра	80
3.8.2. Технологическая подготовка производства	81
3.8.3. Оценка технологичности конструкции изделий электронных средств	83
3.8.4. Разработка технологического процесса изготовления детали (печатной платы)	86
3.8.5. Техничко-экономическое обоснование технологического процесса сборки блока ЭС	88
3.8.6. Выбор технологического оборудования и оснастки ..	91
3.8.7. Технологический процесс сборки электронных средств	93
3.8.8. Автоматизация технологической подготовки производства ЭС	98

3.9. Автоматизация производства изделий ЭС	101
3.9.1. Расчёт надёжности блока ЭС	105
3.9.2. Обеспечение и оценка качества изделий ЭС	111
3.9.2.1. Контроль качества ЭС в процессе производства	111
3.9.2.2. Управление качеством ЭС	113
3.9.2.3. Показатели качества ЭС	115
3.9.2.4. Комплексный показатель уровня качества ЭС	115
3.9.2.5. Методика расчёта комплексного показателя уровня качества ЭС	116
3.9.2.6. Оценка качества ЭС	117
3.9.3. Испытания ЭС	121
3.9.3.1. Общие сведения об испытаниях	121
3.9.3.2. Организация и статистическая обработка результатов испытаний	125
3.10. Безопасность жизнедеятельности	126
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	128
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	130
ПРИЛОЖЕНИЯ	134
Приложение А. Образец заполнения информационно- удостоверяющего листа	134
Приложение Б. Перечень документов, сдаваемых в архив	135

Учебное издание

СЕЛИВАНОВА Зоя Михайловна,
МУРОМЦЕВ Дмитрий Юрьевич,
БЕЛОУСОВ Олег Андреевич

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Учебное пособие

Редактор Л.В. Комбарова
Инженер по компьютерному макетированию М.Н. Рыжкова

Подписано в печать 17.04.2012.
Формат 60 × 84 / 16. 8,14 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 188

Издательско-полиграфический центр ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14