

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

УДК 004.42:621.382

На правах рукописи

СИВОКОНЬ
Андрей Вячеславович

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА
КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени
магистра техники и технологий

по специальности 1-39 81 01 – Компьютерные технологии
проектирования электронных систем

Минск 2019

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **ГОНОВ Александр Николаевич**
кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник Центр 1.9 учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **КИРИЧУК Андрей Викторович**
заместитель директора представительства ЗАСО «Промтрансинвест» в г.Минске №3.

Защита диссертации состоится «28» июня 2019 года в 9 часов на заседании Государственной экзаменационной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Минск, ул. П.Бровки, 6, корп. 1, ауд. 415, тел. 293-20-80, e-mail: kafpiks@bsuir.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

ВВЕДЕНИЕ

Процесс расчета конструкторско-технологических параметров все больше автоматизируется. На помощь инженерам-конструкторам приходят разнообразные системы автоматизированного проектирования. Множество параметров можно рассчитать и смоделировать с помощью САПР. К сожалению большинство расчетов, выполняющихся на ранних этапах проектирования проводятся вручную. Эти расчеты хоть и приближительны, но все же они должны быть довольно точны, ведь ошибочное или некорректное определение параметров на ранних этапах проектирование влечет за собой угрозу необходимости начинать проектирование заново, что сильно скажется на затраченном на проектирование времени и ресурсах.

Такие широко известные САПР, как *Altium Designer*, *PCAD*, *SolidWorks*, *ANSYS* и др. позволяют провести множество необходимых расчетов электронных устройств (ЭУ) практически на всех этапах разработки. Но перед тем, как приступить к ведению проектов с помощью таких систем, необходимо провести оценочные расчеты, определить некоторые начальные параметры, которые определяют всю дальнейшую разработку.

Одним из способов для расчета таких предварительных параметров является использование вспомогательных приложений, менее требовательных к производительности, имеющих минимальный порог входа для использования (т.е. не требующего длительного обучения), и позволяющих быстро и эффективно провести необходимые прикидочные расчеты. Существует множество таких вспомогательных программных средств и все они имеют различную направленность. Предприятия могут как сами разрабатывать подобные приложения, так и пользоваться сторонними программными средствами, находящимися в общем доступе и распространяющихся по свободной лицензии.

Такие приложения, как *Electronics Assistant*, *Pump & Boosters Selection Program*, *Rectifier*, *Katushka* предназначены для расчета электрических параметров или параметров определенной специфики, как, например, определение условий работы водных насосов. Такие приложения не так известны, как более развитые системы САПР, имеют более узконаправленный функционал, но при этом все равно являются востребованными в тех областях и ситуациях, где целесообразно использование именно небольшого программного средства.

Еще одно преимущество таких вспомогательных приложений заключается в том, что их можно использовать для обучения студентов высших учебных заведений технической направленности, ведь, как было сказано вы-

ше, они не требуют длительного изучения их функционала, и их можно сразу использовать по назначению.

К сожалению, остается ряд конструкторско-технологических параметров, для расчета которых использование крупных САПР либо излишне, либо они не имеют достаточно узкого функционала в требуемой области. При этом не всегда удается найти подходящее программное средство, для подобных задач. В частности, определение способа охлаждения и выбор конструкции корпуса электронного устройства на раннем этапе проектирования относится к таким параметрам.

Выбор способа охлаждения устройства зависит от правильной оценки теплового режима на ранней стадии проектирования. На сегодняшний день в этой области существует большое число работ. Наиболее значимые результаты были получены российскими и белорусскими учеными, которые проводили исследования в области оценки тепловых режимов электронных устройств (В.Ф. Алексеев, Г.А. Пискун, Р.Г. Варламов, Л.Л. Роткоп, Г.Н. Дульнев, А.А. Чернышев и др.). Среди зарубежных авторов также стоит учитывать работы Dale Douglass, Vincent Morgan, Rob Stephen, Mark Bertinat, Dzevad Muftic, Ralf Puffer, Taylor, R. A. и других зарубежных авторов.

