

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

Институт ЭНИН

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра ЭЭС

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы	
Проектирование источника питания для каскадного генератора высокого напряжения постоянного тока.	

УДК 621.311.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A2B	Бойков Павел Владимирович		9.06.2016

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭЭС	Лавринович В.А.	профессор		9.06.2016

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Высоковольтные испытательные установки и измерения»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭЭС	Лавринович В.А.	профессор		9.06.2016

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель кафедры менеджмента	Потехина Н.В.	-		9.06.201

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Романцов И.И.	К.т.н.		9.06.2016

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭЭС	Сулайманов А.О.	К.т.н.		11.06.2016

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

Институт ЭНИН

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электроэнергетических систем (ЭЭС)

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ЭЭС

(Подпись) _____ (Дата) А.О. Сулайманов

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5А2В	Бойкову Павлу Владимировичу

Тема работы:

Проектирование источника питания для каскадного генератора высокого напряжения постоянного тока	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	2.02.2016, №653/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	9.06.2016
--	-----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Спроектировать и исследовать источник питания для каскадного генератора высокого напряжения постоянного тока для использования его в качестве лабораторного стенда и зарядного устройства высокого напряжения: • Выходное напряжение генератора 20 кВ; • Падение напряжения на внутреннем сопротивлении генератора ΔU не более 10%; • Климатические условия УХЛ4; • Характер нагрузки: активная, сопротивлением не менее 50 Мом; емкостная, емкостью не более 1 мкФ. Дополнительные требования: • Наглядность конечной установки в качестве лабораторного стенда.
---------------------------------	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке	Спроектировать источник питания для каскадного генератора высокого напряжения постоянного тока. Рассмотреть вопросы проектирования каскадного генератора, выбора режима его работы в зависимости от характеристик источника питания и генератора. К дополнительным вопросам относятся раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», в котором производится технико-экономическое обоснование исследовательской работы, а также раздел «Социальная ответственность», в котором рассматриваются проблемы обеспечения безопасности жизнедеятельности.
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Высоковольтные испытательные установки и измерения	Лавринович В.А.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Потехина Н.В.
Социальная ответственность	Романцов И.И.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	3.02.2016
--	-----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭЭС	Лавринович В.А.	профессор		3.02.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2В	Бойков П.В.		3.02.2016

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5A2B	Бойкову Павлу Владимировичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭЭС
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Высоковольтная электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Капитальные вложения в проект составили 318887 руб. Заработные платы рассчитывались на основе окладов ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	30 % премии 40 % надбавки 16% накладные расходы 30% районный коэффициент
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	27,1% отчисления на социальные нужды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентоспособности технического решения по технологии QuaD SWOT – анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: -определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; -заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	3.02.2016
--	-----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Потехина Н.В.	-		3.02.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A2B	Бойков Павел Владимирович		3.02.2016

Реферат

Выпускная квалификационная работа 87 с., 38 рисунков, 18 таблиц, 22 источника.

Ключевые слова: высокочастотный трансформатор, ферритовый сердечник, каскадный генератор, падение напряжения, программное моделирование.

Объектом исследования является каскадный генератор для получения высокого выпрямленного напряжения.

Цель работы – проектирование источника питания для каскадного генератора высокого напряжения постоянного тока для использования в качестве лабораторного стенда и зарядного устройства высокого напряжения.

В процессе работы проводились экспериментальные исследования высокочастотного трансформатора и его работы в составе каскадного генератора на разных частотах.

В результате исследования был разработан и сконструирован источник питания для каскадного генератора, а также определен режим их совместной работы на разных частотах.

Определена оптимальная частота работы генератора, при которой потери минимальны.

Установка может применяться как в качестве источника питания для работы технологических установок, так и в качестве зарядного устройства для импульсных установок.

В процессе работы использовались современные программные продукты Microsoft Word, Excel, MathCAD, MicroCap, Origin, аналитические и графоаналитические расчетные методы.

