

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

УДК 621.396.6-047.58

На правах рукописи

ГОРБАЧ
Антон Петрович

**МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ,
ПРОТЕКАЮЩИХ В КОНСТРУКЦИЯХ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени
магистра технических наук

по специальности 1-38 80 04 – Технология приборостроения

Минск 2016

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

Научный руководитель: **Алексеев Виктор Федорович**,
кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **Бондарик Василий Михайлович**,
кандидат технических наук, доцент, декан факультета непрерывного и дистанционного обучения учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «24» июня 2016 г. года в 9⁰⁰ часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г.Минск, ул. П.Бровки, 6, 1 уч. корп., ауд. 415, тел.: 293-20-87, e-mail: kafpiks@bsuir.by

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

СОГЛАСОВАНО:

_____ В.Ф. Алексеев

« ____ » _____ 2016 г.

ВВЕДЕНИЕ

Большинство современных технических объектов имеют в своем составе электронные системы (ЭС). Круг задач, решаемых с помощью ЭС постоянно расширяется, их сложность возрастает. Поэтому весьма важным является обеспечение надежной работы данных устройств.

Механические воздействия вызывают до половины отказов ЭС. Отказы ЭС при механических воздействиях связаны с выходом за пределы, установленные нормативно-технической документацией (НТД), механических характеристик конструкций электронных систем (ускорений, перемещений, напряжений), что приводит к нарушению прочности и устойчивости работы аппаратуры.

На надежность ЭС сильное влияние оказывают условия эксплуатации. Связанные с потерей механической прочности отказы выявляются только на завершающих стадиях разработки и приводят к увеличению сроков и стоимости проектирования. Использование компьютерного моделирования для механических процессов позволяет уменьшить время и себестоимость разработки.

Математическое моделирование позволяет проводить исследование на ранних этапах, когда объект проектирования представлен технической документацией. В этом случае появляется возможность проведения проектных исследований без использования макетов, опытных образцов, и получить информацию для прогнозирования поведения объекта. Использование математического моделирования позволяет организовать процесс оптимального проектирования объекта. Именно результаты исследования математических моделей дают возможность производить оптимизацию параметров объекта, в соответствии с выбранной целевой функцией и заданными ограничениями.

На настоящий момент существует достаточно большое количество работ, посвященных задачам моделирования ЭС на механические воздействия. Наиболее значимые результаты были получены следующими авторами: Каленкович Н.И., Маквецов Е.Н., Кофанов Ю.Н., Шалумов А.С., Крищук В.Н., Фадеев О.А., Тартаковский А. М. и др.

В исследованиях, представленных в научно-технической литературе, приведены результаты, подтверждающие негативное воздействие механических процессов на конструкции электронных систем. В этой связи исследования по теме диссертации, направленные на разработку методики моделирования механических процессов, позволяющей производить оптимальное проектирование конструкции, являются актуальными.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Проектирование современных электронных систем в заданные сроки и в соответствии с требованиями НТД по механическим характеристикам в общем случае затруднительно без проведения моделирования. Отказы, связанные с потерей механической прочности ЭС, выявляются на завершающих этапах разработки и приводят к длительной оптимизации конструкции, что в конечном итоге сказыва-

ется на сроках и стоимости проектирования.

Таким образом, актуальной является создание методики, позволяющей проводить разработку и оптимизацию конструкции на ранних этапах проектирования, что позволит разрабатывать конструкции ЭС, устойчивые к механическим воздействиям и, в конечном итоге, сократить время разработки.

Степень разработанности проблемы

В современных исследованиях, представленных в научно-технической литературе, приведены результаты, подтверждающие актуальность моделирования механических процессов, протекающих в конструкциях электронных систем. Исследования осуществлялись на основе построения теоретических моделей, используя работы таких ученых, как Каленкович Н.И., Маквецов Е.Н., Кофанов Ю., Шалумов А.С., Кришук В.Н., Фадеев О.А., Тартаковский А. М. и др.

Одним из недостатков исследований, представленных в современной технической литературе, является направленность данных исследований на разработку подсистем, используемых для моделирования, но не на разработку методики проведения механического анализа.

Предложенная методика включает в себя разработку конструкции ЭС, ее анализ и оптимизацию.

Цели и задачи исследования

Цель диссертации состоит в разработке методики моделирования механических процессов, протекающих в конструкциях электронных систем, позволяющей определять оптимальные параметры конструкций печатных плат с точки зрения обеспечения вибропрочности.