Определение таких параметров, как выбор способа охлаждения на раннем этапе проектирования очень важно, так как этот выбор в дальнейшем будет влиять на всю конструкцию в целом. А неправильная оценка теплового режима влечет за собой высокую вероятность поломки электронного устройства из-за ошибки, которая была совершена еще на начальных этапах проектирования. В связи с этим, вопрос о разработке программного средства, для автоматического выбора способа охлаждения на раннем этапе проектирования и оценки теплового режима, является актуальным.

Выражаю благодарность за оказанную помощь в ходе подготовки диссертационной работы за высококвалифицированные консультации по возникающим вопросам кандидату технических наук, доценту кафедры ПИКС, Алексееву Виктору Федоровичу.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В настоящее время любые инженерные задачи решаются путем использования САПР или вспомогательных специальных и узконаправленных инженерных программных средств. В целях достижения максимальной эффективности и снижения вероятности ошибок при проектировании, современные тенденции в проектировании электронных устройств предписывают максимально использовать автоматизированные системы при проведении всех видов расчетов конструкторско-технологических параметров.

Однако до сих пор нельзя сказать, что абсолютно все виды таких расчетов проводятся в автоматическом режиме. В особенности это касается расчетов, проводимых на самых ранних этапах проектирования, различных промежуточных расчетов, либо имеющих какую-либо необычную специфику. Из вышесказанного можно сделать вывод о том, что исследование методов и алгоритмов автоматизированного расчета конструкторско-технологических параметров актуальна и целесообразна, особенно в отношении тех видов параметров, которые на сегодняшний день либо не автоматизированы, либо не находятся в открытом доступе.

Таким образом, актуальным является исследование методов и алгоритмов автоматизированного расчета конструкторско-технологических параметров электронных устройств, а также создание программного средства, реализующего исследуемые методы и алгоритмы.

Степень разработанности проблемы

В современных исследованиях, представленных в научно-технической литературе, приведено множество решений в области выбора способа охлаждения на раннем этапе проектирования и оценке тепловых режимов. Наиболее значимые результаты были получены российскими и белорусскими учеными, которые проводили исследования в области оценки тепловых режимов электронных устройств (В.Ф. Алексеев, Г.А. Пискун, Р.Г. Варламов, Л.Л. Роткоп, Г.Н. Дульнев, А.А. Чернышев и др.). Среди зарубежных авторов также стоит учитывать работы Dale Douglass, Vincent Morgan, Rob Stephen, Mark Bertinat, Dzevad Muftic, Ralf Puffer, Taylor, R. A. и других зарубежных авторов.

Современные САПР, не смотря на достаточное внимание оценке тепловых режимов электронных устройств, не позволяют провести такие предварительные исследования, как автоматический выбор способа охлаждения из-за специфики принципов их работы.

Несмотря на большое количество исследований в данном направлении, вопрос о реализации автоматизированных алгоритмов этих видов расчетов либо отсутствует, либо не достаточно проработан. Предложенная разработка программного средства направлена на устранение пробелов в исследованиях автоматизации этих процессов.

Цель и задачи исследования

Цель диссертационной работы состоит в исследовании вопросов автоматизации методов и алгоритмов автоматизированного расчета конструкторско-технологических параметров электронных устройств, в частности выбора способов охлаждения на раннем этапе проектирование и оценка тепловых режимов.

Поставленная цель работы определяет **следующие основные задачи:**

1. Анализ известных методов автоматизированного расчета конструкторско-технологических параметров электронных устройств.
2. Построение алгоритмов, основанных на выбранных в ходе анализа, методов конструкторско-технологических параметров электронных устройств.
3. На основе разработанного алгоритма спроектировать программное средство для автоматизированного расчета конструкторско-технологических параметров электронных устройств.

