**ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЛС**

**Цель и содержание дисциплины**

**Целью освоения дисциплины** **является** углубленное изучение методологии и средств радиолокации, применяемых при разработке радиолокационных систем, путем установления взаимосвязи между их тактическими и техническими характеристиками с учетом реальных условий проектирования аппаратуры.

**Задачами дисциплины являются:**

- изучение тенденций развития теории проектирования радиолокационных систем и перспектив создания новых образцов радиолокационных средств;

- приобретение навыков принятия и обоснования конкретных технических решений при проектировании радиолокационных систем.

**Дисциплина базируется** на следующих дисциплинах: «Радиотехнические цепи и сигналы», «Электродинамика и распространение радиоволн», «Устройства СВЧ и антенны», «Радиоавтоматика», «Цифровая обработка сигналов», «Основы теории радиолокационных систем и комплексов».

Дисциплина изучается в течение одного семестра на следующих видах учебных занятий: лекции, практические занятия и самостоятельная работа.

**Литература:**

1. Баскаков А.И., Жутяева Т.С., Лукашенко Ю.И. Локационные методы исследования объектов и сред. Учебник / Под ред. профессора А.И. Баскакова. - М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 384 с.

2. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. - М.: Радиотехника, 2007. - 145 с.

3. Радиотехнические системы. Учебник / Под ред. Ю.М. Казаринова. - М.: Академия, 2008. - 589 с.

4. Информационные технологии в радиотехнических системах. Учебное пособие для вузов / Под ред. И.Б. Федорова. - М.: Издательство МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2005.- 768 с.

5. Баскаков А.И., Жутяева Т.С., Системы защиты от пассивных помех. Методическое пособие по курсу «Радиолокационные системы». - М.: Изд. дом МЭИ, 2007. – 56 с.

6. Баскаков А.И., Жутяева Т.С., Лукашенко Ю.И. Цифровые процессоры некогерентной обработки сигналов в обзорных РЛС. Методическое пособие по курсу «Радиолокационные и радионавигационные системы». - М.: Изд. дом МЭИ, 2012. – 48 с.

7. Баскаков А.И., Жутяева Т.С., Лукашенко Ю.И., Терехов В.А. Радиолокационные и радионавигационные измерительные системы. Методическое пособие по курсу «Радиолокационные системы». - М.: Изд. дом МЭИ, 2008. – 52 с.

8. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. Учебник для вузов. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2007. - 751 с.

**Жизненный цикл изделия (продукции)**

Под жизненным циклом изделия следует понимать время от начала оформления идеи изделия до окончания физического существования последнего экземпляра этого изделия.

Основные параметры, характеризующие границы этапов жизненного цикла изделия, приведены в таблице 1.

Таблица 1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Наименование этапа | Начало этапа | Окончание этапа |
| 1 | Маркетинговые исследования рынка | Заключение договора на проведение исследований | Сдача отчета по результатам исследований |
| 2 | Генерация идей и их фильтрация | Сбор и фиксирование предложений по проектам | Окончание отбора проектов-конкурентов |
| 3 | Техническая и экономическая экспертиза проектов | Комплектация групп оценки проектов | Сдача отчета по экспертизе проектов, выбор проекта-победителя |
| 4 | НИР | Утверждение ТЗ на НИР | Утверждение акта об окончании НИР |
| 5 | ОКР | Утверждение ТЗ на ОКР | Наличие комплекта конструкторской документации, откорректированный по результатам испытаний опытного образца |
| 6 | Пробный маркетинг | Начало подготовки производства опытной партии | Анализ отчета о результатах пробного маркетинга |
| 7 | Подготовка производства на заводе-изготовителе | Принятие решения о серийном производстве и коммерческой реализации изделия | Начало установившегося серийного производства |
| 8 | Собственно производство и сбыт | Изготовление и продажа первого серийного образца изделия | Постановка потребителю последнего экземпляра изделия |
| 9 | Эксплуатация | Получение потребителем первого экземпляра изделия | Снятие с эксплуатации последнего экземпляра изделия |
| 10 | Утилизация | Момент списания первого экземпляра изделия с эксплуатации | Завершение работ по утилизации последнего изделия, снятого с эксплуатации |

Деятельность и работы на всех этапах жизненного цикла продукции регламентированы соответствующими стандартами (ГОСТ Р 15.000-2016 «Система разработки и постановки продукции на производство. Основные положения»), а также законодательными актами.