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

1. Проведение анализа современного состояния проектирования конструкций электронных систем с учетом механических воздействий.
2. Формирование математических моделей механических процессов в конструкциях электронных систем.
3. Проведение частотного анализа разработанной модели, позволяющего осуществить выбор оптимальных параметров конструкций печатных плат и разработка методики моделирования.

Область исследования

Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-38 80 04 «Технология приборостроения».

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли результаты известных исследований российских, белорусских и зарубежных специалистов в области моделирования механических процессов в конструкциях электронных систем.

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

Научная новизна

Научная новизна и значимость полученных результатов работы заключается в разработке методики моделирования механических процессов, протекающих в конструкциях электронных систем с использованием современных программ инженерного анализа, позволяющей оптимизировать конструкцию и обеспечить ее вибропрочность.

Теоретическая значимость работы заключается в детальном анализе средств и методов моделирования механических процессов с учетом современных программ инженерного анализа использующих метод конечных элементов.

Практическая значимость диссертации состоит в разработанной методике моделирования, которая учитывает процесс разработки исследуемой конструкции, модальный анализ конструкции варьируя широким спектром параметров, а также оптимизацию разрабатываемого устройства по результатам анализа.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Классификация основных задач механического анализа конструкций ЭС, основанная на рассмотрении наиболее опасных механических воздействий, приводящих к ухудшению надежности и стабильности работы аппаратуры, а также детальное рассмотрение программных продуктов инженерного анализа, позволяющие составить алгоритм моделирования механических процессов.

2. Методы построения математических моделей механических процессов, основанные на применении метода конечных элементов, позволяющие реализовать математическое моделирование механических процессов, протекающих в конструкциях ЭС.

3. Методика моделирования механических процессов, протекающих в конструкциях ЭС, позволяющая проводить проектирование и оптимизацию конструкции для обеспечения вибропрочности на ранних стадиях разработки.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Результаты исследований были представлены на 52-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, Беларусь 25 – 30 апреля 2016 г.); Международной заочной научно-практической конференции «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика» (Воронеж, Российская Федерация, 9 – 12 ноября 2015 г.).

Публикации

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в 6 печатных работах. Общий объем публикаций по теме диссертации составляет 19

страниц.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения и библиографического списка.

В первой главе приведен анализ современного состояния проектирования конструкций ЭС, рассмотрены и проанализированы пакеты прикладных программ, применяемые для моделирования конструкций ЭС.

Во второй главе был проведен обзор методов и средств построения математических моделей механических процессов, протекающих в конструкциях ЭС, поставлена задача оптимизации конструкций ЭС в целях обеспечения вибропрочности конструкции.

В третьей главе разработана методика моделирования механических процессов, протекающих в конструкциях ЭС, позволяющая проанализировать и выполнить оптимизацию параметров печатных плат, обеспечив вибропрочность разрабатываемой конструкции.

В приложении представлены параметры компонентов исследуемой конструкции, публикации автора, акт внедрения и графическая часть.

Общий объем диссертационной работы составляет 127 страниц. Из них 86 страниц основного текста, 45 иллюстраций, 7 таблиц, библиографический список из 70 наименований, список собственных публикаций соискателя из 6 наименований, 4 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы моделирования механических процессов, указаны основные направления исследований по данной тематике, а также описано обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы цель и задачи диссертации, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также структура и объем диссертации.

В первой главе был осуществлен анализ современного состояния проектирования конструкций ЭС. Был рассмотрен общий процесс проектирования конструкций электронных систем. Показано, что важным этапом при создании конструкций ЭС является компьютерное моделирование, позволяющее сократить время и расходы на проектирование изделий.

Моделирования механических процессов можно разделить на несколько этапов:

- задание геометрии и параметров материала конструкции;

- формирование математической модели конструкции и расчет ее на прочность при различных видах механических воздействий;
- вывод результатов расчета на прочность и рекомендации по изменению конструкции – в целях снижения ее массы или повышения прочности, в зависимости от технических условий.

В рамках исследований по теме диссертации были рассмотрены проблемы проектирования конструкций ЭС с учетом механических воздействий. Наиболее опасными из механических воздействий, приводящих к ухудшению надёжности и стабильности работы аппаратуры, являются линейные перегрузки, гармонические и случайные вибрации, а также удары. Также было описано влияние данных видов воздействия на конструкции ЭС. Также приведены основные задачи механического анализа конструкций ЭС, такие как:

- статический анализ напряженного состояния конструкций;
- модальный анализ с расчетом собственных частот конструкции;
- гармонический анализ конструкции на воздействие вибраций синусоидальной формы;
- анализ конструкций на случайные вибрации;
- анализ конструкций на действие ударов.

