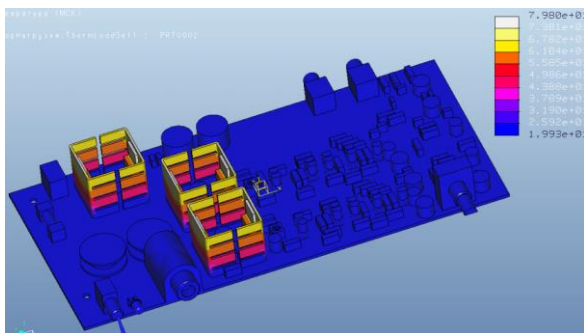


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»  
Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по курсовому проектированию по дисциплине «Моделирование и оптимизация тепловых характеристик конструкций при проектировании РЭС» для студентов направлений подготовки магистров 11.04.03 "Конструирование и технология электронных средств" магистерским программам "Автоматизированное проектирование и технология радиоэлектронных средств специального назначения", "Силовая электроника" очной и заочной форм обучения.



Воронеж 2016

Составители: канд. техн. наук Н.В. Ципина  
УДК 621.3

Методические указания по курсовому проектированию по дисциплине «Моделирование и оптимизация тепловых характеристик конструкций при проектировании РЭС», для студентов направлений подготовки магистров 11.04.03 "Конструирование и технология электронных средств" магистерским программам "Автоматизированное проектирование и технология радиоэлектронных средств специального назначения", "Силовая электроника" очной и заочной форм обучения./ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Н.В. Ципина. Воронеж, 2022. 28 с.

Методические указания предназначены для проведения курсового проектирования по дисциплине «Моделирование и оптимизация тепловых характеристик конструкций при проектировании РЭС». Методические указания предназначены для магистров направления 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств» магистерским программам "Автоматизированное проектирование и технология радиоэлектронных средств специального назначения", "Силовая электроника".

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле Курс\_Моделир\_тепл\_характ.РЭС.pdf.

Табл. 8. Библиогр.: 6 назв.

Рецензент к.т.н., доцент Н.Э. Самойленко

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук,  
проф. А.В. Башкиров

Издается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВО "Воронежский государственный  
технический университет", 2022



## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Курсовой проект является завершающим этапом изучения дисциплины «Моделирование и оптимизация тепловых характеристик конструкций при проектировании РЭС». Задачами курсовой работы являются:

- закрепление и расширение теоретических знаний студентов по процессам теплообмена в РЭС;
- развитие знаний и приобретение навыков в области решения задач по обеспечению нормальных тепловых режимов ЭС при ее конструировании;
- развитие навыков работы с научно-технической и справочной литературой;
- развитие навыков использования ЭВМ для автоматизации конструирования РЭС.

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

Темы курсовых проектов соответствуют программе курса " Моделирование и оптимизация тепловых характеристик конструкций при проектировании РЭС ", Также предусматривается выполнение работ исследовательского характера, ориентированных, например, на разработку вопросов автоматизации теплового проектирования РЭС с использованием ЭВМ.

**Тематика курсовых проектов выбирается исходя из тематики магистерских диссертаций!!!**

Создать 3D-модель любой детали или сборки и промоделировать тепловых характеристик конструкций, оптимизировать тепловые характеристики конструкции.

Изучить возможности модулей Creo Parametric (Pro/ENGINEER Mechanical), T-FLEX CAD, Autodesk Simula-

tion Multiphysics для моделирования тепловых характеристик конструкций при проектировании.

### Методические указания

В настоящее время широко стоит вопрос о моделировании тепловых характеристик для бортовой аппаратуры. Оценка тепловых режимов электронных средств остается важной задачей. На производстве термический контроль производится с помощью приборов входного контроля, позволяющих получить картину распределения температур. Это может происходить несколькими способами: внешнее тестирование платы в рекомендованных температурных режимах либо помещение устройства в тепловизор с внутренней камерой.