Согласно ГОСТ 15.101 под НИР понимается комплекс теоретических и (или) экспериментальных исследований, проводимых с целью получения обоснованных исходных данных, изыскания принципов и путей создания (модернизации) продукции.

Виды НИР: фундаментальные, поисковые, прикладные.

Основными видами работ, характеризующими НИР и позволяющими отнести их к признакам НИР, являются:

- обзор научно-технических достижений в исследуемой области;

- патентные исследования;

- теоретические исследования;

- моделирование и макетирование;

- экспериментальные исследования.

Этап НИР – часть работ, проводимых в рамках НИР, характеризующаяся определенным полученным результатом, являющаяся объектом планирования и финансирования. Согласно ГОСТ 15.101 в общем случае предусмотрены следующие этапы НИР.

1. Этап выбора направления исследований.

2. Этап теоретических исследований.

3. Этап экспериментальных исследований.

4. Этап обобщения и оценки результатов исследований.

Первый этап проводят с целью определения оптимального варианта направления исследований на основе анализа состояния исследуемой проблемы, в том числе результатов патентных исследований, и сравнительной оценки вариантов возможных решений с учетом результатов прогнозных исследований, проводившихся по аналогичным проблемам.

Второй этап проводят с целью получения достаточных теоретических результатов исследований для решения поставленных перед НИР задач. При проведении теоретических исследований должен быть обоснован выбор моделей, методов, программ и (или) алгоритмов, позволяющих увеличить объем знаний для более глубокого понимания и путей применения новых явлений, механизмов или закономерностей.

Третий этап проводят с целью получения достоверных экспериментальных результатов исследований для решения поставленных перед НИР задач. Иными словами – выявление свойств исследуемых объектов, проверка справедливости теоретических исследований и на этой основе широкое и глубокое изучение темы научного исследования.

Четвертый этап проводят с целью подведения итогов и обобщения результатов научно-технических исследований, выпуска обобщенной отчетной научно-технической документации по НИР, оценки эффективности полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем.

Результатами НИР могут стать:

- программные, плановые, методические документы (программы, концепции основных направлений и планов научно-технического развития, федеральных целевых программ, проектов и др. документов) – для поисковых НИР;

- нормативные, технические, организационно-методические, информационно-справочные и учебные документы (положения, стандарты, методики, инструкции, наставления, руководства, пособия, справочники, учебники) – для прикладных НИР;

- макеты, модели, экспериментальные образцы, стенды, научно-методическая документация, нормативно-техническая документация, программная и др. документация, предусмотренная государственным контрактом – для прикладных НИР;

- ТЗ на ОКР или другие НИР - для поисковых НИР.

ОКР – комплекс работ по разработке конструкторской и технологической документации на опытный образец продукции, изготовлению и испытаниям опытного образца продукции, выполняемых при создании (модернизации) нового вида продукции по техническому заданию (ТЗ).

Основными видами работ, характеризующими ОКР и позволяющими отнести их к признакам ОКР, являются:

- эскизное проектирование;

- техническое проектирование;

- конструирование (конструкторская реализация технических решений);

- моделирование, опытное изготовление образцов продукции;

- подтверждение технических решений и их конструкторской реализации путем проведения испытаний макетов и опытных образцов.

Этапом ОКР называют совокупность работ, характеризующуюся признаками их самостоятельного целевого планирования и финансирования, направленную на получение определенных конечных результатов по разработке, проверке и подтверждению соответствия характеристик продукции установленным требованиям.

Требованиями ГОСТ Р 15.201, ГОСТ РВ 15.203 и ГОСТ 2.103 установлены следующие этапы ОКР.

1. Этап технического предложения.

2. Этап эскизного проектирования.

3. Этап технического проектирования.

4. Этап разработки рабочей конструкторской документации (РКД).

5. Этап изготовления опытного образца и проведения предварительных испытаний.

6. Этап проведения приемочных (межведомственных, государственных) испытаний.

В соответствии с ГОСТ 2.118 первый этап проводится с целью выявления дополнительных или уточненных требований к продукции (технических характеристик, показателей качества и др.), которые не могли быть указаны в ТЗ. Техническое предложение может содержать один или несколько вариантов решения задач, поставленных в ТЗ, сопровождаться общими схемами и рисунками. Кроме того, на этапе технического предложения может разрабатываться предварительное технико-экономическое обоснование проведения ОКР и реализации результатов.