Область исследования

Содержание диссертации соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) ОСВО 1-39 81 01-2012 специальности 1-39 81 01 «Компьютерные технологии проектирования электронных систем».

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли работы ученых в таких областях, как соблюдение и оценка тепловых режимов электронных устройств, производство предварительных расчетов на ранних этапах проектирования электронных устройств, математический анализ, и разработка программного обеспечения.

Информационная база исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, предоставляемой разработчиками библиотек, технических нормативно-правовых актов, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

Научная новизна

Научная новизна работы заключается в разработке алгоритмов, на основе известных методов предварительных расчетов конструкторско-технологических параметров электронных устройств, в частности, оценки тепловых режимов на ранних этапах проектирования.

Теоретическая значимость работы заключена в рассмотрении вопросов, связанных с автоматическим и автоматизированным проведением предварительных расчетов на ранних этапах проектирования электронных устройств.

Практическая значимость диссертации заключается в том, что разработанные алгоритмы оценки конструкторско-технологических параметров могут быть и были использованы при разработке специализированных программных средств, связанных с проектированием электронных устройств.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Реализация математического аппарата основных логических блоков алгоритмов для автоматизированного расчета конструкторско-

технологических параметров электронных устройств, позволяющих реализовать специализированное программное средство.

2. Разработка архитектуры и структуры программного средства, для оценки теплового режима и выбора оптимального способа охлаждения на ранних этапах проектирования, позволяющих оптимально реализовать используемые алгоритмы и быстро провести необходимые оценочные расчеты.

3. Разработка алгоритмов по выбору оптимального способа охлаждения для соблюдения теплового режима устройства на раннем этапе проектирования, позволяющих провести эти исследования в автоматическом режиме.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Результаты работы по теме диссертации были представлены на 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (г. Минск, Республика Беларусь, 2018 г.), XXIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях» (г. Рязань, Российская федерация, 2018 г.), международном научном журнале «Science Time» (г. Казань, Российская федерация, 2018 г.).

Публикации

Основные положения диссертации и результаты исследования изложены в восьми опубликованных работах. В их числе четыре статьи в сборнике материалов научной конференции, два тезиса докладов на научных конференциях, две статьи в научных журналах.

Общий объем публикаций по теме диссертации составляет 19 страниц.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав, заключения, библиографического списка и приложений.

В первой главе обоснован выбор исследуемых конструкторско-технологических параметров электронных устройств, обзор существующих методов для их расчета и подробно проанализирован математический аппарат, заложенный в эти методы. Также был обоснован выбор основных средств, используемых для автоматизации выбранных методов, такие как язык программирования и среда разработки.

Во второй главе на основе анализа, проведенного в первой главе, разработаны алгоритмы для автоматического проведения выбранных расчетов, а также реализация их математических моделей на выбранном языке программирования.

В третьей главе разработано программное средство для оценки тепловых режимов и выбора способа охлаждения на ранних этапах проектирования. Также описан процесс ввода в эксплуатацию и составлено руководство к пользованию программным средством.

В приложении представлены публикации автора, акт внедрения, справка на антиплагиат, графический материал, иллюстрирующий основные результаты диссертационной работы и листинг кода.

Объем основного текста диссертации – 173 страниц. Работа содержит 5 таблиц, 34 рисунка. Библиографический список включает 62 наименования

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние методов и алгоритмов для расчета конструкторско-технологических параметров электронных устройств, а также описано обоснование актуальности темы.

В **общей характеристике работы** показана актуальность проводимых исследований, степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, обозначена область исследований, научная (теоретическая и практическая) значимость исследований, а также апробация работы.