Оглавление

Введение.....	7
Обзор литературы.....	9
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	14
Оценка конкурентоспособности решений	14
Формирование плана и графика разработки	17
Формирование бюджета затрат на проектирование.....	23

Введение

В связи с все более широким промышленным применением электротехнологических установок, основанных на использовании сильных электрических полей $3 \dots 10$ кВ/см, становится актуальным вопрос о проектировании высоковольтного источника их питания. Работа с высоким напряжением (десятки киловольт) на неспециализированных предприятиях вызывает затруднения, в частности, по технике безопасности. Для нормальной работы оборудования требуется ток в десятки микроампер при напряжениях $10 \dots 20$ кВ, следовательно, требуется создание безопасных для обслуживающего персонала источников высокого напряжения.

Предварительный анализ данной темы показал, что промышленностью не выпускаются серийно такие установки, а если и выпускаются, то для ограниченных групп электрооборудования, таких как электропокраска. Это объясняется индивидуальностью требований объектов испытаний или электрооборудования, для которых проектируется высоковольтный источник питания. Поэтому актуальность данной работы заключается в необходимости отдельного проектирования источника высокого напряжения для питания конкретной электротехнологической установки или отдельной группы установок, одним из которых является каскадный генератор высокого напряжения постоянного тока (далее – каскадный генератор или КГ).

Каскадные генераторы для работы на промышленной или высокой частоте требуют специального источника питания. В связи с этим в данной работе преследуются следующие цели и задачи:

Цели работы:

Спроектировать источник питания для каскадного генератора высокого напряжения постоянного тока. Рассмотреть вопросы проектирования каскадного генератора, выбора режима его работы в зависимости от характеристик источника питания и генератора.

Задачи, выполненные в данной работе

- Анализ схем источников питания повышенного напряжения различной частоты и выбор оптимального варианта для проектирования и разработки.
- Расчет и конструирование источника питания.
- Испытания источника питания совместно с каскадным генератором и анализ полученных результатов.

Обзор литературы

При написании данной работы были использованы научная и учебно-методическая литература, статьи в периодических изданиях Российской Федерации, нормативно-законодательные акты Российской Федерации, справочная литература.

Основными источниками, раскрывающими теоретические и конструкционные основы каскадного генератора, явились работы Альбертинского В.И., Свиньина М.П. [1], Пашина М.М. [2]. За основу расчета блока умножения каскадного генератора была выбрана методика, предложенная в работе Веневцева И.Т., Скоромного Г.М., Ревуцкого Е.И. [3], в которой представлен анализ потерь и пульсаций напряжения на выходе каскадного генератора. В указанных выше работах подробно описаны принцип работы, основы расчета и конструирования каскадного генератора. Однако, данные работы были изданы еще до появления современных средств ЭВМ, как MicroCap, которые позволяют моделировать работу электрических схем. Отсюда формируется актуальность исследовательской части данной работы.

Актуальность исследовательской части работы состоит в необходимости анализа существующих уже методик расчета с помощью современных средств моделирования работы электрических схем.

Анализ схем источников питания проводился на основе работы [4], в которой описаны схемы преобразования частоты и принципы их работы. Основой для расчета трансформатора послужили работы Русина Ю.С. [5] и Черкашина Ю.Н. [6], для выбора трансформатора использовался телевизионный справочник Кузнецова Л.М. и Соколова В.С. [7]. Теоретические основы о работе ферромагнитных сердечников на высокой частоте представлены в работе Русина [8], а их марки и технические характеристики в электронном справочнике магазина радиотехники «ЧипДип» [9]. Однако, недостаточное количество более подробного материала об особенностях работы высокочастотных трансформаторов на широкой полосе частот привело к необходимости исследования и объяснения амплитудно-частотных характеристик

трансформатора, опираясь на учебники по теоретическим основам электротехники [10], [11], в которых подробно описаны резонансные явления и частотные зависимости элементов схем замещения трансформатора.

Выбор оборудования для каскадного генератора и делителя напряжения производился на основе справочников [12], [13].