Выполнен подробный анализ пакетов прикладных программ, предназначенных для моделирования механических процессов. Проведенный анализ показал, что в настоящее время существует достаточно большое количество программ и систем, применимых для моделирования механических процессов. Существуют «тяжелые» САЕ-системы (*NASTRAN, MARC, ANSYS*) и CAD-системы, имеющих модули инженерного анализа на основе метода конечных элементов (*T-Flex, АСОНИКА, Pro/Engineer, SolidWorks*). Приведено описание особенностей использования данных программ для инженерного анализа, указаны их преимущества и недостатки.

На основании проведенного анализа пакетов прикладных программ, было приведено обоснование выбора программ, использованных для проведения исследований. Такими программами стали *SolidWorks* и *ANSYS*.

Во второй главе был проведен обзор методов построения математических моделей механических процессов, протекающих в конструкциях ЭС. Показано, что одним из наиболее важных моментов в постановке задач анализа механических характеристик конструкций является задание в модели граничных условий, определяющих способ и характер закрепления конструкции к объекту. Совместно с уравнениями динамического равновесия дискретных элементов граничные условия составляют систему разрешающих уравнений, описывающих динамику конструкций. Рассмотрено задание механических воздействий и их параметров для различных видов, описано применение методов вероятностного исследования нелинейных систем для моделирования механических процессов.

Приводится описание метода конечных элементов для моделирования механических процессов. Метод конечных элементов является одним из наиболее эффективных численных методов решения математических задач, описывающих состояние физических систем сложной структуры. В основе метода конечных

элементов лежит дискретизация объекта для решения уравнений механики сплошной среды с учетом, что эти уравнения и зависимости выполняются в пределах каждой элементарной области – конечном элементе.

Была произведена постановка задачи оптимизации конструкций ЭС в целях обеспечения вибропрочности. Отмечено, что целью оптимального проектирования является выбор таких параметров конструкции из множества допустимых значений, при которых выполнялись бы заданные ограничения и требования, определяемые техническим заданием, и достигался бы экстремум целевой функции. Выбор ограничений определяется техническими требованиями, условиями эксплуатации, характеристиками применяемых материалов. В условия задачи оптимизации должны быть включены ограничения на размеры, на значения резонансных частот, на перемещения, деформации, напряжения, ускорения.

Третья глава посвящена разработке методики моделирования механических процессов, протекающих в конструкциях ЭС.

Произведено сравнение программ инженерного анализа *SolidWorks* и *ANSYS*. По результатам проведенного модального анализа делается вывод о том, что применение данных программ дает схожие результаты. Незначительные различия в полученных результатах объясняются разным представлением свойств материалов (в *ANSYS* параметры материалов представлены более полно), различиями в методах решения и настройках точности сетки.

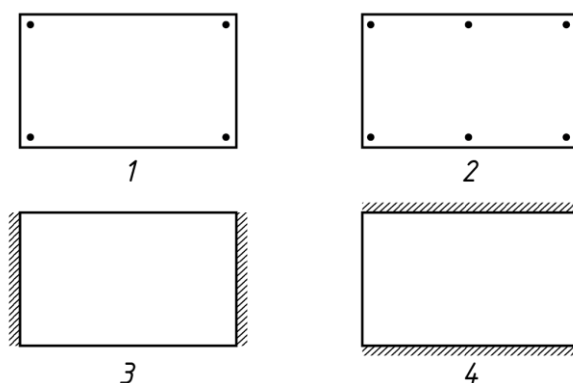
В рамках диссертационных исследований была разработана конструкция печатной платы блока питания автомобильного УМЗЧ, на основании которой был проведен модальный анализ и выбраны оптимальные параметры конструкции. Размеры исследуемой печатной платы составили 85×60 мм. Толщина материала печатной платы варьировалась от 0,5 до 2 мм. В качестве материала использовались стеклотекстолит FR-4 ($\rho = 1850$ кг/м³, $E = 3,02 \times 10^6$ Н/м², $\nu = 0,220$), стеклотекстолит СТЭФ ($\rho = 2470$ кг/м³, $E = 3,30 \times 10^{10}$ Н/м², $\nu = 0,279$) и гетинакс V ГОСТ 2718-74 ($\rho = 1450$ кг/м³, $E = 1,48 \times 10^6$ Н/м², $\nu = 0,205$). Также варьируемым параметром являлся способ крепления печатной платы. Варианты крепления печатной платы представлены на рисунке 1.

