

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Неразрушающего Контроля
Направление подготовки – Электроника и наноэлектроника
Кафедра промышленной и медицинской электроники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка методики, алгоритмов и программного обеспечения для расчёта моточных изделий в соответствии с требованиями к космической аппаратуре УДК 621.318.4.045.001.24:004.41:629.782

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ51	Осипенко Анастасия Ивановна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Костарев И.С.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Николаенко В.С.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Ф.А. Губарев	к.ф.-м.н., доцент		

ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ПРОГРАММЕ

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р1	Использовать результаты освоения фундаментальных и прикладных дисциплин ООП магистратуры; понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения; демонстрировать навыки работы в научном коллективе, порождать новые идеи	Требования ФГОС (ПК-1–3), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
Р2	Анализировать состояние научно-технической проблемы путём подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников; определять цели, осуществлять постановку задач проектирования приборов нанoeлектроники, схем и устройств различного функционального назначения с использованием современной элементной базы нанoeлектроники, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-8), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
Р3	Формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.	Требования ФГОС (ПК-16). Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
Р4	Осваивать принципы	Требования ФГОС (ПК-18),

	<p>планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени; разрабатывать физические и математические модели элементов наноэлектроники, компьютерное моделирование исследуемых физических процессов, приборов, схем и устройств, относящихся к профессиональной сфере</p>	<p>Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI</p>
P5	<p>Делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научно-технические отчёты, обзоры, рефераты, публикации по результатам выполненных исследований, доклады на научные конференции и семинары, научные публикации в центральных изданиях и заявки на изобретения</p>	<p>Требования ФГОС (ПК-20). Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI</p>
P6	<p>Работать в качестве преподавателя в образовательных учреждениях среднего профессионального и высшего профессионального образования по учебным дисциплинам предметной области данного направления под руководством профессора, доцента или старшего</p>	<p>Требования ФГОС (ПК-26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI</p>
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	<p>Совершенствовать и</p>	<p>Требования ФГОС (ОК-1);</p>

	развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень. Самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности	ПК-4). Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P8	Использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов. Участвовать в проведении технико-экономического и функционально-стоимостного анализа рыночной эффективности создаваемого продукта	Требования ФГОС (ОК-9; ПК-23), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P9	Разрабатывать планы и программы инновационной деятельности в подразделении. Проявлять инициативу, в том числе в ситуациях риска, брать на себя всю полноту ответственности	Требования ФГОС (ОК-5, ПК-25), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P10	Способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов	Требования ФГОС (ОК-4, ПК-19), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P11	Обладать способностью к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-2), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт Неразрушающего контроля
Направление подготовки – Электроника и наноэлектроника
Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
1AM51	Осипенко Анастасия Ивановна

Тема работы:

Разработка методики, алгоритмов и программного обеспечения для расчёта моточных изделий в соответствии с требованиями к космической аппаратуре

Утверждена приказом директора Института неразрушающего контроля (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы: (дата)

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования; документы конференции и отчеты НИИР; программное обеспечение).

1. Разработанные ранее алгоритмы по расчету дросселей и трансформаторов;
2. Разработанные ранее программные продукты по расчету дросселей и трансформаторов;
3. Обмоточные записки с исходными данными для расчета намоточных изделий;
4. Выходные параметры, предоставленные цехами предприятия для сравнения полученных результатов.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования; разработка алгоритмов и программ; описание методов исследования обработки результатов; анализ полученных результатов; дополнительные разделы, подлежащие разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1. Провести анализ существующих алгоритмов и методик, программных средств для расчета дросселей и трансформаторов;</p> <p>2. Разработать программно-алгоритмическое обеспечение для автоматизированного расчета намоточных изделий, путем обобщения и дополнения существующих алгоритмов и методик, учитывая влияние внешних факторов;</p> <p>3. Исследовать адекватность и эффективность разработанного алгоритма и программного обеспечения на имеющихся данных о входных и выходных параметрах намоточных изделий;</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>1. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Николаенко Валентин Сергеевич</p>
<p>2. Социальная ответственность</p>	<p>Анищенко Юлия Владимировна</p>
<p>3. Английский язык</p>	<p>Мыльникова Татьяна Степановна</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Костарев Игорь Степанович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM51	Осипенко Анастасия Ивановна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 195 с., 36 рис., 41 табл., 85 источников, 4 прил.

Ключевые слова: намоточные изделия, алгоритм расчета, перегрев, потери мощности, пропитка, скин-эффект, программное обеспечение, Qt Creator, база данных.

Объектом разработки являются алгоритм расчета намоточных изделий (НИ), программная система расчёта дросселей и трансформаторов.

Цель работы – создание программного обеспечения для автоматизированного расчета НИ.

В процессе исследования проводилось изучение предметной области, разработка алгоритма и программного обеспечения по расчету НИ путем обобщения, дополнения имеющихся многочисленных алгоритмов и методик, учитывающих влияние внешних факторов на работу НИ.

В результате исследования разработана оригинальная программная система расчёта трансформаторов и дросселей на основе разработанного алгоритма. Система включает разработанную в среде Qt Creator программу расчета и программный интерфейс, модифицируемую базу данных комплектующих изделий (магнитопроводов и сердечников) и материалов. Представлены примеры расчета НИ с использованием алгоритма, с помощью проектирования в среде SolidWorks, а так же в спроектированной программной системе.

Степень внедрения: программный продукт планируется внедрить для постоянной эксплуатации в АО «НПЦ «Полюс», г. Томск.

Область применения – программное обеспечение может использоваться разработчиком, конструктором и технологами при создании изделий электронной техники.

