

Министерство образования Республики Беларусь
Учебно-методическое объединение вузов Республики Беларусь
по образованию в области информатики и радиоэлектроники

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель Министра образования
Республики Беларусь

_____ А.И. Жук

_____ /тип.
Регистрационный № ТД-_____ /тип.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

Типовая учебная программа для высших учебных заведений
по специальности 1-39 02 01 Моделирование и компьютерное
проектирование радиоэлектронных средств

СОГЛАСОВАНО

Начальник Управления
радиоэлектронной промышленности
Министерства промышленности
Республики Беларусь

_____ Э.Ф. Лобанович

Председатель УМО вузов Республики
Беларусь по образованию в области
информатики и радиоэлектроники

_____ М.П. Батура

СОГЛАСОВАНО

Начальник Управления высшего и
среднего специального образования
Министерства образования
Республики Беларусь

_____ Ю.И. Миксюк

Ректор Государственного учреждения
образования «Республиканский
институт высшей школы»

_____ М.И. Демчук

Эксперт-нормоконтролер

СОСТАВИТЕЛИ:

В.Ф. Алексеев, доцент кафедры радиоэлектронных средств Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кандидат технических наук, доцент;

Н.И. Каленкович, доцент кафедры радиоэлектронных средств Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кандидат технических наук, доцент;

Т.В. Молодечкина, доцент кафедры конструирования и технологии радиоэлектронных средств Учреждения образования «Полоцкий государственный университет», кандидат технических наук, доцент;

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Кафедра конструирования и производства приборов Белорусского национального технического университета (протокол № 10 от 12.04.2009);

В.И. Курмашев, заведующий кафедрой автоматизированных информационных систем частного учреждения образования «Минский институт управления», доктор технических наук, профессор;

Л.П. Ануфриев, генеральный менеджер по внешнеэкономическим связям Производственного республиканского унитарного предприятия «Завод полупроводниковых приборов», доктор технических наук, профессор

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ ТИПОВОЙ:

Кафедрой радиоэлектронных средств Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол №20 от 04.05.2009);

Кафедра конструирования и технологии радиоэлектронных средств Учреждения образования «Полоцкий государственный университет» (протокол №5 от 05.05.2009);

Научно-методическим советом Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол №2 от 23.10.2009);

Научно-методическим советом по группе специальностей 1-39 02 Конструкции радиоэлектронных средств УМО вузов Республики Беларусь по образованию в области информатики и радиоэлектроники (протокол №10 от 18.05.2009)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Типовая учебная программа «Физические основы проектирования радиоэлектронных средств» разработана для студентов специальности 1-39 02 01 Моделирование и компьютерное проектирование радиоэлектронных средств высших учебных заведений в соответствии с требованиями образовательного стандарта ОСРБ 1-39 02 01-2007 и типового учебного плана специальности 1-39 02 01 Моделирование и компьютерное проектирование радиоэлектронных средств.

Дисциплина предусматривает изучение понятий и методов, используемых для:

- характеристики условий эксплуатации конструкций радиоэлектронных средств (РЭС);

- физических процессов, происходящих в элементах и конструкциях РЭС при действии высоких и низких температур; основных законов теплообмена; тепловых моделей конструкций РЭС и их использование для анализа и расчета температурных режимов элементов и конструкций РЭС различного конструктивного исполнения;

- физических явлений, происходящих в элементах и конструкциях РЭС при высокой влажности, низком и высоком атмосферном давлении;

- физических явлений, происходящих в элементах и конструкциях РЭС при действии механических нагрузок; способы защиты элементов и конструкций РЭС от механических нагрузок; моделирование воздействия механических нагрузок и расчёт эффективности защиты конструкций РЭС;

- изучение действия радиации на конструкционные материалы изделий электронной техники, полупроводниковые приборы и интегральные схемы, радиодетали и компоненты; методы повышения радиационной стойкости элементов и конструкций РЭС;

- источники возникновения электромагнитных помех и их влияние на работоспособность РЭС; способы защиты конструкций РЭС от действия паразитных связей и наводок; моделирование влияния на конструкцию РЭС паразитных связей и наводок; использование моделей для анализа и расчёта эффективности защиты от электромагнитных полей и паразитных связей.