Верхняя частота внешнего вибровоздействия была принята равной 200 Гц. Исходя из условия $f_{в0} \geq 2f_{в}$, спектр собственных частот колебаний платы должен быть выше 400 Гц.

В результате проведенного анализа были получены значения собственных резонансных частот конструкции и соответствующие им формы колебаний при различных вариантах варьируемых параметров.

На рисунке 2 в качестве примера приведена эпюра колебаний печатной платы, закрепленной по четырем точкам и выполненной из стеклотекстолита FR-4 толщиной 1,5 мм.

Зависимость собственной резонансной частоты платы из стеклотекстолита FR-4 от варианта крепления и толщины платы представлена в таблице 1.



1 – закрепление по 4 точкам; 2 – закрепление по 6 точкам; 3 – жесткое заземление по 2-м коротким сторонам; 4 – жесткое заземление по 2-м длинным сторонам

Рисунок 1 – Варианты закрепления печатной платы

Имя модели: r1.5
 Название исследования: 4 точки (По умолчанию)
 Тип эпоры: Частотный Амплитуда1
 Форма колебаний: 1 Значение = 692,02 Гц
 Шкала деформации: 0,000921007

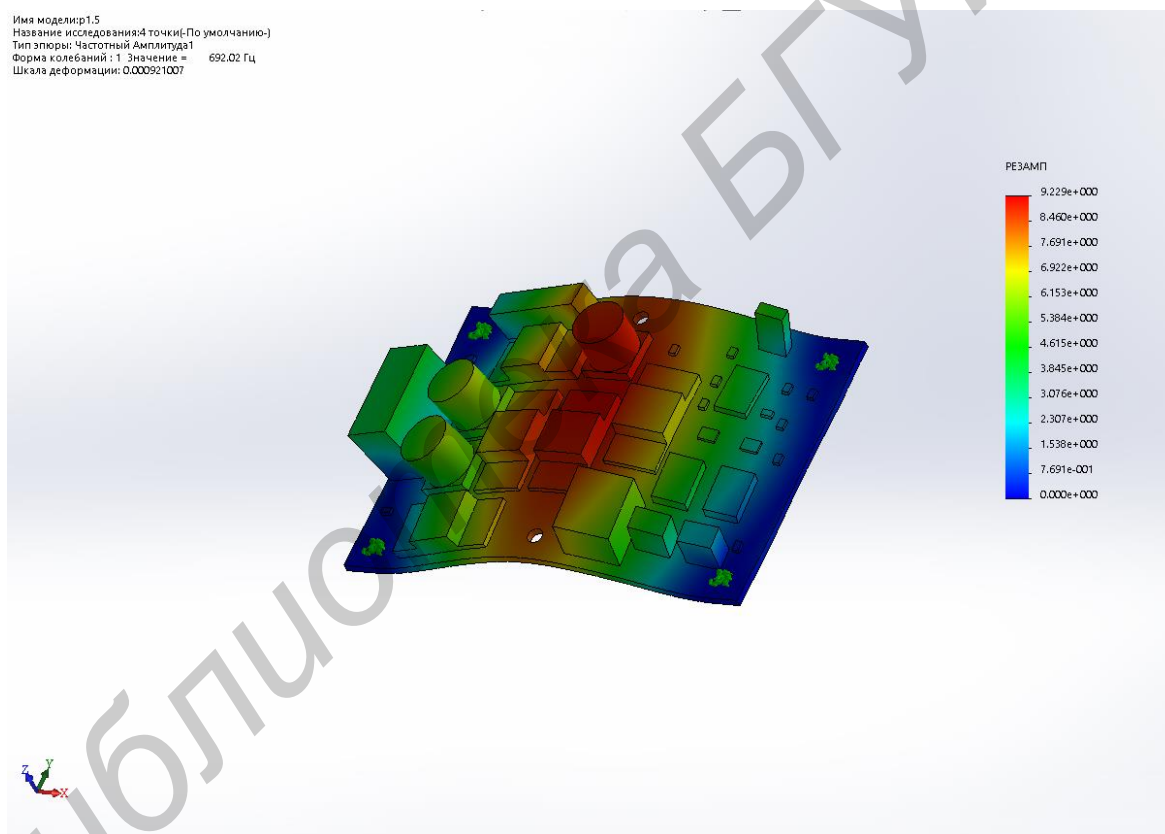


Рисунок 2 – Форма колебаний печатной платы, закрепленной по четырем точкам, выполненной из стеклотекстолита FR-4 толщиной 1,5 мм.