Оглавление

1. Введение.....	12
2. Обзор литературы.....	15
2.1 Виды дросселей и трансформаторов.....	18
2.2 Многообмоточные трансформаторы.....	20
2.3 Программы расчета дросселей и трансформаторов.....	23
3. Моделирование дросселей и трансформаторов.....	24
3.1 Создание модели магнитопровода в OrCad.....	24
3.2 Создание модели магнитопровода в MICROCAP-7.....	25
3.3 Моделирование электромагнитных явлений в среде SolidWorks.....	26
4. Алгоритм расчета дросселей и трансформаторов.....	27
4.1 Расчет геометрических параметров магнитопровода.....	27
4.2 Алгоритм расчета основных параметров дросселей и трансформаторов.....	30
4.3 Расчет тороидального НИ.....	48
4.4 Расчет броневого НИ.....	55
4.5 Расчет высоковольтных трансформаторов.....	57
4.6 Скин-эффект.....	59
4.7 Исследование влияние температурных воздействий и пропиточных составов на параметры тороидальных намоточных изделий с магнитопроводом НИ 200НМ.....	60
4.8 Обзор методов мониторинга для прогнозирования технического обслуживания силовых трансформаторов на основе анализа растворенного газа.....	69
4.8.1 Трансформаторы и обслуживание силовых трансформаторов.....	71
4.8.2 Анализ неисправностей в силовых трансформаторах.....	75

4.8.3	Методы диагностики и оценки эксплуатационного состояния силовых трансформаторов.....	79
4.8.4	Анализ методов и будущих направлений исследования.....	86
4.8.5	Выводы.....	89
5.	Результаты проведенного исследования.....	91
5.1	Результаты расчета с использованием разработанного алгоритма.....	91
5.2	Проверка результата расчета с использованием SolidWorks.....	95
5.3	Разработанное ПО.....	98
6.	Предпроектный анализ.....	102
6.1	Потенциальные потребители результатов исследования.....	102
6.1.1.1	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	103
6.1.1.2	Оценка готовности проекта к коммерциализации....	105
6.2	Инициализация проекта.....	107
6.2.1	Цели и результаты проекта	107
6.2.2	Организационная структура проекта.....	108
6.3	Планирование управления научно-техническим проектом.....	108
6.3.1	Бюджет научно-технического исследования.....	110
6.4	Оценка сравнительной эффективности исследования.....	114
7.	Социальная ответственность.....	118
7.1	Введение.....	118
7.2	Производственная безопасность.....	119
7.2.1	Микроклимат.....	121
7.2.2	Шум.....	122
7.2.3	Требование к освещению.....	123
7.2.4	Электробезопасность.....	124
7.2.5	Электромагнитные излучения.....	125
7.3	Экологическая безопасность.....	125

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях (общие требования).....	126
7.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	127
Заключение.....	129
Список публикаций.....	131
Список использованных источников.....	132
Приложение А Перечень имеющихся программ по расчету НИ.....	140
Приложение Б Результаты расчета с использование разработанного алгоритма.....	160
Приложение В Листинги разработанной программы.....	166

1 Введение

Проектирование современной радиоэлектронной аппаратуры, обладающей оптимальными энергетическими и массогабаритными показателями, не обходится без выбора конструкции и элементарного расчета основных параметров намоточных изделий (НИ) – трансформаторов и дросселей. Это связано с тем, что область их применения охватывает все структуры нашей жизни от бытовых приборов и промышленных объектов до кораблестроения и разработки космических аппаратов (КА). И если использование НИ в бытовых приборах ограничивается требованиями к ним связанными с выполнением своих функций с широкими допусками как электрических, так и геометрических параметров, то использование в промышленности, кораблестроении и разработке КА требования эти ужесточаются, и помимо выполнения своих функций необходимыми становятся уменьшение массогабаритных параметров, снижение ухода основных электрических параметров от исходных на всем сроке активного существования и стоимости изготовления. В связи с этим актуальными являются различные более точные методики расчета НИ.

Вопросами разработки методик расчета НИ большое внимание уделяется с 1900 г.г. Одна из первых серьезных публикаций была выпущена в 1920 г. Миланом Видмаром [1]. В последующие годы методики и способы расчетов совершенствовались и в 1963 г. отечественным разработчиком И.И. Белопольским [2] выпущена книга, в которой были изложены основные на тот момент подходы к расчету дросселей и трансформаторов малой мощности.

Современное развитие алгоритмов и методик расчета дросселей и трансформаторов также являются актуальными. Это связано с тем, что прогресс не стоит на месте и ежегодно происходит выпуск новых материалов для сердечников, проводов обмотки, изоляционного материала; ужесточаются требования к массогабаритным параметрам, надежности элементов,

способности их работать при внешних агрессивных условиях. Большой вклад в развитие современных методик расчета НИ внесли Ю.Н. Старобдубцев [3], М.А. Бики [4, 5], Г.Я. Шнейдера [6], А.И. Лурье [7]. Однако в их работах не учтено ряд особенностей, связанных с конструкцией магнитопровода, учет влияния пропитки электроизоляционными лаками и компаундами, которые приводят к изменению таких важных параметров НИ как индуктивность (до 83%), тока холостого хода (от 50 до 120%), а так же тангенс угла потерь (до 50%).

Таким образом, для расчета основных параметров НИ современным инженерам (конструкторам, разработчикам, технологам) необходимо выполнить большое количество вычислительных операций с поиском и выбором из литературных источников различных величин и коэффициентов. В связи с этим большое значение для качественного расчета приобретает опыт и интуиция разработчика радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), в ином случае расчет проводится приближенный, с неоправданными запасами и большим количеством итераций, выполняемых вручную.

Для решения этой проблемы необходима автоматизация инженерных расчетов параметров НИ, что позволит сократить сроки разработки приборов, повысить качество проектирования и рассчитывать такие параметры, которые при ручном способе расчетов вычислять затруднительно или нецелесообразно.

В настоящее время существует большое количество как платного, так и бесплатного программного обеспечения (ПО), позволяющего рассчитать основные параметры НИ. Наиболее распространенные из бесплатных является программы для расчета дросселей и трансформаторов В. Денисенко, г. Псков [8]. Им разработаны прикладные программы для расчета дросселя на разъемных сердечниках (из двух половинок), сетевого силового трансформатора «Trans50Hz», дросселя на кольцевых сердечниках «DrosselRing», трансформатора обратного преобразователя на кольцевых сердечниках «FlybackRing», трансформатора однофазного, трехфазного, автотрансформатора и т.д. Все они выложены в сети Internet и доступны

любому пользователю. Однако у них, как и у многого другого бесплатного ПО, есть недостатки: устаревшая база данных, используется в основном только иностранные материалы сердечников, нет описания моделей заложенных для расчета, не выводятся все необходимые для разработчика РЭА результаты, отсутствует анализ влияния пропиток илаков. Из платного ПО наиболее распространенным является PExpert корпорации Ansys Inc [9]. PExpert лишен практически всех выше указанных недостатков, однако имеет большую цену.