Последний метод позволяет получить фотографическую картинку, где цветом указаны тепловые режимы в заданных условиях эксплуатации. Так же они позволяют количественно оценить тепловые параметры в определенных технических условиях, что важно и для поставляемых изделий: интересные параметры могут отсутствовать в технических характеристиках на устройство или плату. Такие «термошкафы» удобны, когда мы имеем поток различной электроники. В случае собственных разработок гораздо удобнее и экономичнее оценивать тепловые режимы средствами САПР. Имея электрические и коммутационные схемы легче оценить возможные критические ситуации и установить предельные режимы использования сразу в среде разработки: внесенные изменения будут исходным условием для дальнейших этапов. Таким образом, уменьшается количество брака, материальные издержки; увеличивается срок службы; проводится предпроизводственная оценка моделирования. Как уже было сказано, такие программы достаточно дороги; их алгоритмы являются закрытым кодом и не могут быть внедрены в более простые системы проектирования. Решением этой проблемы являются узкоспециализированные продукты, решающие только одну задачу.

Creo Parametric (Pro/ENGINEER) – это САПР самого высокого уровня. Система позволяет моделировать различные объекты, содержащие сложные поверхности. Creo Parametric — расширяемое и совместимое параметрическое решение для максимально эффективной разработки инноваций, повышения качества 3D-конструкций изделий и ускорения вывода изделий на рынок. Это программное средство помогает быстро разрабатывать очень качественные и точные цифровые модели. Более того, надежные цифровые модели являются полностью ассоциативными.

Любые внесенные в изделие изменения приводят к комплексному обновлению рабочей документации. Это обеспечивает доверие к цифровым данным об изделиях, необходимое для инвестирования значительного капитала в привлечение ресурсов, производственные мощности и организацию массового производства.

Основные преимущества Creo Parametric (Pro/ENGINEER):

- Повышение производительности за счет более эффективных и гибких функций трехмерного детального конструирования.
- Быстрое и простое создание 3D-моделей любой детали или сборки.
- Специальный набор инструментов для работы с крупными сборками.
- Автоматическое создание производственных чертежей, обеспечивающее полную уверенность в их соответствии текущей конструкции.
- Повышение эстетики конструкций за счет широких возможностей построения поверхностей.
- Удобное использование получаемых от клиентов и поставщиков данных САД в нейтральных форматах и в форматах других систем (не PTC), исключающее необходимость в преобразовании файлов или воссоздании 3D-моделей с нуля.

– Мгновенный доступ к библиотеке деталей: винтам, болтам, гайкам, шайбам и т. д.

– Мгновенный доступ к обширному набору учебных материалов и руководств непосредственно из программы, что позволяет быстро достичь необходимой производительности труда.

Creo Elements/Pro (Pro-ENGINEER) Mechanica позволяет инженерам-конструкторам самостоятельно оценить, исследовать и оптимизировать структурное поведение разрабатываемых ими конструкций, находящихся под воздействием реальных статических и динамических нагрузок. Точное представление геометрии и уникальная адаптивная методика расчета позволяют легко получать быстрые и точные решения - решения, которые помогают повысить качество изделий, сокращая при этом время и расходы на разработку, а также расходы на изготовление и испытание опытных образцов.

Интерфейсы, имеющиеся в Creo Elements/Pro (Pro-ENGINEER) позволяют, проводить структурный, тепловой и кинематический анализ и оптимизацию конструкций, созданных в различных CAD- системах.

Creo Elements/Pro (Pro-ENGINEER) Thermal Simulation Package позволяет инженеру-конструктору моделировать поведение разрабатываемой конструкции под воздействием тепловых нагрузок. Возможность постоянного контроля функциональных параметров изделия позволяет своевременно вводить необходимые качественные изменения на ранних стадиях проекта, значительно сокращая затраты на разработку, испытания, изготовление и эксплуатацию изделий.

Thermal Simulation Package полностью интегрирован с остальными продуктами PTC и позволяет проводить расчеты и оптимизацию моделей, созданных в других CAD- системах. Pro/MECHANICA позволяет использовать возможности Creo Elements/Pro (Pro-ENGINEER) Behavioral Modeling для решения задач распространения тепла. Способность Creo Elements/Pro (Pro-ENGINEER) эффективно решать задачи раз-

личного класса позволяет проводить с ее помощью оптимизацию конструкции одновременно по прочностным, тепловым и кинематическим характеристиками. Сочетание с мощными средствами параметрической оптимизации, дает теперь разработчику возможность создавать изделия с заданными функциональными характеристиками. Thermal Simulation Package может работать самостоятельно, а так же в качестве интегрированной опции к Creo Elements/Pro (Pro-ENGINEER)-Foundation.