Таблица 1 – Зависимость собственной резонансной частоты платы от варианта крепления и толщины платы, материал платы стеклотекстолит FR-4

Толщина печатной платы, мм	1-я собственная резонансная частота платы, Гц			
	Вариант крепления 1	Вариант крепления 2	Вариант крепления 3	Вариант крепления 4
0,5	197,11	464,99	192,27	374,54
1	440,06	1005,10	429,68	828,88
1,5	692,02	1545,20	675,47	1298,70
2	945,87	2071,10	926,80	1768,3

На рисунке 3 приведен график зависимости первой собственной резонансной частоты платы от толщины материала и схемы закрепления платы, материал платы FR-4.

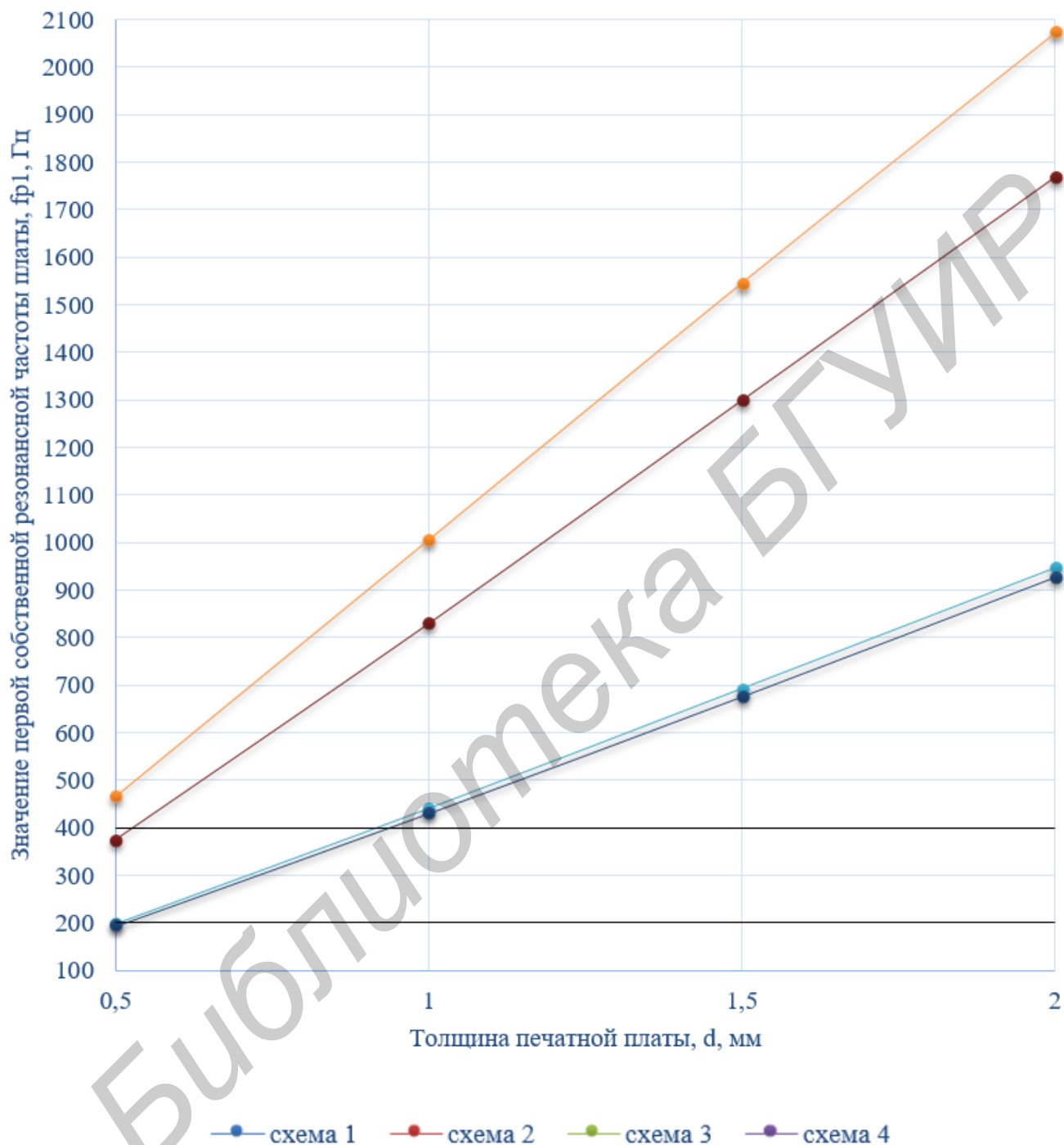


Рисунок 3 – Зависимость первой собственной резонансной частоты платы от толщины материала и схемы закрепления платы, материал платы FR-4

Анализ данного графика показал, что наиболее оптимальными с точки зрения вибропрочности и обеспечения массогабаритных характеристик являются варианты с закреплением платы по схеме 1 и 3 и толщине печатной платы 1 и 1,5 мм соответственно, а также вариант закрепления платы по схеме 2 при толщине пла-

ты 0,5 мм. Варианты закрепления платы по схемам 1, 3 и 4 при толщине печатной платы в 0,5 мм не позволяют обеспечить вибропрочность конструкции.