Целью работы является создание собственного принципиально нового программного обеспечения для автоматизированного расчета НИ, путем обобщения и дополнения существующих алгоритмов.

Объектом исследования является алгоритм расчета НИ, а предметом – дроссели, трансформаторы и их конструктивные особенности.

Научная новизна заключается в анализе существующих алгоритмов; формировании алгоритмов расчета, обобщающего физические и электрические характеристик НИ с учетом влияния пропитки лаком и компаундом на их параметры.

Практическая значимость заключается в разработке программного обеспечения по расчету НИ и внедрению его на АО «НПЦ «Полюс».

Дальнейшее продолжение работы связано с расширением спектра входных данных, расширением базы материалов магнитопроводов, расчетом дополнительных параметров трансформаторов.

В результате работы проведены расчеты основных параметров дросселей и трансформаторов для приборов и устройств, используемых в кораблестроении и КА, разрабатываемых на АО "НПЦ "Полюс".

Результаты расчетов, а также алгоритм опубликованы в статье «Особенности расчета дросселей и трансформаторов для электронной аппаратуры космических аппаратов», представленной на III Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики: «Актуальные проблемы авиации и космонавтики».

2 Обзор литературы

Основы проектирования и история первых десятилетий развития конструкций силовых трансформаторов из всей известной литературы лучше всего изложены в книге известного инженера, ученого и шахматиста Милана Видмара «Трансформаторы», написанной в 1920 году (русский перевод со второго немецкого издания, подготовленного в 1925 г., вышел в 1931 г. [1]). Приведенные в ней принципиальные положения остаются в силе, несмотря на развитие теории, большой прогресс в свойствах материалов, технологии, конструкции и стандартизации, рост предельных мощностей на полтора порядка, а также появление мощнейших средств автоматизации расчета, конструирования и управления производством и эксплуатацией. Книга эта давно стала библиографической редкостью.

Все крупные проблемы трансформаторостроения возникают при переходе от старой конструкции к новой или, как это обычно бывает, от меньшей к большей. Трансформаторы и дроссели почти достигли указанных значений, казавшихся в 1920 году фантастически большими, еще при жизни Видмара, а в 1970-80-х годах превзошли их. Затем рост предельных мощности и напряжений прекратился, а производство временно уменьшилось в связи с энергетическим кризисом и другими политическими событиями. Однако, в отличие от паровозов, силовые трансформаторы и дроссели в обозримом будущем не сойдут со сцены, так как замены электросетям не видно. Предела экономичности и надежности нет. Поэтому теория и методы расчета и конструирования будут продолжать развиваться, хотя гораздо медленнее, чем в 20-м веке. Развиваются специальные трансформаторы, особенно преобразовательные, и реакторы. Тем не менее, основы подхода к расчету, сформулированные Видмаром, остаются и останутся в силе независимо от того, что теперь имеются мощнейшие системы программ для расчета НИ. Ведь инженер должен понимать суть требований, предъявляемых к проектируемому

трансформатору, дросселю или реактору, принципиальный путь расчета параметров и основные зависимости, быть способным выбрать наиболее подходящий вид конструкции. Знание расчета нужно также для анализа результатов испытаний и режимов эксплуатации. Систематический расчет трансформаторов изложен в книгах Н.И.Булгакова [10], А.В. Хныкова [11], Р.Х. Бальяна [12], Н.П.Ермолина [13] и в выдержавшем пять изданий учебном пособии П.М. Тихомирова [14]. Схема учебного расчёта трансформатора, приведенная в [15], содержит 7 пунктов и 27 подпунктов – далеко не все нужные расчёты. Однако, промышленный расчет основывают не на чистом месте и только литературных данных, а на внутрифирменных инструкциях, данных ближайших освоенных ранее изделий и ином накопленном опыте. Теория трансформаторов наиболее полно дана в книгах Г.Н. Петрова [16], Ю.Н. Старобдубцева [3], И.И. Белопольского [2], некоторые дополнения есть в книге С.Б. Васютинского [17]. Электромагнитным расчетам посвящены книги Л.В. Лейтеса [18], С.В. Котенев [19], С.Д. Лизунова [20] и Я. Туровского [21–23]. Многие вопросы, связанные с трансформаторами, рассмотрены в нескольких десятках книг серии «Трансформаторы» Госэнергоиздата (ГЭИ, изд-во «Энергия»). Вне этой серии вышли книги Ю.Н.Шафира о токораспределении [24], под редакцией А.И. Лурье [7] о стойкости при коротких замыканиях, Г.Я. Шнейдера об электрической изоляции [25] и др. Отдельным вопросам расчета трансформаторов, дросселей и реакторов посвящены сотни статей; ссылки на ключевые из них можно найти в упомянутых книгах, а также в справочной книге [26]. В известных последних зарубежных книгах о НИ, в частности [27–29], практически нет существенно новых идей и сведений о методах расчёта, отсутствующих в русской литературе. Очень полезны книги М.А. Бики по проектированию трансформаторов, дросселей и реакторов [4, 5]. Термины и определения основных понятий теоретической электротехники приведены в стандарте [30–33]. При проектировании трансформатора или дросселя выполняют множество разнообразных электромагнитных, тепловых и механических расчетов для установившихся и переходных режимов.

Для простейших случаев существует множество online калькуляторов, которые позволяют прикинуть или даже рассчитать простые варианты катушек индуктивности, дросселей, трансформаторов.

Например, очень хорошая программа Coil32. Сайт – <http://coil32.narod.ru/>. Позволяет определить основные параметры катушек индуктивности различной формы.

Для простейшего расчета трансформаторов, например, калькулятор радиолобителя. Сайт – <http://www.radioamcalc.narod.ru/>.

Но все это лишь небольшая часть имеющихся программ расчета для устройств, в лучшем случае, до 1кВт. Дальше начинается своя специфика. Особенно если эти устройства работают на частотах выше нескольких десятков кГц.