В **первой главе** проведен обзор существующих автоматизированных методов для расчета конструкторско-технологических параметров электронных устройств. Произведен обзор существующих программных средств проектирования и анализа характеристик электронных устройств. На основе анализа выбраны два вида расчетов конструкторско-технологических параметров для исследования. Исследованы математические модели двух выбранных видов расчетов, а именно, модель оценки теплового режима и модель выбора способа охлаждения на ранних этапах проектирования. Выявлено, что среди существующих автоматизированных реализаций методов расчетов конструкторско-технологических параметров, практически не реализованы выбранные для исследования, а именно оценки теплового режима и выбора способа охлаждения на ранних этапах проектирования. В связи с этим было решено реализовать программное средство, реализующее выбранные методы расчетов

Для выбора способа охлаждения прежде всего требуются следующие данные:

- суммарная мощность P , рассеиваемая в блоке;
- диапазон возможного изменения температуры окружающей среды $T_{c\ max}, T_{c\ min}$,
- пределы изменения давления окружающей среды p_{max}, p_{min} ,
- время непрерывной работы t ;
- допустимые температуры элементов T_i .
- Кроме того, необходимо задать коэффициент заполнения аппарата K_3 .

Основным показателем, определяющим область применения целесообразного способа охлаждения, можно считать плотность теплового потока q , проходящего через поверхность теплообмена. Она зависит от коэффициента

атмосферного давления K_p , суммарной рассеиваемой мощности в блоке P и площади поверхности теплообмена S_{Π} . Коэффициент атмосферного давления выбирается в зависимости от разницы давления внутри корпуса (внутри корпуса может быть принудительный наддув) и внешнего давления.

Вторая глава посвящена разработке основных алгоритмов программного средства для выбора способа охлаждения на раннем этапе проектирования и оценки теплового режима.

Так как разрабатываемое программное средство реализует два различных типа исследования, то и алгоритмы для каждого из них следует рассматривать отдельно. Ниже будут рассмотрены разработанные на основе диаграммы состояний алгоритмы для каждого из типов исследований.

В третьей главе спроектирована логика работы и осуществлена разработка программного средства. Название программного средства: Early Design Calculation.

В первую очередь была разработана диаграмма состояний (рисунок 1), чтобы по ней было возможно в дальнейшем разработать диаграммы действий программы, описывающие основные алгоритмы программного средства, и диаграмму классов (рисунок 3), представляющую собой документ, непосредственно по которому был написан программный код.