Общие сведения о каскадном генераторе

Каскадный генератор состоит из четырех основных частей (рисунок 1): блока питания (БП), задающего генератора (ЗГ), высоковольтного трансформатора (ВВТ) и блока умножения (БУ).



Рисунок 1 – Блок-схема каскадного генератора.

На рисунке 1 БП – блок питания; ЗГ – задающий генератор; ВВТ – высоковольтный трансформатор; БУ – блок умножения; Н – нагрузка.

Рассмотрим подробно основную его часть – блок умножения. Принцип его действия представим на примере одной ступени – схемы выпрямления с умножением напряжения, показанной на рисунке 2.

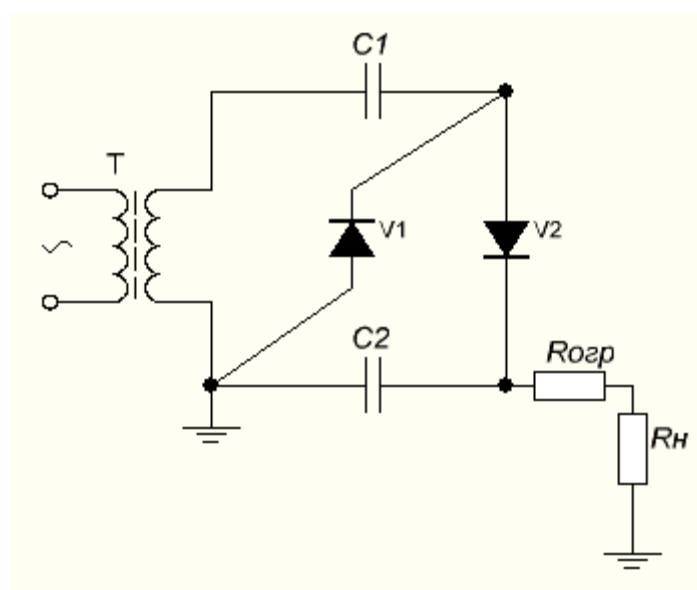


Рисунок 2 – Схема выпрямления с удвоением напряжения (ступень каскада)

Предположим, что схема работает на холостом ходу ($R_H = \infty$), вентили V_1 и V_2 идеальны. В каскадном генераторе первичная обмотка трансформатора схемы удвоения напряжения включается на переменное напряжение.

В момент начала отрицательного полупериода (отрицательный потенциал точки 1) клапан V_1 открывается и проводит ток до того момента времени, когда потенциал точки 1 не станет положительным. В течение этого промежутка времени в контуре 0-3-1 под действием ЭДС трансформатора протекает ток, заряжающий емкость C_1 до амплитудного значения ЭДС трансформатора U_m . Потенциал точки 3 в течение этого промежутка времени остается равным нулю. В тот момент, когда потенциал точки 1 станет положительным, клапан V_2 начинает проводить ток до тех пор, пока потенциал точки 1 снова не станет отрицательным. В контуре 0-1-3-2 под действием ЭДС трансформатора и напряжения на емкости C_1 протекает ток, заряжающий емкость C_2 и разряжающий емкость C_1 . Напряжение на емкости C_2 равно $2U_m C_1 / (C_1 + C_2)$. При $C_1 = C_2$ $U_{C2} = U_m$; $U_{C1} = 0$. Затем цикл повторяется. Принцип действия схемы заключается в том, что конденсатор C_1 периодически заряжается от трансформатора до напряжения U_m через клапан V_2 на конденсатор C_2 . Каждый такой цикл приводит к увеличению напряжения на конденсаторе C_2 и в пределе (на холостом ходу) это напряжение достигает величины $2U_m$. Если параллельно емкости C_2 включено сопротивление нагрузки R_H , емкость C_2 частично разряжается на сопротивление R_H и напряжение на ней уменьшается на некоторую величину, зависящую от величины емкости C_2 , тока нагрузки I_{cp} и частоты f . [2]

Если соединить последовательно несколько схем удвоения напряжения, то получится простейшая схема каскадного генератора. На рисунке 4 приведена схема каскадного генератора Кокрофта-Уолтона, которую будем исследовать в данной работе.