Согласно ГОСТ 2.119 второй этап выполняется с целью установления принципиальных (конструктивных, схемных, технологических и др.) решений по новому виду продукции, дающих общее представление о принципе работы и (или) устройстве продукции и его составных частей, выполнении заданных в ТЗ требований к их эксплуатационным характеристикам, а также о возможности изготовления в промышленных условиях.

В соответствии с ГОСТ 2.120 третий этап проводится с целью выявления окончательных технических решений по разрабатываемому изделию (продукции), дающих полное представление о конструкции изделия и принципиальных технологических решениях по его изготовлению в промышленных условиях.

Цель и содержание четвертого этапа заключается в разработке РКД для изготовления и проведения испытаний опытного образца разрабатываемого изделия, в том числе, если это предусмотрено требованиями ТЗ, учебно-тренировочных средств, специального технологического оборудования и оснастки, предназначенных для обеспечения эксплуатации, технического обслуживания и ремонта образца разрабатываемой продукции в процессе эксплуатации, а также программной продукции.

Целью пятого этапа является предварительная оценка соответствия разработанных технических решений и их конструкторской реализации требованиям ТЗ.

Целями шестого этапа являются:

- оценка технических возможностей создаваемой продукции, проверка и подтверждение соответствия технических и эксплуатационных характеристик опытного образца разрабатываемой продукции требованиям ТЗ;

- выдача рекомендаций о целесообразности промышленного (серийного) производства и о готовности разработанной документации к развертыванию промышленного (серийного) производства;

- оценка эксплуатационной документации и выдача заключения о ее допуске к эксплуатации.

Результатом ОКР является получение комплекта РКД для постановки на производство нового вида продукции.

РКД – это совокупность конструкторских документов, предназначенных для изготовления, контроля, приемки, поставки, эксплуатации и ремонта изделия.

Комплект РКД в своем составе может содержать:

- собственно конструкторскую документацию;

- программную документацию;

- эксплуатационную документацию;

- ремонтную и технологическую документацию (в отдельных случаях, если это предусмотрено требованиями ТЗ).

**Этапы разработки РЛС**

Проектирование РЛС начинается с выявления потребности в решении ряда задач, не обеспечиваемых существующими РЛС, т.е. с первого этапа проведения НИОКР, и включает несколько этапов - от подготовки технического предложения на основании ТЗ до испытаний опытного образца, т.е. включает этапы проведения ОКР.

На первом этапе разработки технического предложения производятся расчеты основных технических характеристик проектируемой системы, обеспечивающие тактические характеристики (эксплуатационные показатели), требуемые ТЗ, и оценивается их практическая реализуемость и соответствующие экономические затраты.

Техническое предложение является совокупностью документов, в которых содержаться технические и технико-экономические обоснования целесообразности разработки системы на основании ТЗ заказчика и различных вариантов возможных решений построения системы. Здесь же дается сравнительная оценка предлагаемых решений и существующих систем, а также патентных материалов с учетом эксплуатационных и конструктивных особенностей разрабатываемой системы.

Первый этап проектирования завершается защитой технического предложения на научно-техническом совете (НТС) в присутствии заказчика и разработчика и его утверждением с дополнениями и замечаниями, высказанными при обсуждении.

Второй этап проектирования, называемый эскизным, состоит в анализе всех возможных путей решения поставленной задачи. На этом этапе выбирается оптимальная система, т.е. система, максимально приближенная к идеальной с учетом физических, экономических и технических ограничений, определенных на первом этапе проектирования РЛС. Важную часть второго этапа проектирования составляет уточнение тактических характеристик (эксплуатационных показателей) РЛС.

За основу расчета ТТХ РЛС обычно принимают одну из возможных модификаций уравнения максимальной дальности РЛС, а также другие необходимые соотношения, связывающие тактические и технические характеристики РЛС.

На этапе эскизного проектирования производятся также экспериментальные исследования на макетах отдельных устройств и подсистем проектируемой системы, а также их моделирование на ЭВМ.