Цель дисциплины: формирование знаний, навыков и умений по основным понятиям, законам, физическим явлениям и моделям теплообмена, влажности, радиации, механических и электромагнитных воздействий.

Дисциплина обеспечивает понимание последующих специальных дисциплин и позволяет оценить процесс проектирования и моделирования конструкторских и технологических решений с точки зрения физических процессов, протекающих в элементах и конструкциях РЭС при воздействии различных дестабилизирующих факторов.

Для изучения дисциплины «Физические основы проектирования радиоэлектронных средств» необходимы знания по следующим дисциплинам: «Высшая математика», «Физика», «Химия», «Физико-химические основы мик-

роэлектроники и технологии», «Теория вероятностей и математическая статистика».

В результате изучения дисциплины обучаемый должен:

знать:

– характеристику воздействий, которым подвергаются РЭС при эксплуатации;

– физические явления, происходящие в конструкциях РЭС при действии тепловых и механических нагрузок, электромагнитных помех и других факторов;

– методы защиты РЭС от действия дестабилизирующих факторов;

уметь:

– выбирать конструкторские способы, обеспечивающие защиту РЭС от дестабилизирующих факторов;

– моделировать воздействие дестабилизирующих факторов на конструкцию РЭС;

– выполнять расчёты по оценке эффективности защиты конструкции РЭС от дестабилизирующих факторов.

Программа рассчитана на объём 380 учебных часов, из них – 170 аудиторных. Примерное распределение аудиторных часов по видам занятий: лекций – 102 часа, лабораторных занятий – 34 часа, практических занятий – 34 часа.

Примерный тематический план дисциплины

Наименование раздела, темы	Всего аудит. часов	Лекции, ч	Практические занятия, ч	Лабораторные занятия, ч
1	2	3	4	5
Введение	2	2		
Раздел 1. Характеристика условий эксплуатации конструкций РЭС	10	6		4
Тема 1. Факторы, определяющие конструкцию РЭС	2	2		
Тема 2. Окружающая среда и ее воздействие на радиоэлектронные средства	8	4		4
Раздел 2. Физико-математические основы конструирования РЭС	6	4	2	
Тема 3. Обобщающие физические модели конструкций радиоэлектронных средств	2	2		
Тема 4. Математические методы анализа физических полей радиоэлектронных средств	4	2	2	

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
Раздел 3. Тепло- и массообмен в радиоэлектронных средствах	54	30	14	10
Тема 5. Основы тепло- и массообмена	2	2		
Тема 6. Перенос тепловой энергии конвекцией	6	4	2	
Тема 7. Перенос тепловой энергии теплопроводностью	8	6	2	
Тема 8. Перенос тепловой энергии излучением	6	4	2	
Тема 9. Тепловая чувствительность элементов радиоэлектронных средств	10	4	2	4
Тема 10. Математические основы характерных тепловых расчетов	4	2	2	
Тема 11. Моделирование тепловых режимов РЭС	10	4	2	4
Тема 12. Системы обеспечения тепловых режимов РЭС	8	4	2	2
Раздел 4. Защита конструкций РЭС от атмосферных воздействий	14	8	2	4
Тема 13. Механизмы влияния влаги на эффективность конструкций РЭС	5	4	1	
Тема 14. Герметизация РЭС	9	4	1	4
Раздел 5. Защита конструкций РЭС от динамических механических воздействий	24	12	4	8
Тема 15. Особенности проектирования РЭС с учетом влияния механических факторов	14	8	2	4
Тема 16. Математические методы расчетов вибраций прочности конструкции РЭС	10	4	2	4
Раздел 6. Действие проникающей радиации на элементы РЭС	18	14	4	
Тема 17. Виды проникающей радиации и их основные характеристики	2	2		
Тема 18. Действие радиации на конструкционные материалы	5	4	1	
Тема 19. Действие радиации на полупроводниковые приборы и интегральные схемы	5	4	1	

Окончание таблицы

1	2	3	4	5
Тема 20. Действие радиации на пьезокварцевые материалы и изделия, электро-радиоизделия	6	4	2	
Раздел 7. Обеспечение электромагнитной совместимости при проектировании РЭС	42	26	8	8
Тема 21. Виды паразитной связи	4	4		
Тема 22. Физические процессы, протекающие в элементах и компонентах РЭС, при воздействии электромагнитных помех	18	10	4	4
Тема 23. Математические методы расчета электромагнитных полей РЭС и экранирование	20	12	4	4
Итого:	170	102	34	34

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

ВВЕДЕНИЕ

Цели и задачи, содержание учебной дисциплины. Основные требования к проектированию современных радиоэлектронных средств. Рекомендуемые литература и учебно-методические пособия.