На основании проведенных исследований была разработана методика, направленная на разработку конструкций печатных плат, проведения анализа и определения оптимальных параметров разрабатываемой конструкции. Последовательность действий по реализации методики моделирования механических процессов, протекающих в конструкциях электронных систем, представлена на рисунке 4.

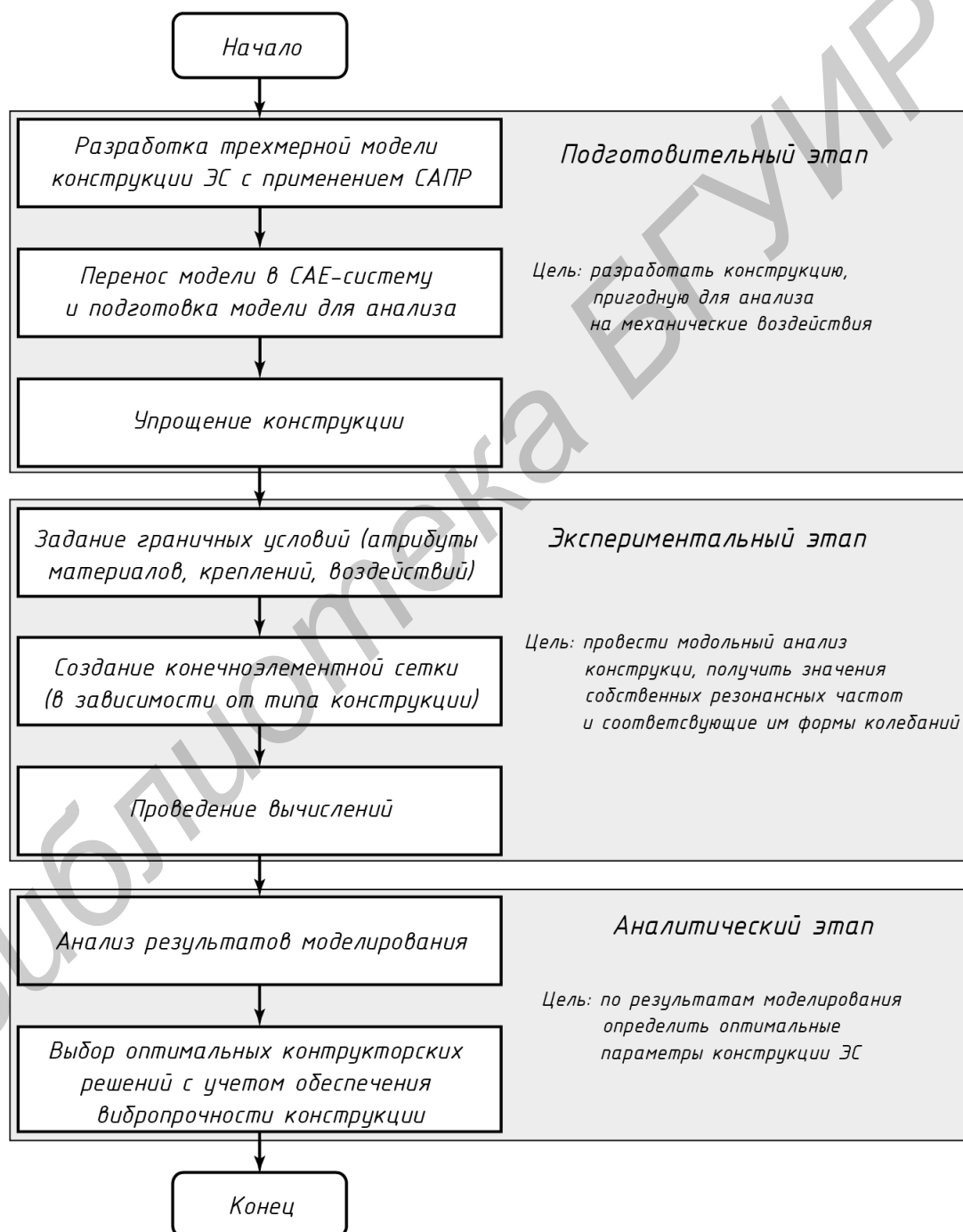


Рисунок 4 – Последовательность действий по реализации методики моделирования механических процессов, протекающих в конструкциях электронных систем