В мощных высокочастотных дросселях, катушках индуктивности, индукторах, трансформаторах существенно возрастают потери от поверхностных эффектов протекания тока. Высокочастотный ток может легко концентрироваться и перегревать локальные участки силового устройства. На высокой частоте существенно возрастает сложность точного расчета потерь мощности в магнитопроводе и обмоточном проводе или шинах. Существенно увеличивается влияние на потери многослойность катушки. Учет влияния зазора в магнитопроводе, внешние факторы и расчет работы устройства после пропитки также становятся сложной задачей, что приводит к необходимости разработки и обобщения имеющихся алгоритмов и проектирования собственного программного обеспечения.

2.1 Виды дросселей и трансформаторов

Из всего многообразия инженерно-технических расчётов, которые можно выполнить на персональных компьютерах, нас будут интересовать расчёты характеристик трансформаторов и дросселей с целью оптимального подбора параметров разрабатываемых изделий.

Трансформатором называют статическое электромагнитное устройство, которое имеет две или более индуктивно связанные обмотки и используется для преобразования напряжения переменного тока посредством электромагнитной индукции (повышает или понижает).

Трансформаторы могут иметь следующий вид (рисунок 2.1):

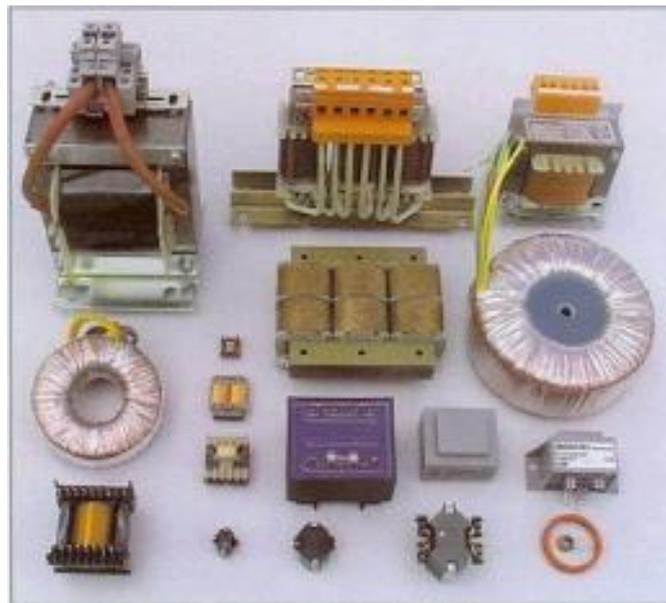


Рисунок 2.1 – Трансформаторы

В зависимости от функций трансформаторы делят на силовые, измерительные, сигнальные и другие. Наиболее распространенный тип преобразователя – силовой трансформатор – является устройством, изменяющим напряжение переменного тока различных энергосистем для дальнейшей передачи конечному потребителю (питание электрооборудования, освещения и прочее).

Трансформатор тока предназначен для регулировки тока, трансформатор напряжения соответственно регулирует напряжение. Так же стоит упомянуть электронный, бытовой и сварочный трансформаторы. По числу фаз трансформаторы делятся на однофазные, двухфазные, трехфазные и многофазные. К трансформаторам малой мощности относят трансформаторы с выходной мощностью 4 кВт и ниже для однофазных, 5 кВт и ниже для трехфазных.

По конструкции силовые трансформаторы делятся на два основных типа – масляные и сухие. Масляный трансформатор состоит из магнитопровода с обмотками, бака, заполненного трансформаторным маслом, и предназначается для использования в сетях с напряжением выше 6 000 Вольт. Сухие трансформаторы применяются в жилых и промышленных помещениях и охлаждаются воздухом.

Дроссель – это одна из разновидностей катушек индуктивности. Основная функция этого элемента электрической схемы – «задерживать» на определенный период времени влияние токов определенного диапазона частот.

Дроссели могут иметь следующий вид (рисунок 2.2):



Рисунок 2.2 – Дроссели

Дроссель необходим в электрической цепи в том случае, когда

необходимо подавить переменную составляющую тока (например, помехи), существенно снизить пульсации в сети, а также ограничить или разделить в соответствии с поставленной задачей различные частотные сигналы (изоляция или развязка). Конструктивно низкочастотный дроссель напоминает обычный электрический трансформатор с одной обмоткой, который может быть однофазный и трехфазный, встраиваемый и открытый.

2.2 Многообмоточные трансформаторы

Многообмоточные трансформаторы состоят из одной первичной и нескольких вторичных обмоток, рассчитанных на разные напряжения, тем самым заменяя несколько двухобмоточных трансформаторов, имеет меньшие габариты, вес и стоимость.

В промышленности широко используются многообмоточные трансформаторы большой мощности, особенно при сдвиге во времени номинальных нагрузок вторичных цепей. А трансформаторы малой мощности применяются для питания радиоустройств, электронных и ионных приборов, схем автоматики и т.д.

Магнитный поток, возникающий при подключении к источнику переменного тока и пронизывающий первичную и вторичные обмотки, создает индуктированную в них ЭДС, прямопропорциональную числу витков этих обмоток. Таким образом, в режиме холостого хода работа многообмоточного трансформатора (рисунок 2.3) совершенно не отличается от работы трансформатора с одной вторичной обмоткой, их главные специфические особенности проявляются в нагрузочных режимах [34].