Раздел 1. ХАРАКТЕРИСТИКА УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ РЭС

Тема 1. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ КОНСТРУКЦИЮ РЭС

Виды классификаций. Классификация радиоэлектронных средств по назначению, объекту установки, условиям применения и конструктивным признакам. Области применения РЭС различного назначения.

Тема 2. ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА И ЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА

Характеристика климатических воздействий (климат, температура, влага, давление, пыль, песок, солнечная радиация). Макроклиматическое районирование. Нормальные значения климатических факторов внешней среды при эксплуатации и испытаниях. Основные требования к проектированию РЭС в части видов воздействующих климатических факторов внешней среды. Номинальные и эффективные значения климатических факторов внешней среды при эксплуатации.

Воздействие ветра и гололеда. Воздействие влаги, пыли, солнечной радиации, ионизирующих излучений и биологических факторов. Воздействие электромагнитных полей.

Особенности проектирование радиоэлектронных средств с учетом климатического исполнения и категории изделий.

Раздел 2. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ РЭС

Тема 3. ОБОБЩАЮЩИЕ ФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОНСТРУКЦИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Графические и знаковые модели: общие положения; общие правила построения и использования. Методы теории подобия и моделирования. Анализ размерностей. П-теорема. Метод подобия.

Преобразование – определяющий физический эффект работы и конструкций РЭС. Обобщающая физическая модель РЭС. Принципы описания конструкций в обобщенных параметрах.

Методика обобщенного исследования преобразования потоков энергии в РЭС.

Тема 4. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Физические эффекты, возникающие в конструкции РЭС, в процессе ее функционирования. Постановка краевых задач. Метод разделения переменных. Метод интегральных преобразований: преобразование Фурье, преобразование Лапласа. Операционный метод. Метод функции Грина. Метод конечных разностей.

Раздел 3. ТЕПЛО- И МАССОБМЕН В РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВАХ

Тема 5. ОСНОВЫ ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА

Основные понятия и определения. Общая характеристика механизмов тепло- и массообмена в РЭС. Тепло- и влагостойкость элементов РЭС. Типовые задачи тепло- и массообмена в РЭС.

Источники тепла в радиоэлектронных средствах. Нормальный тепловой режим РЭС.

Тема 6. ПЕРЕНОС ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ КОНВЕКЦИЕЙ

Теплоотдача при свободном движении жидкости. Критериальные уравнения. Расчетные формулы теплоотдачи различных тел в неограниченном пространстве. Естественная конвекция в ограниченном пространстве. Вынужденная конвекция при внешнем обтекании тел. Вынужденная конвекция в трубах и каналах. Теплообмен при кипении. Теплообмен при конденсации.

Теплообмен конвекцией при давлениях, отличных от нормального.

Тема 7. ПЕРЕНОС ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ

Теплообмен теплопроводностью. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Закон Фурье. Теплопроводность плоской стенки. Теплопроводность цилиндрической стенки. Теплопроводность сферической поверхности. Теплопроводность плоской стенки с внутренним источником теплоты. Теплопроводность цилиндрической стенки с внутренним источником теплоты. Теплопроводность многослойной стенки. Теплопроводность в ребре постоянного сечения. Теплопроводность стержня. Тепловое сопротивление. Конвективный теплообмен. Основы теории подобия.

Тема 8. ПЕРЕНОС ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Теплообмен излучением. Закон Планка, закон Релея – Джинса, закон Вина. Закон Стефана – Больцмана. Закон Ламберта. Излучение черных тел, «серое» тело. Закон Кирхгофа для излучения. Теплообмен излучением между параллельными пластинами, разделенными прозрачной средой. Солнечное излучение.

Тема 9. ТЕПЛОВАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Тепловая чувствительность: конструкционные материалы, пластические материалы, радиокерамические материалы, магнитные материалы, резисторы, конденсаторы, полупроводниковые материалы, интегральные схемы, средства индикации.