Методика состоит из трех этапов – подготовительного, экспериментального и аналитического. На первом этапе разрабатывается модель конструкции, исправляются ошибки конвертации модели при переносе в систему инженерного анализа, принимаются некоторые упрощения конструкции. На втором этапе задаются параметры исследования и производится инженерный анализ конструкции. Третий этап – аналитический – подразумевает анализ конструкции, ее оптимизацию и обеспечение вибропрочности в данных условиях эксплуатации.

В приложении представлены схема и параметры материалов компонентов исследуемой конструкции, приведены слайды презентации на защиту магистерской диссертации и акт внедрения в учебный процесс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При работе над магистерской диссертацией были тщательно рассмотрены, изучены и проанализированы современные тенденции в исследовании механических воздействий на конструкции электронных систем.

На первом этапе выполнения данной работы был проведен обзор научной литературы и проанализированы основные проблемы проектирования конструкций ЭС с учетом механических воздействий. Было выявлено, что основными задачами механического анализа конструкций ЭС являются статический анализ напряженного состояния конструкций, модальный анализ с расчетом собственных частот конструкции, гармонический анализ конструкции на воздействие вибраций синусоидальной формы, анализ конструкций на случайные вибрации и анализ конструкций на действие ударов. Также был проведен подробный анализ программных средств, предназначенных для моделирования механических процессов, приведены особенности моделирования в рассматриваемых программах, их достоинства и недостатки.

На втором этапе выполнения данной работы был проведен обзор и анализ методов построения математических моделей механических процессов в конструкциях ЭС. Также было уделено внимание применению метода конечных элементов для моделирования механических процессов на примере программ инженерного анализа *ANSYS* и *SolidWorks*. Была поставлена задача оптимизации конструкции с целью обеспечения вибропрочности. Динамические характеристики, полученные в ходе моделирования механических процессов, являются основой контроля по допустимым параметрам, когда сравниваются расчетные значения перегрузок и напряжений с допустимыми значениями по техническим условиям или условиям эксплуатации, что позволяет сделать вывод о пригодности конструкции для работы в данных условиях.

На третьем этапе выполнения работы была разработана методика, предназначенная для определения оптимальных параметров печатных плат по результатам модального анализа. Данная методика предполагает создание модели, ее упрощение, задание граничных условий и проведение исследования и анализ полученных результатов. Также был проведен сравнительный анализ ППП *ANSYS* и *SolidWorks*, выявивший, что моделирование в данных программах дает схожие результаты.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Полученные результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в учебные курсы «Информационные технологии проектирования электронных устройств», «Конструирование и технология электронных устройств», «Программное обеспечение инженерного моделирования физических процессов»

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

1. Горбач, А.П. Моделирование механических процессов РЭС методом конечных элементов/ А.П. Горбач, А.А. Русак, В.Ф. Алексеев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. науч. трудов по материалам междунар. Заоч. науч.-практич. конф., Воронеж, Российская Федерация / ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж. 2015. – С. 294–297.

2. Русак, А.А. Анализ методов теплового моделирования радиоэлектронных средств/ А.А. Русак, А.П. Горбач, В.Ф. Алексеев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. науч. трудов по материалам междунар. Заоч. науч.-практич. конф., Воронеж, Российская Федерация / ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж. 2015. – С. 391–394.

3. Горбач, А.П. Моделирование конструкций электронных систем с использованием виброизоляторов/ А.П. Горбач, А.А. Русак, В.Ф. Алексеев // материалы 52-ой науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов «Проектирование информационно-компьютерных систем», Минск, Респ. Беларусь, 25–30 апреля 2016 г. / УО «БГУИР». – Минск, 2016. – С. 35–37.

4. Горбач, А.П. Анализ программных средств и методов моделирования механических процессов / А.П. Горбач, А.А. Русак, В.Ф. Алексеев // материалы 52-ой науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов «Проектирование информационно-компьютерных систем», Минск, Респ. Беларусь, 25–30 апреля 2016 г. / УО «БГУИР». – Минск, 2016. – С. 38–39.

5. Русак, А.А. Моделирование тепловых процессов методом сеток/ А.А. Русак, А.П. Горбач, В.Ф. Алексеев // материалы 52-ой науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов «Проектирование информационно-компьютерных систем», Минск, Респ. Беларусь, 25–30 апреля 2016 г. / УО «БГУИР». – Минск, 2016. – С. 106–108.