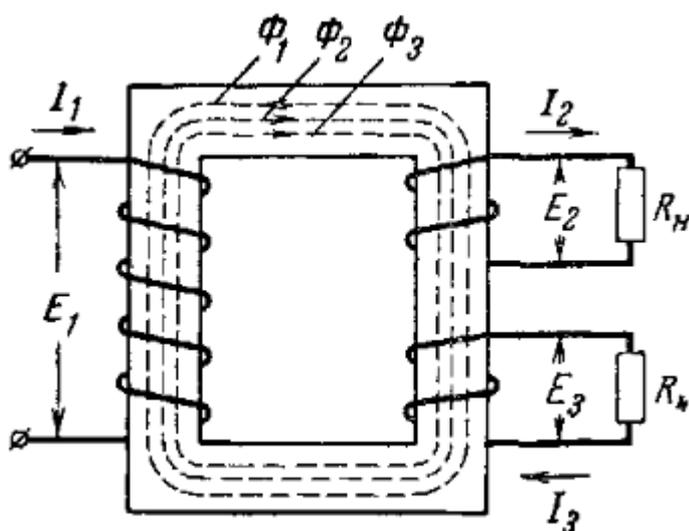


Рисунок 2.3 – Многообмоточный трансформатор

При соединении вторичных обмоток с соответствующими нагрузками, приводит к установлению токов I_2, I_3 , а в магнитопроводе возникнет поток $\Phi_2 + \Phi_3$, противоположный потоку Φ_1 , созданному током первичной обмотки. Ток в первичной обмотке равен

$$I_1 = \frac{I_2}{(k_m)_2} + \frac{I_3}{(k_m)_3} = I_2' + I_3'$$

В этом уравнении I_2' и I_3' – составляющие тока первичной обмотки, созданные токами вторичных обмоток; k_{T2} и k_{T3} – коэффициенты трансформации для вторичных обмоток.

При появлении в первичной обмотке тока I_1 магнитный поток $\Phi_2 + \Phi_3$ компенсируется путем увеличения потока Φ_1 , следовательно, не учитывая потери в сердечнике и обмотках, суммарный магнитный поток в сердечнике остается неизменным, а мощность первичной обмотки многообмоточного трансформатора складывается из мощностей вторичных обмоток.

При изучении работы трансформатора чаще всего используется эквивалентная схема замещения, основанная на законе Ома, Кирхгофа и электромагнитной индукции Фарадея-Максвелла. Магнитная связь между обмотками трансформатора замещается электрической, а параметры вторичной обмотки приводятся к числу витков первичной. Ввод параметра индуктивности

намагничивания, замена проводимости трансформатора на постоянную нагрузку, равной мощности холостого хода позволяют использовать привычные с точки зрения теории цепей операции с намагничивающими токами вместо математических операций с магнитным потоком.

На практике, при номинальной нагрузке и токе трансформатора, потери мощности в меди (в обмотках) трансформатора принимаются равными потерям короткого замыкания, т. е. $\Delta P_m \approx \Delta P_k$. Используя расчетные формулы следует учитывать, что при номинальном напряжении сопротивление обмоток трансформатора определяется как его первичной, так и вторичной обмотками. Так же важно учитывать коэффициенты трансформации, различные для каждой из обмоток, т.к. вторичное напряжение регулируется путем его изменения, т. е. соотношения между числами витков первичной и вторичной обмоток.

Значение сопротивлений короткого замыкания зависит от взаимного расположения обмоток, так как среднее значение расстояния между осями обмоток и магнитопроводом в многообмоточных трансформаторах больше, чем у двухобмоточных, благодаря этому увеличивается сопротивление и напряжение короткого замыкания на 12 – 15%. С другой стороны, расчетная мощность многообмоточного трансформатора меньше суммы расчетных мощностей двухобмоточных трансформаторов. Теоретически это описывается частичной реактивной мощностью, поступающей из сети, сообщаемой нагрузке, когда как другая ее часть циркулирует непосредственно между вторичными обмотками. Таким образом, многообмоточные трансформаторы не только более просты по конструкции, но и имеют меньшую расчетную мощность при различном характере нагрузок.

Подводя итог вышеизложенному, следует отметить, что модель N-обмоточного трансформатора, основанная на приведенной эквивалентной схеме для мгновенных значений электрических и магнитных величин, позволила добиться высокого уровня обобщения. За счет этого удалось с единых позиций взглянуть на трансформаторы четырех различных типов, а так же дать ключ к решению других практических задач.

2.3 Программы расчета дросселей и трансформаторов

Очевидно, что существует множество подходов к расчетам НИ и других электромагнитных устройств. Написано достаточно большое количество подобных программ. В связи с обозначенной задачей необходимо провести обзор типичных существующих программ и их функциональных возможностей, а так же обосновать необходимость создания новой программной системы расчёта НИ.

В приведенной в приложении А, таблице 1 указаны сведения о некоторых программах расчета определённых характеристик трансформаторов и дросселей с указанием автора и ресурса, целей создания программы, входных и выходных параметров.

Следует отметить, что большая часть из перечисленных программ предназначены для расчета НИ малой мощности. К тому же указанные программы не обладают той же функциональностью, как разрабатываемая, имеют недостаточное количество выходной информации, необходимое инженеру для разработки РЭА. Один из основных недостатков – это отсутствие на выходе программы геометрических параметров после намотки проводов, изоляционного материала и пропитки, что не позволяет разработчику спрогнозировать размеры с высокой точностью и возможность установки в разрабатываемый прибор. Однако они имеют близкое назначение, дают возможность расчета трансформаторов и дросселей не только с ферритовыми, но и с магнитопроводами из других магнитомягких материалов путем непосредственного ввода их электромагнитных параметров (возможность пополнения базы данных). И что немаловажно, преимущественно все из них доступны для исследования и сравнения (бесплатные) [35–45].

3 Моделирование дросселей и трансформаторов

3.1 Создание модели магнитопроводов в OrCad.

Модель сердечника строится по шаблону, созданному на основании модели Джилса-Атертона [45]. Исходными данными для построения модели являются: величина зазора, Gap (сантиметры); площадь поперечного сечения сердечника, Area (квадратные сантиметры); длина средней линии сердечника, Path (сантиметры); коэффициент заполнения сердечника, Pack (безразмерная величина). Кроме этого, для построения модели сердечника необходимо задать петлю гистерезиса для материала сердечника (рисунок 3.1).

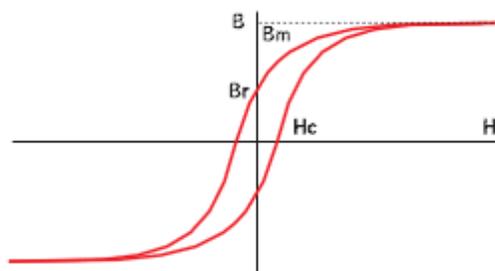


Рисунок 3.1 – Петля гистерезиса для материала сердечника

На рисунке 3.1 приняты следующие обозначения: H_c (Эрстед) – напряженность электромагнитного поля сердечника при индукции, равной нулю; B_r (Гаусс) – индукция в сердечнике при напряженности электромагнитного поля, равной нулю; H_m (Эрстед) – напряженность электромагнитного поля сердечника при индукции, равной индукции насыщения; B_m (Гаусс) – индукция насыщения. Кроме того, задается значение первоначального намагничивания (Initial Perm).