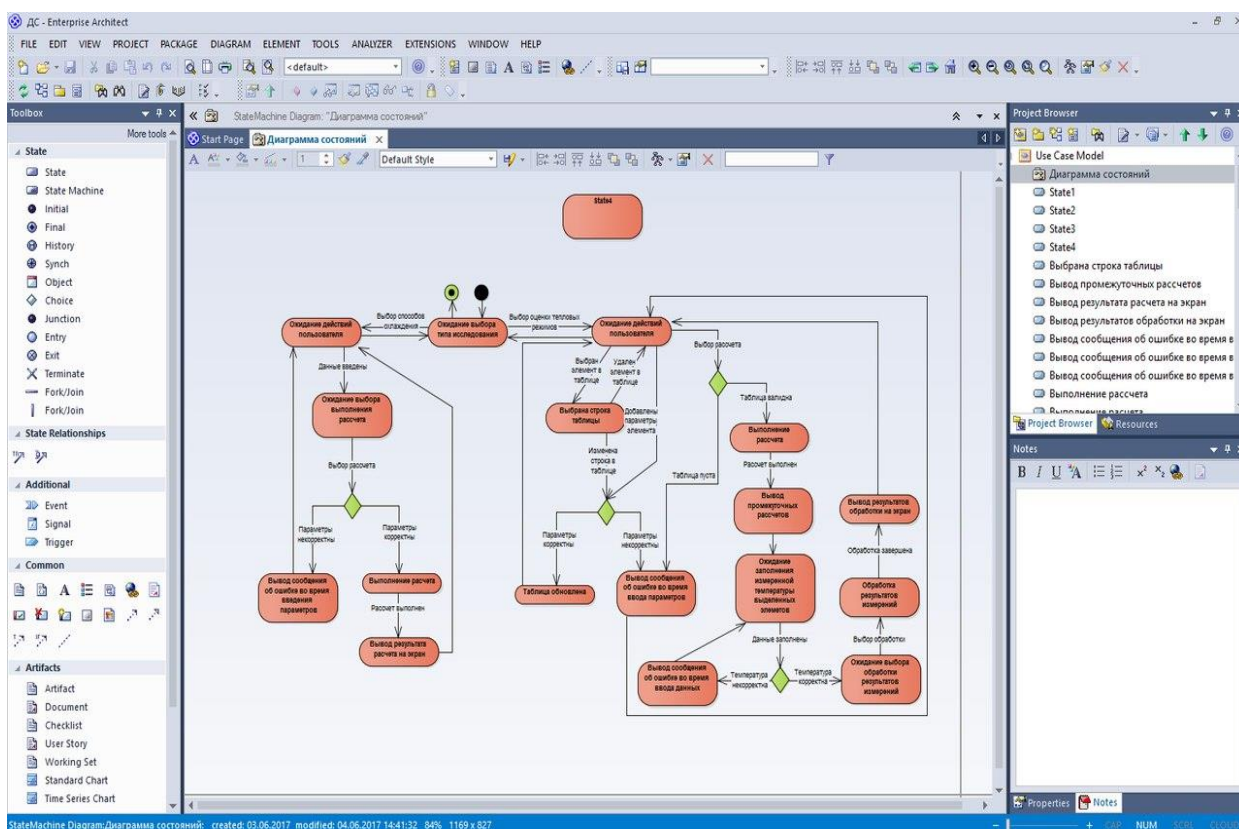


Рисунок 1 – Разработка диаграммы состояний в Enterprise Architect

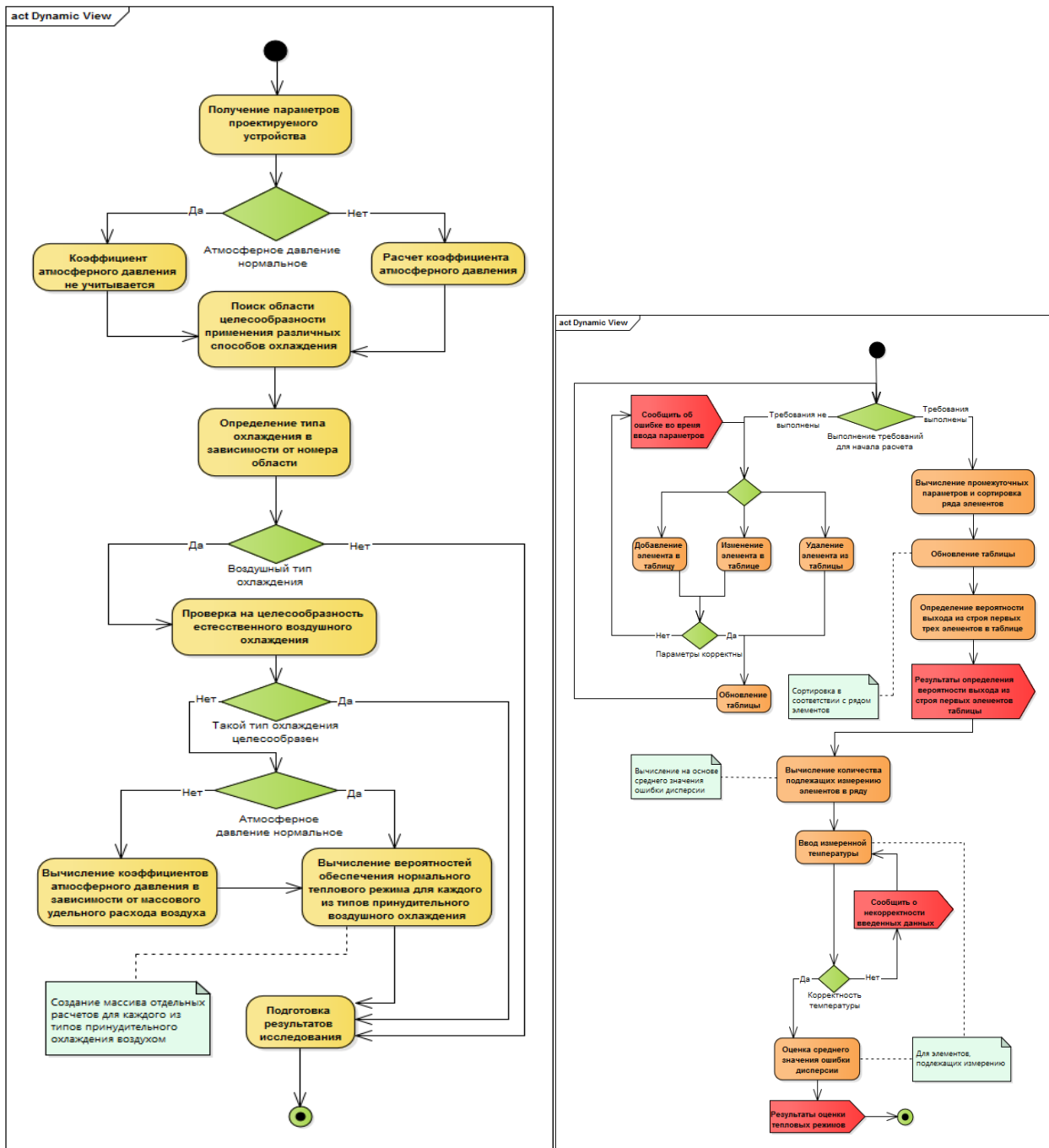


Рисунок 2 – Алгоритмы оценки теплового режима

По полученным диаграммам позже была начата разработка логики программного средства.

Данное программное средство предназначено для промежуточных расчетов конструкторско-технологических параметров электронных устройств, а именно: выбор наиболее целесообразного способа охлаждения на раннем этапе проектирования, и оценка теплового режима электронных устройств. *Early Design Calculation* не является полноценным программным комплексом, а представляет собой вспомогательное средство для решения второстепенных задач.