В эскизном проекте должны содержаться принципиальные схемные и конструктивные сведения об устройстве и принципе работы РЛС, а также данные, определяющие основные параметры и конструктивные характеристики этой системы. Здесь же должны быть представлены результаты экспериментальных исследований и моделирования на ЭВМ.

Второй этап проектирования завершается защитой эскизного проекта на НТС. При этом формируется ряд замечаний, связанных с необходимостью доработки проекта. После устранения недостатков эскизный проект утверждается и служит основой для дальнейшего проектирования РЛС.

На третьем этапе проектирования, называемый техническим, производится более детальная разработка структурной и функциональной схем РЛС, определяются основные требования к каждому структурному и функциональному узлу, разрабатываются принципиальные электрические схемы устройств, осуществляется макетирование системы в целом или отдельных структурных и функциональных узлов, а затем производятся испытания макетов.

Технический проект представляет собой комплекс конструкторских документов, в которых содержатся окончательные схемные и конструкторские решения, дающие полное представление о том, как устроена разрабатываемая система.

Технический проект после его согласования и утверждения служит основанием для разработки РКД.

Изготовление опытного образца системы осуществляется, как правило, на тех промышленных предприятиях, на которых впоследствии предполагается серийно изготовлять систему.

После изготовления опытного образца выполняются его заводские испытания. Если система по характеристикам соответствует ТЗ, выполняются его натурные испытания в реальных условиях и на объектах, где предусмотрена дальнейшая эксплуатация системы (государственные испытания опытного образца РЛС).

Недостатки, выявленные в процессе заводских и натурных испытаний, устраняют в опытном образце, и производится соответствующая корректировка РКД.

Результатом последнего этапа проектирования (ОКР) является работоспособный опытный образец РЛС, утвержденные заказчиком акты заводских и натурных испытаний и комплект технической документации.

После завершения государственных испытаний подписывается акт, согласно которому система принимается в эксплуатацию и считается сданной заказчику. На заводе-изготовителе начинается этап создания РЛС – изготовление установочной серии.

Курсовой проект (расчетная работа) по радиотехническим системам имеет черты технического предложения и эскизного проекта, при разработке которых на основании ТЗ, выданного преподавателем, выступающим в роли заказчика, результатов информационного и патентного поисков рассчитываются и обосновываются основные ТТХ РЛС и ее основных частей, выбираются методы обнаружения и измерения, обосновываются алгоритмы преобразования сигналов, составляются структурная и функциональная схемы РЛС, выбираются критерии оценки эффективности, позволяющие из нескольких возможных вариантов построения РЛС выбрать лучший.

**Тактические и технические характеристики РЛС**

Приведенный ниже перечень ТТХ РЛС имеет собирательный характер. Это значит, что не каждой РЛС предъявляется весь набор тактических требований (эксплуатационных характеристик). Конкретные требования определяются тактическим назначением РЛС, решаемыми ею задачами и возможными условиями эксплуатации.

Вместе с тем приводимые ниже тактические характеристики могут дополняться в зависимости от конкретных задач, решаемых системой.

Тактические характеристики

1. Назначение РЛС.
2. Условия размещения аппаратуры и особенности ее эксплуатации.
3. Зона действия (рабочая область), характеризуемая дальностью, секторами по азимуту и углу места.
4. Время обзора зоны действия.
5. Характеристики объекта (цели) взаимодействия с РЛС.
6. Типовая и экстремальная помеховые обстановки, в которых РЛС должна сохранять работоспособность.
7. Воспроизводимые и измеряемые координаты и характеристики цели.
8. Вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги.
9. Реальная точность определения координат и характеристик цели при заданной помеховой обстановке.
10. Реальная разрешающая способность по измеряемым координатам и характеристикам цели.
11. Пропускная способность.
12. Способ отображения информации (тип оконечного устройства).
13. Оперативность, определяемая временем, затрачиваемым на обработку информации.
14. Мобильность.
15. Экономичность.
16. Скрытность.
17. Контролепригодность.
18. Ремонтопригодность.
19. Эксплуатационная надежность.
20. Стоимость.
21. Масса, габариты, объем.

Технические характеристики отражают инженерные решения, обеспечивающие выполнения заданных тактических (эксплуатационных) характеристик. Технические характеристики должны быть близкими к оптимальным по заранее определенным критериям оптимальности.