Попытка более точного построения петли гистерезиса по большому количеству точек не дает положительных результатов, так как в Model Editor рассматриваются только три первые занесенные в таблицу пары чисел. В версии OrCAD 10.0 вводятся следующие допущения.

1. Петля является статической, ее форма не зависит от частоты изменения напряженности H поля.

2. Для модели сердечника индукция насыщения B_m определяется как асимптота петли гистерезиса. Если значение B_m принимается непосредственно из справочных таблиц производителей сердечников, то модели сердечника будут работать с заниженным значением величины B_m .

3. Модель воздушного зазора некорректна при низких рабочих частотах (обычно < 100 Гц).

4. Расчет цепи, содержащей сердечник, индукция насыщения B_m в котором по величине больше, чем 10^6 Нс, может расходиться.

3.2 Создание модели магнитопроводов в MICROCAP-7.

Модель нелинейного магнитного сердечника представляет собой вариант модели Джилса-Атертона.

Данная модель базируется на современной теории доменной структуры ферромагнетика и учитывает прогиб доменной стенки и повороты векторов намагниченности доменов при приложении к нему намагничивающей силы [46].

Модель реалистично отражает поведение ферромагнитного сердечника в изменяющемся внешнем магнитном поле, однако не учитывает изменение формы петли гистерезиса в зависимости от скорости перемагничивания (частоты и формы перемагничивающего напряжения или тока). Это объясняется тем, что в дифференциальное уравнение модели Джилса-Атертона производные магнитных величин (H , B , M) по времени не входят. В реальных ферромагнетиках форма петли гистерезиса меняется с ростом частоты перемагничивающего сигнала (растет площадь петли гистерезиса), что проявляется в нелинейном росте потерь в сердечнике. Поэтому расчет потерь в магнитопроводе по указанной модели может оказаться недостаточно точным. Тем не менее, более совершенных моделей на данный момент не существует, а

погрешность определения потерь в большинстве случаев не слишком существенна и вполне приемлема для инженерных расчетов.

3.3 Моделирование электромагнитных явлений в среде SolidWorks

В комплексе SolidWorks это осуществляется при помощи модулей EMS и HFWorks. Подробнее рассмотрим EMS модуль – это 3D-симуляции эффектов, возникающих в электромагнитном поле, основанный на методе конечных элементов. EMS включает 7 модулей, каждый из которых взаимодействует с обширной встроенной библиотекой линейных и нелинейных материалов (определённые пользователем НИ материалы также возможны), доступны различные виды начального возбуждения, задающего электромагнитное поле, а также виртуальные обмотки [47].

EMS даёт проектировщику возможность вычислять электрические, магнитные, механические и тепловые параметры устройств, такие как: сила взаимодействия; крутящий момент; плотность магнитного потока; напряжённость магнитного и электрического поля; электрический поток; электрический ток; индуктивность; емкость; сопротивление; потери в сердечнике, мощности; насыщение; температура; тепловой поток; обратная ЭДС.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1AM51	Осипенко Анастасие Ивановне

Институт	Неразрушающего контроля	Кафедра	Промышленной и медицинской электроники
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Электроника и нанoeлектроника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ):	Затраты на выполнение НИР включают в себя затраты на комплектующие изделия, специальное оборудование для научных работ, основную и дополнительную заработную платы исполнителей, отчисления на социальные нужды, накладные расходы
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	НИР выполнялась в соответствии со стандартной системой налогообложения, отчислений, кредитования

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Предпроектный анализ	Определение потенциальных потребителей результатов исследования и анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, оценка готовности проекта к коммерциализации
2. Инициация проекта	Информация о заинтересованных сторонах проекта, цели и ожидаемые результаты НИР, трудозатраты и функции исполнителей проекта
3. Планирование управления научно-техническим проектом	Составление перечня этапов и работ по выполнению НИР, составление калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов
4. Оценка сравнительной эффективности исследования	Расчёт интегрального показателя эффективности НИР, за счёт определения его основных составляющих: финансовой эффективности и ресурсоэффективности

Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. Карта сегментирования рынка 2. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений 3. График проведения и бюджет НИИ 4. Календарный план проекта 5. Длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе (диаграмма Гантта) 6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ 	
---	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Николаенко Валентин Сергеевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM51	Осипенко Анастасия Ивановна		

6 Предпроектный анализ

6.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В результате анализа потенциальных потребителей результатов разработок рассмотрен целевой рынок и проведено его сегментирование. Определены основные критерии сегментирования.

Разрабатываемый в настоящей работе алгоритм и программная система расчёта трансформаторов и дросселей (далее – ПО) призваны автоматизировать инженерные расчеты параметров моточных изделий (МИ), которые позволят сократить сроки разработки приборов, повысить качество проектирования, а также расширят возможности выбора оптимальных характеристик приборов, используя стремительно развивающиеся аморфные и нанокристаллические магнитомягкие сплавы.

Таким образом, целевым рынком для разработанного алгоритма и ПО, в основном, являются научно-исследовательские организации и промышленные предприятия, а основными потребителями будут разработчики электронной техники, конструкторы и технологи.

Выполним сегментирование рынка программ или оборудования для расчета параметров НИ по следующим критериям: расчет магнитопроводов из аморфных и нанокристаллических сплавов; возможность сочетать несколько методик (гибкость алгоритма); дополнение базы данных собственными значениями; полный список выходных данных; учет влияние на расчет НИ внешних факторов (износ, скин-эффект и т.д) (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Карта сегментирования рынка

	Возможности расчета				
	Расчет магнитопроводов из аморфных и нанокристаллических сплавов	Гибкость алгоритма	Возможность ввода собственных значений, дополнение базы данных составляющих элементов	Обширный список выходных данных	Учет влияния внешних факторов
Наличие разработанной методики					
Наличие программной реализации					

	Существует на рынке
	Частично присутствует
	Отсутствует на рынке

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять конкурентным разработкам и определить направления ее будущего повышения. С позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения его удобно проводить с помощью оценочной карты (таблица 6. 2).