Thermal Simulation Package позволяет разработчику оценить эффективность конструкции с точки зрения ее реакции на тепловые нагрузки, не прибегая к изготовлению испытательных образцов. При этом можно легко исследовать к чему приведут те или иные возможные модификации конструкции. Наилучшая комбинация таких модификаций, улучшающая конструкцию, затем может быть определена автоматически посредством проведения оптимизационного анализа.

Тепловые нагрузки в виде заданных температур и условий конвективного теплообмена накладываются непосредственно на геометрию модели, созданную конструктором. Эти нагрузки могут быть однородными для всей модели или различными для ее различных участков. Для контроля правильности приложения нагрузок можно получить их графическое изображение.

До начала анализа можно определить что будет использоваться для оценки сходимости: температура определенного участка модели, норма энергии, глобальная норма ошибки, или же вы зададите свой собственный показатель. После завершения анализа можно просмотреть графики их изменения на каждом этапе расчета для визуальной оценки хода процесса сходимости решения.

Можно выбрать один или несколько параметров модели и проварьировать их в заданных пределах, а затем просмотреть графически каковы будут результаты изменения этих параметров.



Можно провести расчет локальной чувствительности при небольших отклонениях заданных параметров от их номинальных значений, а затем визуализировать результаты расчета для выяснения того дает ли существенный эффект изменение тех или иных параметров.

Возможности Pro/MECHANICA позволяют оптимизировать конструкцию по нескольким параметрам, определив в качестве целевой функции - стоимость, массу, величину теплового потока, температурные градиенты или любой другой аспект конструкции. Например, можно минимизировать массу сборочной единицы при том условии, чтобы уровень напряжений, величина первой собственной частоты, и максимальная температура модели оставались в заданных пределах.

SolidWorks (Солидворкс)- программный комплекс САПР для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства. Обеспечивает разработку изделий любой степени сложности и назначения. Работает в среде MicrosoftWindows. Разработан компанией Solid Works Corporation, ныне являющейся независимым подразделением компании Dassault Systemes. Решаемые задачи:

- Конструкторская подготовка производства (КПП):
- 3D проектирование изделий (деталей и сборок) любой степени сложности с учётом специфики изготовления.
- Создание конструкторской документации в строгом соответствии с ГОСТ.
- Промышленный дизайн.
- Реверсивный инжиниринг.
- Проектирование коммуникаций (электрожгуты, трубопроводы и пр.).
- Инженерный анализ (прочность, устойчивость, теплопередача, частотный анализ, газо/гидродинамика, оптика и светотехника, электромагнитные расчет, анализ размерных цепей и пр.).

- Экспресс-анализ технологичности на этапе проектирования.
- Подготовка данных для ИЭТР.
- Управление данными и процессами на этапе КПП.
- Технологическая подготовка производства (ТПП):
- Проектирование оснастки и прочих средств технологического оснащения
  - Анализ технологичности конструкции изделия.
  - Анализ технологичности процессов изготовления (литье пластмасс, анализ процессов штамповки, вытяжки, гибки и пр.).
  - Разработка технологических процессов по ЕСТД.
  - Материальное и трудовое нормирование.
  - Механообработка: разработка управляющих программ для станков с ЧПУ, верификация УП, имитация работы станка. Фрезерная, токарная, токарно-фрезерная и электроэрозионная обработка, лазерная, плазменная и гидроабразивная резка, вырубные штампы, координатно-измерительные машины.
    - Управление данными и процессами на этапе ТПП
    - Управление данными и процессами:
    - Работа с единой цифровой моделью изделия.
    - Электронный технический и распорядительный документооборот.
      - Технологии коллективной разработки.
      - Работа территориально-распределенных команд.
      - Ведение архива технической документации по ГОСТ
      - Проектное управление.
      - Защита данных. ЭЦП.
      - Подготовка данных для ERP, расчет себестоимости.