6. Русак, А.А. Численное моделирование тепловых процессов в SolidWorks/ А.А. Русак, А.П. Горбач, В.Ф. Алексеев // материалы 52-ой науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов «Проектирование информационно-компьютерных систем», Минск, Респ. Беларусь, 25–30 апреля 2016 г. / УО «БГУИР». – Минск, 2016. – С. 109–111.

РЭЗІЮМЭ

Горбач Антон Пятровіч

Методыка мадэлявання механічных працэсаў, якія праходзяць у канструкцыях электронных сістэм

Ключавыя словы: механічныя працэсы, канструкцыі электронных сістэм, методыка мадэлявання.

Мэта работы: распрацоўка методыкі мадэлявання механічных працэсаў, якія праходзяць у канструкцыях электронных сістэм, што дазваляе вызначаць аптымальныя параметры канструкцый друкаваных платаў у мэтах забеспячэння вібратываласці.

Атрыманыя вынікі і іх навізна

Прыведзена класіфікацыя асноўных задач механічнага аналізу канструкцый ЭС, заснаваная на разглядзе найбольш небяспечных механічных уздзеянняў, якія прыводзяць да пагаршэння надзейнасці апаратуры, а таксама дэталёвы разгляд праграмных прадуктаў інжынернага аналізу, што дазваляюць скласці алгарытм мадэлявання механічных працэсаў.

Апісаны метады будавання матэматычных мадэляў механічных працэсаў, заснаваных на ўжыванні метаду канчатковых элементаў, што дазваляюць рэалізаваць мадэляванне механічных працэсаў, праходзячых у канструкцыях ЭС.

Распрацавана методыка мадэлявання механічных працэсаў, **якія праходзяць у канструкцыях электронных сістэм**, якая дазваляе праводзіць праектаванне і аптымізацыю канструкцыі на ранніх стадыях распрацоўкі ў мэтах забеспячэння вібратываласці.

Ступень выкарыстання: вынікі ўкаранёны ў навучальны працэс на кафедры праектавання інфармацыйна-камп'ютэрных сістэм ўстановы адукацыі «Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі».

Вобласць ужывання: распрацоўка друкаваных платаў, электронныя сродкі.

РЕЗЮМЕ

Горбач Антон Петрович

Методика моделирования механических процессов, протекающих в конструкциях электронных систем

Ключевые слова: механические процессы, конструкции электронных систем, методика моделирования.

Цель работы: разработка методики моделирования механических процессов, протекающих в конструкциях электронных систем, позволяющей определять оптимальные параметры конструкций печатных плат с точки зрения обеспечения вибропрочности.

Полученные результаты и их новизна

Приведена классификация основных задач механического анализа конструкций ЭС, основанная на рассмотрении наиболее опасных механических воздействий, приводящих к ухудшению надежности аппаратуры, а также детальное рассмотрение программных продуктов инженерного анализа, позволяющие составить алгоритм моделирования механических процессов.

Описаны методы построения математических моделей механических процессов, основанные на применении метода конечных элементов, позволяющие реализовать моделирование механических процессов, протекающих в конструкциях ЭС.

Разработана методика моделирования механических процессов, протекающих в конструкциях ЭС, позволяющая проводить проектирование и оптимизацию конструкции на ранних стадиях разработки в целях обеспечения вибропрочности.

Степень использования: результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Область применения: разработка печатных плат, электронные средства.

SUMMARY

Horbach Anton Petrovich

Modelling technique of mechanical processes taking place in electronic systems constructions

Keywords: mechanical processes, constructions of electronic systems, modeling technique.

The object of study: Development of modeling technique of mechanical processes, which take place in the construction of electronic systems, allowing to determine the optimal parameters of PCB designs in terms of providing vibration strength.

The results and novelty

The classification of main tasks of the electronic system constructions mechanical analysis, based in a consideration of the most dangerous mechanical stresses, leading to degradation of the reliability of the equipment, and detailed review of CAD- and CAE-systems, allows to make mechanical modeling algorithm were given.

Methods of mathematical models of mechanical processes constructions based on finite elements method, allowing to realize the mechanical process simulations taking place in electronic systems constructions was described.

Modelling technique of mechanical processes taking place in electronic systems constructions, allows designing and optimizing construction at the early stages and providing vibration strength was developed.

Degree of use: results are implemented in educational process at the Department of Information and Computer system design of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Sphere of application: PCB design, electronic means.