В качестве программы для сравнения при разработке ПО выбрана программа расчета трансформатора питания «EvTrans3» для ОС WINDOWS, автор Ревко А.С. [50] А так же программа расчета тороидального трансформатора и тороидального трансформатора насыщения (SINTT), разработанная сотрудниками АО «НПЦ «Плюс».

Аналоги создаваемой программы на рынке ПО фактически отсутствуют, и выбранные для сравнения программы не обладают в полной мере той же функциональностью, как разрабатываемая. Они приняты в качестве базового варианта, исходя из следующих соображений:

- 1) близкое назначение;
- 2) возможность расчета трансформаторов не только с ферритовыми магнитопроводами путем непосредственного ввода их электромагнитных параметров;
- 3) доступность для исследования и сравнения с разрабатываемой программой.

Подобный анализ осуществляется с помощью анализа конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i . \quad (6.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 6.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	$B_{к1}$	$B_{к2}$	K_{ϕ}	$K_{к1}$	$K_{к2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,09	5	3	4	0,45	0,27	0,36
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
3. Энергоэкономичность	0,08	4	3	3	0,32	0,24	0,24
4. Надежность	0,12	5	4	2	0,6	0,48	0,24
5. Гибкость	0,08	5	2	3	0,4	0,16	0,24
6. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,13	4	3	3	0,52	0,39	0,39
7. Простота эксплуатации	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21

Продолжение таблицы 6.2

8. Качество интеллектуального интерфейса	0,03	4	4	2	0,12	0,12	0,06
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	2	3	2	0,06	0,09	0,06
3. Цена	0,04	4	3	3	0,16	0,12	0,12
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
5. Послепродажное обслуживание	0,07	5	3	4	0,35	0,21	0,28
6. Срок выхода на рынок	0,01	1	3	3	0,01	0,03	0,03
7. Наличие сертификации разработки	0,05	1	5	5	0,05	0,25	0,25
Итого	1	71	65	59	4,24	3,38	3,28

Исходя из результатов анализа, можно сделать вывод, что разработанный алгоритм и спроектированная на его основе ПО на данном этапе достаточно конкурентоспособны. Таким образом, разрабатываемый проект является перспективным, поскольку обладает рядом уникальных свойств, гибкостью, а так же относительно невысокой ценой.

6.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения).

Для проведения оценки необходимо заполнить специальную форму оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации. В таблице 3 представлен перечень вопросов, по которым необходимо произвести оценку.

Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (6.2)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Таблица 6.3 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1. Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2. Определены перспективные направления коммерциализации	4	3
3. Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	2	2
4. Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	1	2
5. Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	3
6. Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7. Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	3
8. Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9. Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10. Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	1	1
11. Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12. Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	2
13. Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	2
14. Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15. Проработан механизм реализации научного проекта	1	1
ИТОГО БАЛЛОВ	32	31

На основе данных, представленных в таблице 3, можно говорить о том, что проект пока не готов к коммерциализации, так как имеет ряд недоработок, устраняемых научной группой.

6.2 Инициация проекта

6.2.1 Цели и результаты проекта

В таблице 6.4 представлена информация о заинтересованных сторонах проекта.

Таблица 6.4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Руководитель проекта	Использование результатов проекта в дальнейших исследованиях
Исполнитель по проекту	Повышения уровня квалификации благодаря работе в научной сфере.
Организация заказчик	Использование результатов интеллектуальной деятельности для повышения конкурентоспособности организации, реализация нового технического продукта
Спонсор проекта	Развитие российских научных исследований и программ. Повышение уровня качества научных исследований в стране.

В таблице 6.5 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 6.5 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Разработка методики, алгоритмов и программного обеспечения для расчёта точных изделий в соответствии с требованиями к космической аппаратуре
Ожидаемые результаты проекта:	Получение готового ПО
Критерии приемки результата проекта:	Работоспособная программа расчета МИ, технические характеристики которой соответствуют разработанному алгоритму и математическим расчетам, проведенным по экспериментальным данным
Требования к результату проекта:	Расчет магнитопроводов из аморфных и нанокристаллических сплавов Учет влияния внешних факторов Входные и выходные параметры необходимые заказчику Возможность дополнения базы данных Соответствие расчетов выполненных с помощью алгоритма вручную и программно со значениями экспериментальных данных

6.2.2 Организационная структура проекта

В таблице 6.6 приведена информация о рабочей группе проекта, ролях, функциях и трудозатратах каждого.

Таблица 6.6 – Рабочая группа проекта

Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, день
1. Научный руководитель проекта	Постановка задачи и целей проекта, консультирование исполнителей проекта в области электроники, проведение экспериментов с макетом разработки, участие в обсуждениях по результатам работы, промежуточная проверка достигнутых результатов	26
2. Исполнитель по проекту	Обзор литературы об имеющихся алгоритмах, программах и решениях; оценка их недостатков и преимуществ; доработка и разработка алгоритма по расчету МИ; разработка ПО на основе разработанного алгоритма; тестирование; сравнение результатов с экспериментальными данными; участие в обсуждениях по результатам работы	130
ИТОГО:		156

6.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Планирование этапов работ по выполнению НИР включает в себя составление перечня этапов и работ, а также распределение исполнителей по всем видам работ (Таблица 6.7).