Тема 10. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ХАРАКТЕРНЫХ ТЕПЛОВЫХ РАСЧЕТОВ

Задачи теплового режима РЭС, приводящие к уравнениям параболического и эллиптического типов. Постановка краевых задач. Метод разделения переменных в приложении к тепловым расчетам интегральных схем. Операционные методы для расчета нестационарных тепловых режимов. Метод конечных интегральных преобразований при расчетах температуры элементов интегральных схем.

Тема 11. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РЭС

Тепловые модели конструкций радиоэлектронных средств. Методы перехода от реальных конструкций к их тепловым моделям. Принцип местного влияния, принцип суперпозиции тепловых полей.

Тема 12. СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РЭС

Классификация систем охлаждения. Системы обеспечения тепловых режимов РЭС. Элементы и устройства систем обеспечения тепловых режимов. Особенности проектирования РЭС с учетом тепло- и массообмена.

Раздел 4. ЗАЩИТА КОНСТРУКЦИЙ РЭС ОТ АТМОСФЕРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Тема 13. МЕХАНИЗМЫ ВЛИЯНИЕ ВЛАГИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ РЭС

Механизмы проникновения влаги. Влияние влаги на эффективность и качество конструкций РЭС. Влияние биологической среды и пыли.

Тема 14. ГЕРМЕТИЗАЦИЯ РЭС

Виды герметизации. Пропитка. Назначение, особенности конструкций пропитываемых изделий. Основные свойства пропиточных материалов. Обволакивание и заливка. Расчет внутренних напряжений в компаундах при заливке. Методы снижения внутренних напряжений в компаундах. Основные свойства компаундов и рекомендации по их применению.

Разъемная герметизация. Особенности проектирования металлических уплотнителей. Особенности проектирования резиновых уплотнителей. Корпуса, крышки и их соединения. Расчет качества герметизации.

Неразъемная герметизация. Неразъемная герметизация сваркой и пайкой. Проходные изоляторы для герметизированных корпусов. Расчеты герметичности. Расчет усилия обжатия, расчет утечки с помощью алгоритмов автоматизированного проектирования.

Защита покрытиями. Методы определения степени влагозащиты РЭС. Оценочные расчеты степени герметичности блока РЭС.

Раздел 5. ЗАЩИТА КОНСТРУКЦИЙ РЭС ОТ ДИНАМИЧЕСКИХ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Тема 15. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЭС С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Классификация механических воздействий. Параметры гармонических и случайных вибраций. Параметры ударных нагрузок и акустических шумов. Методы измерения параметров механических воздействий.

Методы воспроизведения механических воздействий на испытательных стендах. Методы воспроизведения ударных нагрузок и линейных ускорений.

Виды реакций РЭС на механические воздействия. Реакция резисторов и конденсаторов на механические воздействия. Реакция катушек индуктивности, жгутовых и кабельных соединений на механические воздействия.

Реакция разъемных и контактных соединений на механические воздействия. Производственные механические воздействия.

Тема 16. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ ВИБРАЦИЙ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ РЭС

Динамические характеристики конструкций и элементов РЭС. Основные динамические характеристики блоков РЭС. Определение собственных частот блоков РЭС.

Определение собственных частот ЭРЭ. Расчет собственных частот печатных плат.

Определение вынужденных колебаний элементов в конструкциях РЭС. Методы оценки прочностных свойств элементов конструкций. Экспериментальные методы определения напряженного состояния элементов конструкции.

Способы виброзащиты конструкций РЭС. Виброзащита полупроводниковых приборов и ЭРЭ. Использование заливки и вибропоглощающих покрытий.

Схемы монтажа блоков на виброизоляторах. Разновидности конструкций виброизоляторов. Статический расчет системы виброизоляции.

Динамический расчет системы виброизоляции. Реакция РЭС на ударные нагрузки. Динамический расчет системы изоляции ударных нагрузок.

Методика расчета вибропрочности несущих конструкций. Методы расчета конструкций с использованием ЭВМ (метод конечных элементов).

Метод расчета конструкций с использованием ЭВМ (метод конечных разностей).

Раздел 6. ДЕЙСТВИЕ ПРОНИКАЮЩЕЙ РАДИАЦИИ НА ЭЛЕМЕНТЫ РЭС

Тема 17. ВИДЫ ПРОНИКАЮЩЕЙ РАДИАЦИИ И ИХ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Общие сведения о радиационной обстановке. Радиационная обстановка при ядерном взрыве. Радиационная обстановка на объектах ядерными энергетическими установками. Радиационная обстановка на космических объектах.