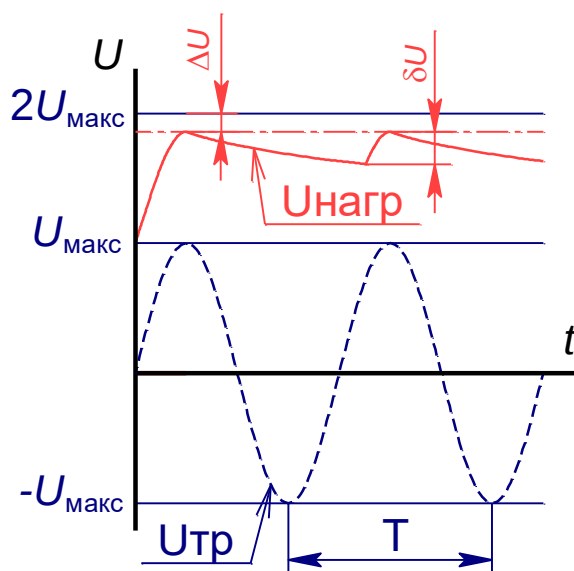


Рисунок 3 – Диаграмма напряжения в нагрузке схемы удвоения напряжения.

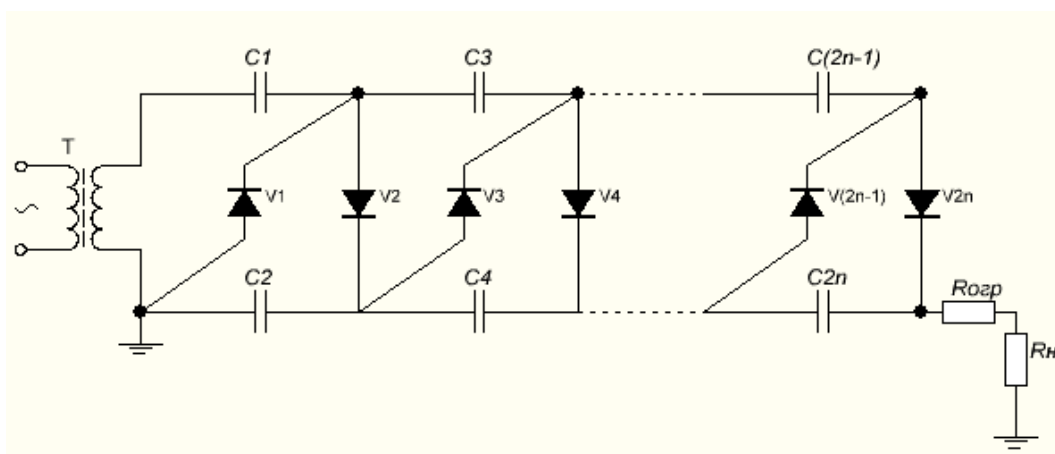


Рисунок 4 – Схема каскадного генератора Кокрофта-Уолтона

В таблице 1 приведены основные расчетные формулы, определяющие принципиальные зависимости в работе каскадного генератора. Обозначения в таблице следующие: I_{cp} - средний ток нагрузки; f - частота напряжения источника; n - число каскадов в схеме; C - емкость одного конденсатора; U_m - напряжение вторичной обмотки трансформатора.[1]

Достоинством схемы каскадных генераторов является то обстоятельство, что изоляция обмотки высокого напряжения трансформатора рассчитывается на половину напряжения одной ступени, а емкость и диоды – на напряжение ступени.

Таблица 1 – Основные расчетные формулы генератора Кокрофта- Уолтона

Название характеристик	Расчетная формула
Пульсация напряжения ∂U	$\frac{n(n+1)}{4} \cdot \frac{I_{cp}}{fC}$
Падение напряжения ΔU	$\frac{I_{cp}}{6fC} (4n^3 + 3n^2 + 2n)$
Оптимальное число каскадов n_{opt}	$\sqrt{\frac{fC}{I_{cp}}} U_m$

Основными недостаткам являются:

- невозможность получения сверхвысоких напряжений путем увеличения числа каскадов (свыше n_{opt}), так как падение напряжения ΔU при малых n возрастает почти пропорционально n , а затем непропорционально увеличивается при больших n ;
- большая чувствительность к сопротивлению нагрузки, которая вызывает заметные пульсации напряжения.