Таблица 6.7 – Календарный план проекта

Ко д раб от ы (из ИС Р)	Вид работы	Исполнит ели	Период работы научного руководителя		Период работы инженера	
			Начало, дата	Дли тель ност ь, дни	Начало, дата	Дли тель ност ь, дни
1	Постановка задачи	НР, И	09.01.2017	1	-	-
2	Анализ технического задания (ТЗ), сбор информации о предметной области	НР, И	09.01.2017	5	9.01.2017	3
3	Подбор и изучение литературы по теме исследования	И	-	-	9.01.2017	6
4	Анализ существующих методов расчета и ПО	И	-	-	15.01.2017	8
5	Разработка, дополнение, и корректировка алгоритмов расчета МИ	И	-	-	23.01.2017	15
6	Тестирование разработанного алгоритма	И	-	-	07.02.2017	5
7	Построение модифицируемой базы данных комплектующих изделий и материалов	НР, И	12.02.2017	1	12.02.2017	10
8	Проектирование программной архитектуры	И	-	-	22.02.2017	3
9	Техническое проектирование компонентов продукта	НР, И	25.02.2017	3	25.02.2017	7
10	Программирование модулей в выбранной среде программирования	И	-	-	04.03.2017	35
11	Тестирование и отладка программных модулей	И	-	-	8.04.2017	15
12	Анализ результатов. Оформление расчетно-пояснительной записки	НР, И	23.05.2017	5	23.05.2017	10
11	Сдача разработки и отчета о работе	НР, И	04.06.2017	11	04.06.2017	11

Целесообразно применять линейное планирование с построением диаграммы Ганта, представленной в таблице 6.8. График строится с разбивкой по месяцам (30 дней) за период времени выполнения научного проекта.

Таблица 6.8 – Длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе

Этап	НР	И	Январь			Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Постановка задачи	1	-	■																
Анализ технического задания (ТЗ), сбор информации о предметной области	5	1				■													
Подбор и изучение литературы по теме исследования	-	6				■													
Анализ существующих методов расчета и ПО	-	8				■	■												
Разработка, дополнение, и корректировка алгоритмов расчета МИ	-	15					■	■	■										
Тестирование разработанного алгоритма	-	5							■	■									
Построение модифицируемой базы данных комплектующих изделий и материалов	1	10								■	■								
Проектирование программной архитектуры	-	3									■								
Техническое проектирование компонентов продукта	3	7									■	■							
Программирование модулей в выбранной среде программирования	-	35										■	■	■	■				
Тестирование и отладка программных модулей	-	15													■	■			
Анализ результатов. Оформление расчетно-пояснительной записки	5	10														■	■		
Сдача разработки и отчета о работе	11	11																■	■

■ - НР (Научный руководитель); ■ - И (Инженер).

6.3.1 Бюджет научного исследования

Планирование бюджета научного исследования производится путем составления калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов

Сырье, материалы, специальное оборудование, покупные изделия

Стоимость всех видов материалов, необходимых для выполнения работ, формируется исходя из стоимости приобретения и платы за транспортировку (в данной работе 3%) (Таблица 6.9) .

Таблица 6.9 – Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование	Кол-во	Цена единицу, руб	Сумма, руб
Принтер	1	2000	2000
Расходные материалы	1	1000	1000
Печатная бумага	1	250	250
Канцелярские товары	1	100	100
USB-flash накопитель, 8 Гб	1	450	450
Тонер для лазерного принтера	1	500	500
Компьютер на базе процессора Intel Core i5 4200U	1	25000	25000
Всего за материалы			29300
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			879
Итого по статье С_м			30179

Основная заработная плата

В статью включается основная заработная плата работников, непосредственно участвующих в выполнении работ, включая премии, доплаты и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \cdot \quad (6.3)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} \cdot \quad (6.4)$$

где $T_{РАБ}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дней.

$Z_{ДН}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{ДН} = \frac{Z_{М} \cdot М}{F_{Д}} \quad (6.5)$$

где $Z_{М}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$М$ – количество месяцев работы без отпуска в течение года (примем $М = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя)

$F_{Д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней (примем для научного руководителя $F_{Д} = 87$, для инженера $F_{Д} = 75$)

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{М} = Z_{б} \cdot k_{р} \quad (6.6)$$

где $Z_{б}$ – базовый оклад, руб.;

$k_{р}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 6.10.

Таблица 6.10 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{б}$, руб.	$k_{р}$	$Z_{М}$, руб.	$Z_{ДН}$, руб.	$T_{р}$, раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	17240	1,3	22412	2679,1	26	69657,5
Инженер	8000	1,3	10400	1442,1	130	187477,3

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде. Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении проекта:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (6.7)$$

где $K_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты.

В таблице 6.11 приведен расчет основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 6.11 – Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Научный руководитель	Инженер
Основная зарплата	69657,5	187477,3
Дополнительная зарплата	6965,75	18747,73
Зарплата исполнителей	76623,25	206225,03
Итого по статье С _з	282848,28	

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}). \quad (6.8)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Итого 30% от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением НИР:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot 282848,28 = 84854,5 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

Коэффициент накладных расходов составляют 80-100% от суммы основной и дополнительной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении проекта.

Накладные расходы рассчитываются по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}). \quad (6.9)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,8 \cdot 282848,28 = 226275,6 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости научно-исследовательской работы (таблица 6.12).

Таблица 6.12 – Калькуляция плановой себестоимости НИР

Наименование статей затрат	Сумма, руб
Сырье, материалы, комплектующие изделия, специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	30179
Основная заработная плата	282848,28
Дополнительная заработная плата	28284,8
Отчисления на социальные нужды	84854,5
Накладные расходы	226275,6
Итого себестоимость НИР	652441,58

6.4 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}. \quad (6.10)$$

где I_{Φ}^p – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a; \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (6.11)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки,

устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проведен в форме таблицы 6.13

Таблица 6.13– Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2	I _{тп}	I _{ан1}	I _{ан2}
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	3	2	0,4	0,3	0,2
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	4	3	0,75	0,6	0,45
3. Помехоустойчивость	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
4. Энергосбережение	0,25	4	4	3	1	1	0,75
5. Надежность	0,3	5	4	3	1,5	1,2	0,9
6. Материалоемкость	0,1	2	4	4	0,2	0,4	0,4
ИТОГО	1	24	21	23	4,25	3,8	3

Из таблицы 6.13 видно, что интегральный показатель ресурсоэффективности текущего проекта больше, чем у предлагаемых аналогов. Таким образом, спроектированная, на основе разработанного алгоритма, ПО является более ресурсоэффективной разработкой, относительно имеющихся на рынке аналогов.

Список публикаций

Авторы: Осипенко А.И., Костарев И.С. Название доклада: «Особенности расчета дросселей и трансформаторов для электронной аппаратуры космических аппаратов». Представлен на III Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики: «Актуальные проблемы авиации и космонавтики» (10-14 апреля 2017 года, Красноярск). В печати.