Технические характеристики

1. Вид излучения.
2. Поляризация излучения.
3. Метод модуляции зондирующего сигнала и его параметры.
4. Длительность излучаемого сигнала и характеристики его внутренней структуры.
5. Частота повторения зондирующего сигнала (при его периодическом характере и параметры изменения периода повторения).
6. Импульсная и средняя мощности передатчика.
7. Форма диаграммы направленности излучения и приема.
8. Ширина диаграмм направленности.
9. Вид обзора зоны действия по каждой координате и время обзора.
10. Наличие систем автоматического сопровождения по измеряемым координатам и их характеристики.
11. Наличие автоматических регулировок и их характеристики.
12. Чувствительность приемника.
13. Полоса пропускания приемника.
14. Степень оптимизации приемного тракта.
15. Геометрические размеры антенной системы.
16. Выходные характеристики оконечного устройства.
17. Типы измерителей, масштабы и диапазоны шкал измерений, погрешности измерений.
18. Конструкция и элементная база и т.д.

Обоснование, выбор и расчет совокупности технических характеристик по заданной совокупности тактических – это сложная научно-техническая задача в силу многозначности функциональных связей и влияния статистических факторов.

При обосновании и выборе технических характеристик по заданным тактическим характеристикам выявляется ряд противоречий, преодолевать которые можно путем временного компромисса или применения принципиально нового технического решения.

**Методы проектирования**

В связи со сложностью и многообразием РЛС единых правил их проектирования не существует. Однако можно пользоваться некоторыми общими универсальными методами, рекомендуемыми системотехникой и позволяющими удовлетворительно решать поставленные перед проектировщиком задачи.

Метод экстраполяции

Этот метод наиболее распространен. Он базируется на использовании существующих РЛС в качестве основы для их усовершенствования с целью удовлетворить всем требованиям ТЗ.

Так как большинство новых разработок осуществляется при умеренном расширении характеристик существующих систем, то вполне целесообразно модифицировать существующую аппаратуру для удовлетворения новым требованиям.

Первый этап процесса экстраполяции заключается в точном анализе характеристик существующей аппаратуры. В некоторых случаях этот анализ позволяет выявить один или более очевидных способов получения характеристик, соответствующих новым требованиям.

Метод системотехники

Этот метод применяется в случае, если метод экстраполяции оказывается неприемлемым вследствие отсутствия подходящей базовой РЛС. Он заключается в прямом синтезе новой системы на основе ТЗ. Содержание метода наглядно может быть представлено структурной схемой процесса проектирования, изображенной на рис. 1, где 1 – сведения о назначении, условиях эксплуатации, технических, экономических и других ограничениях; 2 – перечень тактических характеристик системы; 3 – коррекция ТЗ (изменения некоторых тактических характеристик, заполнение пробелов, включение в ТЗ дополнительных требований); 4 – перечень технических характеристик системы и ее состав; 5 – коррекция методов, состава системы, технических характеристик; 6 – альтернативные варианты системы, показатели качества; 7 – коррекция методов, состава системы, технических характеристик; 8 – исходные данные для технического проектирования.

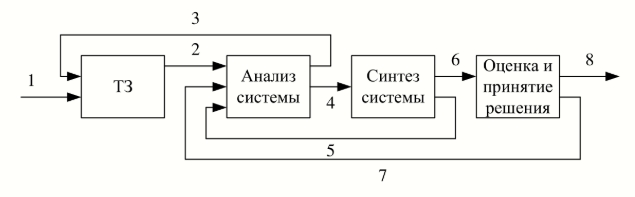


Рис. 1.

На этапе анализа выполняется:

- описание системы;

- выбор методов обнаружения и измерения;

- определение основных технических характеристик системы;

- оптимизация характеристик;

- определение состава системы (отдельных узлов и подсистем).

На этапе синтеза осуществляется:

- составление структурной (функциональной) схемы системы;

- составление функциональных схем подсистем;

- определение технических характеристик подсистем и отдельных узлов;

- составление перечня и определение характеристик альтернативных вариантов.

На последнем этапе процесса проектирования сопоставляются альтернативные варианты построения системы по определенному критерию или совокупности критериев и принимается решение о выборе окончательного варианта или о необходимости выполнить дополнительные операции по выбору новых методов, состава системы, уточнению технических характеристик, а возможно, и уточнению требований ТЗ.