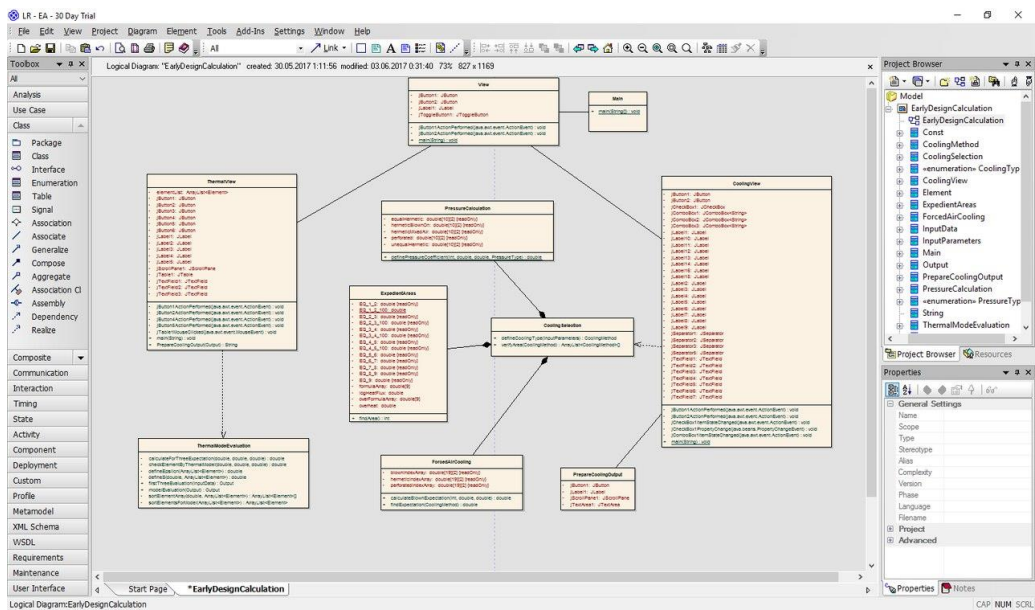


Рисунок 3 – Разработка диаграммы классов в *Enterprise Architect*

Рисунок 4 – Фрагмент пользовательского интерфейса программного средства для автоматизированного выбора способа охлаждения

Для возможности запуска приложения необходимо иметь установленным JRE 1.8. Установка программного средства не требуется. Для запуска приложения достаточно запустить исполняемый файл eds.jar.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Проведен обзор существующих программных средств для расчета конструкторско-технологических параметров электронных устройств, Принято решение о реализации алгоритмов оценки теплового режима и выбора способа охлаждения на ранних этапах проектирования. Произведен анализ математического аппарата известных методов выбранных алгоритмов.

2. Разработаны основные алгоритмы работы программы. Обоснован выбор архитектуры программного средства. Составлена его объектная модель и программно реализован основной математический аппарат.

3. По итогам исследования была разработана программная реализация автоматизированного расчета конструкторско-технологических параметров электронных устройств. Разработан графический интерфейс программного средства. Описан ввод в эксплуатацию и составлено руководство к пользованию разработанным программным средством.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Полученные результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и электроники» в учебные курсы «Физические основы проектирование электронных средств», «Программное обеспечение инженерного моделирования физических процессов».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в рецензируемых журналах

1. Сивоконь, А.В. Реализация алгоритма поиска зоны целесообразности при выборе способа охлаждения/ А.В. Сивоконь, И.В. Лукашя // Science Time. – 2018. – №11(59). – С. 30-34.

2. Сивоконь, А.В. Аппроксимация вероятностных кривых при разработке автоматизированных систем выбора способа охлаждения/ А.В. Сивоконь, И.В. Лукашя // Science Time. – 2018. – №11(59). – С. 35-39.

Статьи в сборниках научных трудов

3. Лукашя, И.В. Преимущества использования команд в шаблоне `mvvm` / И.В. Лукашя, А.В. Сивоконь // Сборник статей XXIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях», Рязань, 12-14 декабря 2018 г. / ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина»; отв. ред. Драпалюк М.В. [и др.] – Рязань, 2018. – С. 214-215.

4. Лукашя, И.В. Использование виртуализации данных для уменьшения количества потребления оперативной памяти/ И.В. Лукашя, А.В. Сивоконь // Сборник статей XXIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях», Рязань, 12-14 декабря 2018 г. / ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина»; отв. ред. Драпалюк М.В. [и др.] – Рязань, 2018. – С. 283-284.

Тезисы конференций

5. Сивоконь, А.В. Автоматизация выбора способа охлаждения электронного устройства / А.В. Сивоконь, И.В. Лукашеня // Компьютерное проектирование и технология производства электронных систем: сборник тезисов 54 научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 23–27 апреля 2018 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; отв. ред. Раднёнок А. Л. – Минск, 2018. – С. 96-98.

6. Сивоконь, А.В. Алгоритм выбора способа охлаждения на ранней стадии проектирования/ А.В. Сивоконь, И.В. Лукашеня // Компьютерное проектирование и технология производства электронных систем: сборник тезисов 54 научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 23–27 апреля 2018 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; отв. ред. Раднёнок А. Л. – Минск, 2018. – С. 99-100.

7. Лукашеня, И.В. Критерии качественной архитектуры программного обеспечения/ И.В. Лукашеня, А.В. Сивоконь, Д.В.Лихачевский// материалы 54-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, Республика Беларусь/ УО «БГУИР». – Минск, 2018. – С. 158.