Программный комплекс Solid Works включает базовые конфигурации Solid Works Standard, Solid Works Professional, Solid Works Premium, а также различные прикладные модули:

- Управление инженерными данными: SolidWorksEnterprise PDM

- Инженерные расчеты: SolidWorks Simulation Professional, SolidWorks Simulation Premium, SolidWorks Flow Simulation

- Электротехническое проектирование: SolidWorksElectrical

- Разработка интерактивной документации: SolidWorksComposer

- Механообработка, ЧПУ: CAMWorks

- Верификация УП: CAMWorksVirtualMachine

- Контроль качества: SolidWorksInspection

- Анализ технологичности: SolidWorksPlastics, DFM и

пр.

Комплекс T-FLEX, разрабатываемый и распространяемый российской компанией «Топ Системы», позволяет решить практически все задачи конструкторско-технологической подготовки производства – от получения заказа до изготовления изделия. При этом по функциональности каждая из систем комплекса T-FLEX конкурирует с лучшими образцами как западных, так и российских продуктов.

САПР T-FLEX позволяют инженеру-конструктору легко создавать как простые детали, так и сборочные модели, состоящие из тысяч компонентов. Система T-FLEX основана на известном, проверенном практикой, геометрическом ядре Parasolid, разработанном компанией UGS. Передовые средства параметрического 3D-моделирования позволяют конструкторам быстро создавать основную форму детали и легко дорабатывать ее, добавляя как обычные элементы (отверстия, фаски, скругления и др.), так и операции, создающие элементы с более сложной геометрией (тела с параметрическим изменением профиля, сглаживание трех граней, тело по сечениям, уклон граней и др.).

САПР T-FLEX поддерживает прямое редактирование геометрии 3D-моделей. При этом сохраняется история всех изменений, так что впоследствии все они будут участвовать в общем пересчете 3D-модели. Это особенно полезно при работе с импортированными моделями, когда нет доступа к исходным

операциям. Например, можно изменить параметры граней с аналитической геометрией (цилиндр, конус, сфера, тор), как, впрочем, и поверхности скругления.

Анализируя возможности системы T-FLEX, можно выявить достаточно хорошую проработку проектной и технологической составляющих проектирования. Отличительной особенностью является поддержка не только современного, но и более старого оборудования, что немаловажно для ряда российских предприятий.

Однако в этой системе отсутствуют средства анализа и оптимизации печатных узлов РЭС. T-FLEX имеет строгую направленность на механическое проектирование, но некоторые основные прочностные и тепловые расчеты можно провести.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дульнев, Г. Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре [Текст]: учеб. пособие/ Г.Н. Дульнев. - М.: Высш. шк., 1984. – 247 с.
2. Роткоп, Л. Л. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / Л. Л. Роткоп. – М.: Советское радио, 1976. – 472 с.
3. Шуваев, В. А. Методы обеспечения тепловых режимов при проектировании радиоэлектронных средств [Текст]: учеб. пособие / В. А. Шуваев, А.В. Муратов, О.Ю. Макаров. - Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2008. - 147 с.
4. Скрипников, Ю. Ф. Радиаторы для полупроводниковых приборов [Текст] / Ю. Ф. Скрипников. – М.: «Энергия», 1973. - 48 с.
5. Дульнев, Г. Н. Методы расчета теплового режима приборов [Текст] / Г. Н. Дульнев, В. Г. Парфенов, А. В. Сигалов.- М.: Радио и связь, 1990. - 312 с.
6. Муратов, А.В. Расчёт теплового режима блока РЭС: методические указания по выполнению практических работ [Текст]: учеб. пособие / А.В. Муратов, Н.В. Ципина. - Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2014. - 27 с.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по курсовому проектированию по дисциплине «Моделирование и оптимизация тепловых характеристик конструкций при проектировании РЭС» для студентов направлений подготовки магистров 11.04.03 "Конструирование и технология электронных средств" магистерским программам "Автоматизированное проектирование и технология радиоэлектронных средств специального назначения", "Силовая электроника" очной и заочной форм обучения.

Составитель:

Ципина Наталья Викторовна

В авторской редакции

Подписано к изданию . .2022.

Уч.-изд. л. 1,9

ФГБОУ ВО "Воронежский государственный  
технический университет"