

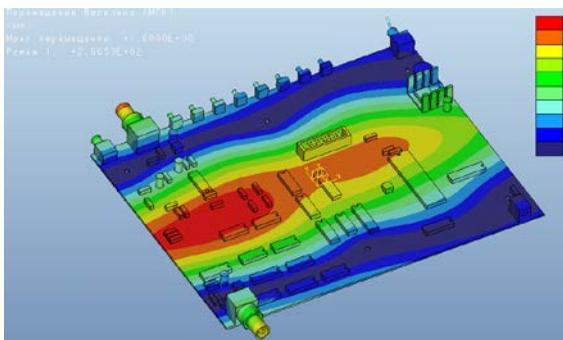
Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по самостоятельной работе по дисциплине  
«Современные РЭС специального назначения: особенности  
проектирования и эксплуатации»  
направления 11.04.03 «Конструирование и технология элек-  
тронных средств», магистерская программа  
"Автоматизированное проектирование и  
технология радиоэлектронных средств  
специального назначения" всех форм обучения



Воронеж 2021

УДК 621.3.049.7.002 (075)  
ББК 38.54

**Составители:**

канд. техн. наук А.В. Турецкий,  
ассистент Е.В. Турецкая.

Рабочая программа, методические указания по самостоятельной работе по дисциплине «Современные РЭС специального назначения: особенности проектирования и эксплуатации» направления 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств», магистерская программа "Автоматизированное проектирование и технология радиоэлектронных средств специального назначения" / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. А.В. Турецкий, Е.В. Турецкая Воронеж, 2021. 15 с.

Методические указания предназначены для проведения самостоятельной работы по курсу «Современные РЭС специального назначения: особенности проектирования и эксплуатации». Методические указания предназначены для магистров техники и технологии по направлению 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств».

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MS Word 2003 и содержатся в файле SRS SRSN.doc.

Библиогр.: 6 назв.

**УДК 621.3.049.7.002 (075)**  
**ББК 38.54**

**Рецензент** - О.Ю. Макаров, д-р техн. наук, проф.  
кафедры конструирования и производства  
радиоаппаратуры ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета*

## 1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Система университетского образования предполагает рациональное сочетание таких видов учебной деятельности, как лекции, практические занятия, самостоятельная работа студентов, а также контроль полученных знаний.

- Лекция представляет собой систематическое, последовательное изложение учебного материала. Это – одна из важнейших форм учебного процесса и один из основных методов преподавания в вузе. На лекциях от студента требуется не просто внимание, но и самостоятельное оформление конспекта. Качественный конспект должен легко восприниматься зрительно, в его тексте следует соблюдать абзацы, выделять заголовки, пронумеровать формулы, подчеркнуть термины. В качестве ценного совета рекомендуется записывать не каждое слово лектора (иначе можно потерять мысль и начать писать автоматически, не вникая в смысл), а постараться понять основную мысль лектора, а затем записать, используя понятные сокращения.

- Практические занятия позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности практических занятий для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.

- Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие:

- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;

- выполнение домашних заданий и подготовка к лабораторным работам;
- работа над темами для самостоятельного изучения;
- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;
- подготовка к зачету и выполнение курсовой работы.

Кроме базовых учебников рекомендуется самостоятельно использовать имеющиеся в библиотеке учебно-методические пособия. Независимо от вида учебника, работа с ним должна происходить в течение всего семестра. Эффективнее работать с учебником не после, а перед лекцией.

При ознакомлении с каким-либо разделом рекомендуется прочитать его целиком, стараясь уловить общую логику изложения темы. При повторном чтении хорошо акцентировать внимание на ключевых вопросах и основных формулах. Можно составить их краткий конспект.

Степень усвоения материала проверяется следующими видами контроля:

- текущий (опрос, проверка расчетов на практических работах, отчет лабораторных работ);
- промежуточный (курсовая работа, зачет с оценкой).

Экзамен – форма проверки знаний и навыков, полученных на лекционных и практических занятиях. Сдача всех экзаменов, предусмотренных учебным планом на данный семестр, является обязательным условием для допуска к экзаменационной сессии.

Для успешной сдачи экзамена необходимо выполнить следующие рекомендации – готовиться к экзамену следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до экзамена. Данные перед экзаменом три-четыре дня эффективнее всего использовать для повторения.