8. Лукашеня, И.В. Паттерн MVVM для разработки программного обеспечения/ И.В. Лукашеня, А.В. Сивоконь, // Компьютерное проектирование и технология производства электронных систем: сборник тезисов 54 научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 23–27 апреля 2018 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; отв. ред. Раднёнок А. Л. – Минск, 2018. – С. 76.

РЭЗІЮМЭ

Сиваконь Андрэй Вячаслававіч

Метады і алгарытмы аўтаматызаванага разліку канструктарска-тэхналагічных параметраў электронных прылад

Ключавыя словы: алгарытмы, характарыстыкі электронных прылад.

Мэта працы: аследаванні метадаў і алгарытмаў аўтаматызаванага разліку канструктарска-тэхналагічных параметраў радыёэлектронных прылад.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: выкананы аналіз метадаў разліку такіх канструктарска-тэхналагічных параметраў радыёэлектронных прыладаў як адзнака цеплавых рэжымаў і выбар спосабу астуджэння на раннім этапе праектавання. Распрацаваны алгарытмы для аўтаматызацыі прааналізаваных метадаў.

Распрацавана праграмае сродак, якое рэалізуе распрацаваныя алгарытмы.

Ступень выкарыстання: вынікі ўкаранёны ў навучальны працэс на кафедры праектавання інфармацыйна-камп'ютэрных сістэм ўстанова адукацыі «Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі» пры выкладанні дысцыплін «Фізічныя асновы праектавання радыёэлектронных сродкаў», «Праграмае забеспячэнне інжыернага мадэлявання фізічных працэсаў».

Вобласць ужывання: вынікі ўкаранёны ў навучальны працэс на кафедры праектавання інфармацыйна-камп'ютэрных сістэм ўстанова адукацыі «Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі» пры выкладанні дысцыплін «Фізічныя асновы праектавання радыёэлектронных сродкаў», «Праграмае забеспячэнне інжыернага мадэлявання фізічных працэсаў».

РЕЗЮМЕ

Сивоконь Андрей Вячеславович

Методы и алгоритмы автоматизированного расчета конструкторско-технологических параметров электронных устройств

Ключевые слова: алгоритмы, характеристики электронных устройств.

Цель работы: исследование методов и алгоритмов автоматизированного расчета конструкторско-технологических параметров радиоэлектронных устройств.

Полученные результаты и их новизна: выполнен анализ методов расчета таких конструкторско-технологических параметров радиоэлектронных устройств как оценка тепловых режимов и выбор способа охлаждения на раннем этапе проектирования. Разработаны алгоритмы для автоматизации проанализированных методов.

Разработано программное средство, реализующее разработанные алгоритмы.

Степень использования: результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» при преподавании дисциплин «Физические основы проектирование радиоэлектронных средств», «Программное обеспечение инженерного моделирования физических процессов».

Область применения: проектирование радиоэлектронных устройств, оценка тепловых режимов, предварительные расчеты при проектировании радиоэлектронных устройств.

SUMMARY

Sivakon Andrei Vyacheslavovich

Methods and algorithms for automated calculation of design and technological parameters of electronic devices

Keywords: algorithms, characteristics of electronic devices.

The object of study: research of methods and algorithms for automated calculation of design and technological parameters of electronic devices.

The results and novelty: the analysis of methods for calculating such design-technological parameters of electronic devices as an assessment of thermal conditions and the choice of cooling method at an early design stage is carried out. Developed algorithms for automating the analyzed methods.

Degree of use: the results were introduced into the educational process at the Department of Design of Information and Computer Systems of the Educational Institution "Belarusian State University of Informatics and Radio-Electronics" in teaching the disciplines "Physical Basics of Designing Radio-Electronic Means", "Software for Engineering Modeling Physical Processes

Sphere of application: design of electronic devices, evaluation of thermal conditions, preliminary calculations in the design of electronic devices.