Источники радиации, применяемые при экспериментальных исследованиях.

Тема 18. ДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ НА КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Характеристика основных типов радиационных дефектов в твердых телах. Взаимодействие излучений с веществом. Влияние радиации на электрофизические свойства полупроводниковых материалов. Влияние радиации на электрофизические свойства неорганических материалов. Влияние радиации на электрофизические свойства органических материалов.

Тема 19. ДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ И ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ

Биполярные транзисторы. Униполярные транзисторы. Полупроводниковые диоды. Туннельные диоды. Полупроводниковые фотопреобразователи. Интегральные схемы.

Тема 20. ДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ НА ПЬЕЗОКВАРЦЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ, ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЯ

Действие радиации на кристаллический кварц. Действие радиации на пьезокварцевые изделия.

Действие радиации на конденсаторы, резисторы, радиокомпоненты.

Раздел 7. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РЭС

Тема 21. ВИДЫ ПАРАЗИТНОЙ СВЯЗИ

Общая характеристика электромагнитных связей. Источники возникновения помех в РЭС. Электромагнитная обстановка. Паразитная емкостная связь. Паразитная индуктивная связь. Паразитная емкостная и индуктивная связи с участие посторонних проводов. Паразитная связь через электромагнитное поле и волноводная связь. Паразитная связь через общее полное сопротивление.

Тема 22. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ В ЭЛЕМЕНТАХ И КОМПОНЕНТАХ РЭС, ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ

Оценка работы конденсаторов и резисторов при воздействии помех. Физические процессы в активных компонентах при воздействии помех. Влияние помех на цифровые схемы. Влияние помех на аналоговые схемы. Схемы сопряжения при воздействии помех. Помехи в источниках питания.

Тема 23. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РЭС И ЭКРАНИРОВАНИЕ

Уравнения электромагнитного поля и основные электродинамические задачи РЭС. Основные принципы экранирования. Методы расчета потенциальных полей РЭС.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1. Анализ физических полей радиоэлектронных средств.
2. Определение коэффициентов теплоотдачи тел различной конфигурации при конвективном теплообмене.
3. Стационарный тепловой поток через стержни и пластины.
4. Теплоотдача излучением.
5. Тепловая чувствительность элементов и компонентов РЭС.
6. Приближенные расчеты нестационарных температурных полей.
7. Расчет теплоотводов.
8. Методы моделирования тепловых процессов.
9. Методы расчета потенциальных полей РЭС.
10. Расчетные модели конструкций РЭС и их элементов.
11. Определение реакции конструкций РЭС на механические воздействия.
12. Анализ динамических процессов в конструкциях РЭС.
13. Защита аппаратуры от вибраций.
14. Защита конструкций РЭС от влияния влаги.
15. Влияние радиации на различные конструкционные материалы и элементы РЭС.

16. Расчет эффективности экранирования.
17. Расчет эффективности фильтрации.
18. Расчет эффективности заземления.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

1. Исследование влияния внешних факторов на характеристики РЭС.
2. Исследование тепловой чувствительности элементов и конструкций РЭС.
3. Тепловой анализ конструкций РЭС с применением прикладного программного обеспечения.
4. Исследование тепловых характеристик перфорированного блока при естественной конвекции.
5. Исследование тепловых характеристик герметичного блока при естественной конвекции.
6. Исследование тепловых характеристик перфорированного блока при принудительном воздушном охлаждении.
7. Исследование тепловых характеристик теплоотводов различной конфигурации.
8. Исследование процесса передачи вибрации в системе виброизоляторов-корпус-узел.
9. Исследование собственных частот электрорадиоэлементов и монтажных плат при воздействии вибраций.
10. Моделирование и исследование реакции конструкций РЭС и их элементов на ударные нагрузки.
11. Изучение иерархического построения несущих конструкций РЭС.
12. Исследование эффективности экранирования.
13. Исследование влияния импульсных наводок на параметры конструкций РЭС.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ

1. ТРиАНА.
2. ВЕТАsoft-Board.
3. MatCad.
4. EM3DS.
5. SpeedXP Suite.