## **2. ПРОГРАММА КУРСА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

## Методические указания к теме 1

Сущность процесса проектирования РЭС заключается в разработке конструкций и технологических процессов производства новых радиоэлектронных средств, которые должны с минимальными затратами и максимальной эффективностью выполнять предписанные им функции в требуемых условиях.

Следует подчеркнуть, что в результате проектирования создаются новые, более совершенные РЭС, отличающиеся от своих аналогов и прототипов более высокой эффективностью за счет использования новых физических явлений и принципов функционирования, более совершенной элементной базы и структуры, улучшенных конструкций и прогрессивных технологических процессов. По степени новизны проектируемых изделий различают следующие задачи проектирования:

1. Частичная модернизация существующего РЭС (изменение его параметров, структуры и конструкции), обеспечивающая сравнительно небольшое (несколько десятков процентов) улучшение одного или нескольких показателей качества для лучшего решения тех же или новых задач.

2. Существенная модернизация, которая предполагает значительное улучшение (в несколько раз) показателей качества.

3. Создание новых РЭС, основанных на новых принципах действия, конструирования и производства для резкого увеличения (на несколько порядков) показателей качества при решении тех же или существенно новых задач. Проектирование является сложным многоэтапным процессом, в котором могут принимать участие большие коллективы специалистов, целые институты и научно-производственные объединения, а также организации заказчиков, которым предстоит эксплуатировать разработанную аппаратуру.

С точки зрения последовательности выполнения различают основные стадии проектирования:

1. Предварительное проектирование, результатом которого являются технические предложения (аван-проект). Эта

стадия в наибольшей степени насыщена элементами научного поиска, теоретическими расчетами, экспериментальными исследованиями. Они завершаются обычно созданием лабораторных макетов.

2. Эскизное проектирование, результатом которого является эскизный проект. На этой стадии усилия разработчиков во многом направлены на поиски эффективных конструкторских решений. Она также связана с большим объемом теоретических изысканий, сложных расчетов и заканчивается созданием экспериментальной образца проектируемого изделия и его тщательными экспериментальными исследованиями (натурным моделированием).

3. Техническое проектирование, при котором выполняется тщательная проработка всех схемных, конструкторских и технологических решений. На стадии технического проектирования создается техническая документация на разрабатываемую аппаратуру и процессы ее производства. Итогом является технический проект, содержащий необходимую документацию и опытный образец изделий, прошедший всесторонние испытания в реальных условиях эксплуатации. Следует подчеркнуть чрезвычайную важность и трудоемкость создания технической документации, на основе которой происходит в дальнейшем единичное, серийное или массовое производство РЭС.

С точки зрения содержания решаемых задач процесс проектирования можно разбить на следующие этапы:

1. Системотехническое проектирование, при котором выбираются и формулируются цели проектирования, обосновываются исходные данные и определяются принципы построения системы. При этом формируется структура проектируемого объекта, его составных частей, которыми обычно являются функционально завершенные блоки, определяются энергетические и информационные связи между составными частями. В результате формулируются частные технические задания на проектирование отдельных составных частей объекта.

2. Функциональное проектирование, применительно к РЭС называемое также схемотехническим, имеет целью аппаратную реализацию составных частей системы (комплексов, устройств, узлов). При этом выбирают элементную базу, принципиальные схемы и оптимизируют параметры (осуществляют структурный и параметрический синтез схем) с точки зрения обеспечения наилучшего функционирования и эффективного производства. При выборе элементной базы и синтезе схем стремятся учитывать конструкторско-технологические требования.

3. Конструирование, называемое также техническим проектированием, решает задачи компоновки и размещения элементов и узлов, осуществления печатных и проводных соединений для РЭС всех уровней) (модулей, ячеек, блоков, шкафов), а также задачи теплоотвода, электрической прочности, защиты от внешних воздействий и т.п. При этом стремятся оптимизировать принимаемые решения по конструктивно-технологическим, экономическим и эксплуатационным показателям. На этом этапе проектирования разрабатывают техническую документацию, необходимую для изготовления и эксплуатации РЭС.

4. Технологическая подготовка производства обеспечивает разработку технологических процессов изготовления отдельных блоков и всей системы в целом. На этом этапе проектирования создается технологическая документация на основе предшествующих результатов. Каждый этап проектирования сводится к формированию описаний проектируемого РЭС, относящихся к различным иерархическим уровням и аспектам его создания и работы.

Вопросы для самопроверки.

1. Каковы особенности эксплуатации РЭС спецназначения?

2. Какие пути снижения затрат на проектирование и подготовку производства?

3. Какие промышленные САПР применяются при проектировании РЭС спецназначения?
4. Что включают технические требования на разработку РЭС?

#### Методические указания к теме 2

Этапы проектирования состоят из отдельных проектных процедур, которые заканчиваются частным проектным решением. Типичными для проектирования РЭС процедурами являются анализ и синтез описаний различных уровней и аспектов.

Процедура синтеза заключается в создании проектного решения (описания) по заданным требованиям, свойствам и ограничениям. Например, широко используются при проектировании РЭС процедуры синтеза электронных схем по их заданным характеристикам в частотной или временной области. При этом в процессе синтеза может создаваться структура схемы (структурный синтез), либо определяться параметры элементов заданной схемы, обеспечивающие требуемые характеристики (параметрический синтез).

Процедура анализа состоит в определении свойств заданного (или выбранного) описания. Примерами такой процедуры могут служить расчет частотных или переходных характеристик электронных схем, определение реакции схемы на заданное воздействие и др. Анализ позволяет оценить степень удовлетворения проектного решения заданным требованиям и его пригодность.

Процедуры синтеза и анализа в процессе проектирования тесно связаны между собой, поскольку обе они направлены на создание приемлемого или оптимального проектного решения.

3D моделирование является современным способом создания РЭС. Он открывает широкие возможности по инженерному анализу и оптимизации конструкции.

## Вопросы для самопроверки.

1. Какие системы CAD/ CAE /CAM применяются при создании РЭС спецназначения.
2. Как условия эксплуатации влияют на надежность работы РЭС?
3. Какие виды анализа наиболее востребованы при проектировании РЭС спецназначения?
4. Назовите конструктивные меры обеспечения надежности РЭС?

## Методические указания к теме 3

**CAE** (*Computer-aided engineering*)— общее название для программ и программных пакетов, предназначенных для решения различных инженерных задач: расчётов, анализа и моделирования физических процессов. Расчётная часть пакетов чаще всего основана на численных методах решения дифференциальных уравнений (метод конечных элементов, метод конечных разностей и др.).

Современные системы инженерного анализа (или системы автоматизации инженерных расчётов) (CAE) применяются совместно с CAD-системами (зачастую интегрируются в них, в этом случае получаются гибридные CAD/CAE-системы).

CAE-системы- это разнообразные программные продукты, позволяющие при помощи расчётных методов (метод конечных элементов, метод конечных разностей, метод конечных объёмов) оценить, как поведёт себя компьютерная модель изделия в реальных условиях эксплуатации. Помогают убедиться в работоспособности изделия, без привлечения больших затрат времени и средств.

## Методические указания к теме 4

Типичной проектной процедурой является оптимизация, которая приводит к оптимальному (по определенному критерию) проектному решению. Например, широко исполь-

зуется оптимизация параметров электронных схем с целью наилучшего приближения частотных характеристик к заданным. Процедура оптимизации состоит в многократном анализе при целевом изменении параметров схемы до удовлетворительного приближения к заданным характеристикам. В сущности, оптимизация обеспечивает создание (синтез) проектного решения, но включает поэтапную оценку характеристик (анализ). Проектные процедуры состоят из отдельных проектных операций.

Например, в процессе анализа математических моделей РЭС приходится решать дифференциальные и алгебраические уравнения, осуществлять операции с матрицами и т.п. Такие операции могут иметь обособленный характер, но в целом они образуют единую проектную процедуру. Проектные процедуры и операции выполняются в определенной последовательности, называемой маршрутом проектирования. Маршруты проектирования могут начинаться с нижних иерархических уровней описаний (восходящее проектирование) либо с верхних (нисходящее проектирование).