ЛИТЕРАТУРА

ОСНОВНАЯ

1. Автоматизированное проектирование узлов и блоков РЭС средствами современных САПР: Учеб. пособие для вузов/И.Г. Мироненко, В.Ю. Суходольский, К.К.Холуянов и др.; Под ред. И.Г.Мироненко. – М.: Высш. шк., 2002. – 391 с.
2. Алексеев В.Ф. Принципы конструирования и автоматизации проектирования РЭУ: Учеб. пособие – Мн.: БГУИР, 2003. – 197 с.
3. Гелль П.П., Иванов-Есипович Н.К. Конструирование и микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры: Учебник для вузов. - Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд. - 1984. - 536 с.
4. Действие проникающей радиации на изделия электронной техники / В.М.Кулаков, Е.А.Ладыгин, В.И.Шаховцов и др.; Под ред. Е.А.Ладыгина. – М.: Сов.радио, 1980. – 224 с.
5. Дульнев Г.Н. Методы расчета тепловых режимов прибора / Г.Н.Дульнев, В.Г.Парфенов, А.В.Сигалов. - М.: Радио и связь, 1990. - 312 с.
6. Жаднов В.В., Сарафанов А.В. Управление качеством при проектировании теплонагруженных радиоэлектронных средств. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 464 с.
7. Исследование тепловых характеристик РЭС методами математического моделирования: Монография / В.В.Гольдин, В.Г.Журавский, В.И.Коваленок и др.; Под ред. А.В.Сарафанова. – М.: Радио и связь, 2003. – 456 с.
8. Касьян Н.Н. Комплексное математическое моделирование электрических и тепловых процессов радиоэлектронных средств / Н.Н.Касьян, А.С.Конавальчук, Ю.Н.Кофанов, В.Н.Крищук. - Запорожье: ЗГТУ, 1995. - 118 с.
9. Кечиев Л.Н., Пожидаев Е.Д. Защита электронных средств от воздействия статического электричества. – М.: Издательский Дом «Технологии», 2005. – 352 с.
10. Кофанов Ю.Н. Комплексное моделирование взаимосвязанных физических процессов радиоэлектронных конструкций: Учеб. Пособие / Ю.Н.Кофанов, С.В.Засыпкин. - М.: МГИЭМ, 1996. - 56 с.
11. Кофанов Ю.Н. Моделирование тепловых процессов при проектировании, испытаниях и контроле качества радиоэлектронных средств / Ю.Н.Кофанов, А.И.Манохин, С.У.Увайсов. - М., 1998. - 139 с.
12. Кофанов, Ю.Н. Автоматизация проектирования и моделирования печатных узлов радиоэлектронной аппаратуры / Ю.Н.Кофанов, Н.В.Малютин, А.В.Сарафанов и др. - М: Радио и связь, 2000. - 389 с.
13. Кузьмин В.И., Кечиев Л.Н. Электростатический разряд и электронное оборудование. Учеб. пособие - М.: МГИЭМ, 1997. - 88 с.
14. Маквецов Е.Н., Тартаковский А.М. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры: Учебник для вузов. М.: Радио и связь.1993. – 200 с.
15. Малоземов В.В. Системы терморегулирования космических аппаратов / В.В.Малоземов, Н.С.Кудрявцева. - М.: Машиностроение, 1995. - 107 с.

16. Математическое моделирование радиоэлектронных средств при механических воздействиях / Ю.Н.Кофанов, А.С.Шалумов, В.В.Гольдин, В.Г.Журавский. М.: Радио и связь, 2000. – 226 с.

17. Ненашев А.П. Конструирование радиоэлектронных средств: Учеб. для радиотехнич. спец. вузов – М.: Высш. школа, 1990. – 432 с.

18. Сквозное проектирование модулей РЭС в САПР Accel EDA/P-CAD 2000/2001: Учеб. пособие/И.Г. Мироненко, В.Ю. Суходольский, К.К.Холуянов и др. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ«ЛЭТИ», 2002. 140 с.

19. Соколов С.С., Суходольский В.Ю. Основы конструирования и технологии радиоэлектронных средств: Учеб. пособие. Системный подход. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ«ЛЭТИ», 2003. – 80 с.