Следует особо подчеркнуть, что между всеми этапами проектирования существует глубокая связь и взаимосвязь. Так, определение окончательной конструкции и разработка всей технической документации часто не могут быть выполнены до окончания разработки технологии. В процессе конструирования и разработки технологии может потребоваться коррекция принципиальных схем, структуры системы и даже исходных данных. Поэтому процесс проектирования является не только многоэтапным, но и многократно корректируемым по мере его выполнения, т.е. процесс носит итерационный характер.

В процессе проектирования необходимо не просто создать аппаратуру, которая будет обеспечивать заданное функционирование, но и оптимизировать ее по широкому спектру функциональных, конструкторско-технологических, эксплуатационных и экономических показателей. На отдельных этапах для отдельных частных задач оптимизацию можно осуще-

ствить на основе разработанных формальных математических методов.

Однако применительно к комплексным РЭС задача оптимизации часто не поддается формализации. Встречаясь с такой ситуацией, разработчики обычно рассматривают несколько вариантов решения поставленной задачи, подсказанных, как правило, предшествующим коллективным опытом, интуицией, и выбирают лучший из них. Такой подход называется эвристическим многовариантным анализом. Однако в связи со все возрастающей сложностью РЭС, с повышением требований к ним необходимые расчеты оказываются все более трудоемкими, а количество вариантов, целесообразных для рассмотрения, катастрофически возрастает.

Эта ситуация получила название «тирания альтернатив». Часто на этапе проектирования трудно предвидеть некоторые требования, вытекающие из условий эксплуатации. В результате всего этого создание нового РЭС затягивалось на долгие годы. Представляемые к испытаниям опытные образцы часто оказывались не удовлетворяющими заданным требованиям, а доводка аппаратуры происходила в процессе испытаний, что удорожало проектирование во много раз. Подобное положение не было виной разработчиков.

Это результат возникшего принципиального несоответствия традиционного подхода к проектированию и сложности современных радиоэлектронных средств. Указанное противоречие и вызвало интенсивное развитие новой технологии проектирования РЭС, базирующейся на системном подходе и совершенствовании процессов проектирования с применением математических методов и средств вычислительной техники, комплексной автоматизации трудоемких и рутинных проектных работ, замены макетирования и натурного моделирования математическим моделированием, использованием эффективных методов многовариантного проектирования и оптимизации, а также повышением качества управления проектированием. Системный подход позволяет найти оптимальное, в широком смысле, решение задачи проектирования за счет всесто-

ронного, целостного рассмотрения как проектируемого изделия, так и самого процесса проектирования и способен привести к подлинно творческим новаторским решениям, включая крупные изобретения и научные открытия. Главным средством автоматизации проектирования являются ЭВМ и управляемые ими другие технические средства, которые создают необходимую основу для полной реализации потенциальных возможностей системного подхода

Вопросы для самопроверки.

1. Назовите уровни иерархии РЭС.
2. Какие типы систем охлаждения применяются в РЭС?
3. Каковы пути оптимизации конструкции?
4. Какие ограничения могут быть при оптимизации РЭС?

Методические указания к теме 5

Эффективность интеграции данных о промышленных изделиях САЛS-технологии призваны служить средством, интегрирующим промышленные автоматизированные системы в единую многофункциональную систему.

Целью интеграции автоматизированных систем проектирования и управления является повышение эффективности создания и использования сложной техники. В чем выражается повышение эффективности? Во-первых, повышается качество изделий за счет более полного учета имеющейся информации при проектировании и принятии управленческих решений.

Так, обоснованность решений, принимаемых в автоматизированной системе управления предприятием (АСУП), будет выше, если ЛПР (лицо, принимающее решение) и соответствующие программы АСУП имеют оперативный доступ не только к базе данных АСУП, но и к базам данных других автоматизированных систем (САПР, АСПП и АСУТП) и, следовательно, могут оптимизировать планы работ, содержание

заявок, распределение исполнителей, выделение финансов и т.п.

При этом под оперативным доступом следует понимать не просто возможность считывания данных из БД, но и легкость их правильной интерпретации, т.е. согласованность по синтаксису и семантике с протоколами, принятыми в АСУП. То же относится и к другим системам, например, технологические подсистемы должны с необходимостью воспринимать и правильно интерпретировать данные, поступающие от подсистем автоматизированного конструирования. Этого не так легко добиться, если основное предприятие и организации-смежники работают с разными автоматизированными системами.

Во-вторых, сокращаются материальные и временные затраты на проектирование и изготовление продукции. Применение CALS-технологий позволяет существенно сократить объемы проектных работ, так как описания ранее выполненных удачных разработок компонентов и устройств, многих составных частей оборудования, машин и систем, проектировавшихся ранее, хранятся в базах данных сетевых серверов, доступных любому пользователю CALS-технологии. Доступность опять же обеспечивается согласованностью форматов, способов, руководств в разных частях общей интегрированной системы.

Кроме того, появляются более широкие возможности для специализации предприятий, вплоть до создания виртуальных предприятий, что также способствует снижению затрат. В-третьих, существенно снижаются затраты на эксплуатацию, благодаря реализации функций интегрированной логистической поддержки.

Существенно облегчается решение проблем ремонтно-пригодности, интеграции продукции в различного рода системы и среды, адаптации к меняющимся условиям эксплуатации и т.п. Эти преимущества интеграции данных достигаются применением современных CALS-технологий.

Промышленные автоматизированные системы могут работать автономно, и в настоящее время так обычно и происходит. Однако эффективность автоматизации будет заметно выше, если данные, генерируемые в одной из систем, будут доступны в других системах, поскольку принимаемые в них решения станут более обоснованными.

Чтобы достичь должного уровня взаимодействия промышленных автоматизированных систем требуется создание единого информационного пространства в рамках как отдельных предприятий, так и, что более важно, в рамках объединения предприятий.

Единое информационное пространство обеспечивается благодаря унификации как формы, так и содержания информации о конкретных изделиях на различных этапах их жизненного цикла. Унификация формы достигается использованием стандартных форматов и языков представления информации в межпрограммных обменах и при документировании. Унификация содержания, понимаемая как однозначная правильная интерпретация данных о конкретном изделии на всех этапах его жизненного цикла, обеспечивается разработкой онтологий (метаописаний) приложений, закрепляемых в прикладных протоколах CALS.

Унификация перечней и наименований сущностей, атрибутов и отношений в определенных предметных областях является основой для единого электронного описания изделия в CALS-пространстве.

Вопросы для самопроверки.

1. Какова роль ИПИ при создании РЭС спецназначения?
2. Приведите примеры применения ИПИ при разработки современных комплексов РЭС?
3. Каковы перспективы CALS систем в производстве РЭС?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Талицкий, Е.Н. Защита электронных средств от механических воздействий. Теоретические основы: Учеб. пособие [Текст] / Е.Н.Талицкий. -Владим. гос. ун-т. Владимир, 2001. - 256 с.
2. Автоматизация проектирования РЭС [Текст] / О.В. Алексеев, А.А. Головков, И.Ю. Пивоваров [и др.]; под ред. О.В. Алексеева. - М.: Высш. шк., 2000. - 479 с.
3. Автоматизированная система АСОНИКА для проектирования радиоэлектронных средств на принципах CALS-технологий. Т. 1. [Текст] / А.С. Шалумов [и др.]; под ред. Ю.Н. Кофанова. - М.: Энергоатомиздат, 2007. - 368 с.
4. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования [Текст] / И.П. Норенков. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. - 360 с.
5. Конструкторско – технологическое проектирование электронной аппаратуры [Текст] / К.И. Билибин [и др.]; под общ. ред. В.А. Шахнова. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. - 528 с.
6. Автоматизация проектирования и моделирования печатных узлов радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / Ю.Н. Кофанов [и др.]. - М.: Радио и связь, 2000. - 389 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Методические указания для студентов по освоению дисциплины .....	7
2. Программа курса, методические указания и вопросы для самопроверки .....	11
Библиографический список.....	13

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА,  
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по самостоятельной работе по дисциплине  
«Современные РЭС специального назначения: особенности  
проектирования и эксплуатации»  
направления 11.04.03 «Конструирование и технология элек-  
тронных средств», магистерская программа  
"Автоматизированное проектирование и  
технология радиоэлектронных средств  
специального назначения" всех форм обучения

Составители:  
Турецкий Андрей Владимирович  
Турецкая Елена Викторовна

Компьютерный набор А.В. Турецкого

Подписано к изданию \_\_\_\_\_  
Уч.-изд. л. 1,1

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
технический университет»  
394026 Воронеж, Московский просп., 14