20. Тартаковский А.М. Краевые задачи в конструировании радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. пособие / А.М.Тартаковский. – Саратов: СГУ, 1984.-132 с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. Алексеев В.Ф., Образцов Н.С., Хмыль А.А. и др. Сборник задач по конструированию и технологии радиоэлектронных средств: Учеб. Пособие / Под ред. В.Ф.Алексеева и Н.С.Образцова. – Мн.: БГУИР, 1997. – 92 с.

2. Глудкин О.П. Методы и устройства испытаний РЭС и ЭВС: Учебник. – М.: Высш. шк., 1991.

3. Джонс Дж.К. Методы проектирования: Пер. с англ. – 2-е изд., доп. – М.: Мир, 1986. – 326 с.

4. Дульнев Г.Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1984. – 247 с.

5. Каленкович Н.И. Проектирование РЭС с учетом механических воздействий: Учеб. пособие по курсу "Конструирование радиоэлектронных средств" для студентов специальности "Проектирование и производство радиоэлектронных средств". – Мн.: БГУИР, 1999.

6. Каленкович Н.И., Фастовец Е.П., Шамгин Ю.В. Механические воздействия и защита РЭА. Учебное пособие для вузов. - Мн.: Высшэйшая школа, 1989.

7. Конструирование радиоэлектронной аппаратуры и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости / А.Д. Князев, Л.Н. Кечиев, Б.В. Петров. – М.: Радио и связь, 1989. – 224 с.

8. Конструирование радиоэлектронных средств: Учеб. пособие. / Н.С. Образцов, В.Ф. Алексеев, С.Ф. Ковалевич и др. Под ред. Н.С. Образцова. - Мн.: МРТИ, 1984. - 201 с.

9. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов/ К.И. Билибин и др. Под общ. ред. В.А. Шахнова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.

10. Куземин А.Я. Конструирование и микроминиатюризация электронно-вычислительной аппаратуры: Учеб. пособие для вузов. - М.: Радио и связь, 1985. - 230 с.

11. Лабораторный практикум по курсу "Конструирование РЭУ" для студентов специальности "Проектирование и производство РЭС"/ Н.И. Каленкович и др. – Мн.: БГУИР, 2002.

12. Маквецов Е.Н., Тартаковский А.М. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры: Учебник для вузов. М.: Радио и связь. 1993. – 200 с.

13. Математическое моделирование радиоэлектронных средств при механических воздействиях / Ю.Н. Кофанов, А.С. Шалумов, В.В. Гольдин, В.Г. Журавский. М.: Радио и связь, 2000. – 226 с.

14. Рикетс Л.У., Бриджес Дж. Э., Майлетта Дж. Электромагнитный импульс и методы защиты: Пер. с англ. / Под ред. Н.А. Ухина. – М.: Атомиздат, 1979. – 328 с.

15. Роткоп Л.Л., Спокойный Ю.Е. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. - М.: Сов. радио, 1976.

16. Соколов С.С., Суходольский В.Ю. Основы конструирования и технологии радиоэлектронных средств: Учеб. пособие. Защита от внешних воздействий. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003. – 88 с.

17. Соломахо В.Л., Томилин Р.И., Цитович Б.В., Юдовин Л.Г. Справочник конструктора-приборостроителя. - Мн.: Выш. школа, 1983. - 272 с.

18. Справочник конструктора РЭА: Компоненты, механизмы, надежность/ Н.А. Барканов, Б.Е. Бердичевский, П.Д. Верхопятницкий и др. Под ред. Р.Г. Варламова. - М.: Радио и связь, 1985. - 384 с.

19. Справочник конструктора РЭА: Общие принципы конструирования/ Под ред. Р.Г. Варламова. - М.: Сов. радио, 1980.

20. Учет влияния дестабилизирующих факторов в конструировании РЭС: Методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Конструкторское проектирование РЭС"/ Сост.: А.А. Иванов, В.Б. Картажов, С.С. Соколов, В.Ю. Суходольский, В.А. Чикулаева, К.К. Холуянов; СПбГЭТУ «ЛЭТИ». СПб., 1999. 35 с.

21. Шимкович А.А. Конструирование несущих конструкций РЭС и защита их от дестабилизирующих факторов. Учеб. пособие по курсу "Конструирование радиоэлектронных устройств" для студентов специальности "Проектирование и производство радиоэлектронных средств". В 2-х ч. – Мн.: БГУИР, 1999.