Из предварительного анализа расчетных формул для величины пульсаций и падения напряжения видно, что увеличением частоты питающего напряжения можно уменьшить габариты и вес каскадного генератора, так как величина входящих в него емкостей обратно пропорциональна величине частоты питающего напряжения. Снижение емкости ведет соответственно к снижению габаритов и веса конденсаторов, которые в основном и определяют габариты и вес всего генератора. Кроме того, пульсация и падение напряжения весьма быстро растут с увеличением числа каскадов n , а так как для получения высоких напряжений число каскадов приходится брать большим. то становится важным получить наименьшие значения ∂U и ΔU .

Из вышесказанного следует, что каскадный генератор вполне может работать на частоте 50 Гц, но для уменьшения его габаритов целесообразно использовать задающий генератор (преобразователь частоты), преобразующий напряжение сети частотой 50 Гц в напряжение более высокой частоты. Выбор такого преобразователя рассмотрим далее.

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Данный раздел ВКР посвящен выполнению анализа и планированию комплекса работ в рамках научного исследования. Произведено структурирование произведенных работ, определение трудоемкости выполненных работ, разработан график и бюджет проведения научного исследования.

Оценка конкурентоспособности решений

Потенциальные потребители результатов исследования

Исследовали методику расчета каскадного генератора высокого напряжения постоянного тока, построили рабочую модель по рассчитанным данным. Следовательно, потенциальными потребителями будут являться научно-исследовательские институты, занимающиеся исследованием процессов, получение которых невозможно без установок получения высокого напряжения, например, Институт Сильноточной Электроники СО РАН в Томске.

Технология QuaD

Технология QuaD (Quality Advisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по сто балльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 1 - Оценка технического уровня новшества

Критерий оценки	Вес показате лей	Балл ы	Максимальн ый балл	Относитель ное значение	Средневзвешен ное значение
	$d_i, \%$	P_i	P_{100}	q_i	P_{cp}
1. Надежность	20	100	100	1	20
2. Унифицированность	5	40	100	0.4	2
3. Уровень материалоемкости разработки	10	10	100	0.1	1
4. Функциональная мощность	10	20	100	0.2	2
5. Ремонтопригодность	10	90	100	0.9	9
6. Конкурентоспособность продукта	10	90	100	0.9	9
7. Уровень проникновения на рынок	10	50	100	0.5	5
8. Перспективность рынка	10	50	100	0.5	5
9. Цена	10	80	100	0.8	8
10. Финансовая эффективность научной разработки	5	60	100	0.6	3
Итого	100%	590	1000	5,9	64

SWOT-анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT- анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Для того что бы найти сильные и слабые стороны, плазменного метода переработки и методов-конкурентов проведем SWOT–анализ.

Таблица 2 - Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	• Наличие бюджетного финансирования. • Наличие опытного руководителя • Использование современного оборудования • Наличие современного программного продукта	• Развитие новых технологий • Высокая стоимость лазерного оборудования • Отсутствие квалифицированного персонала.
Возможности: • Сотрудничество с зарубежными профессорами в этой области • Использование инновационной инфраструктуры ТПУ • Появление дополнительного спроса на новый продукт • Повышение стоимости конкурентных разработок.	– Возможно, создать партнерские отношения с рядом ведущих вузов для совместных исследования в области лазерной обработки деталей; – При наличии вышеперечисленных достоинств мы имеем большой потенциал для получения деталей с высокими эксплуатационными свойствами.	– Снижение цен на лазерные технологии; – Сотрудничество с зарубежными профессорами и повышение квалификации персонала.

Продолжение таблицы 2

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
Угрозы: – Появление новых технологий – Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства. – Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы.	– Повышение квалификации персонала.	– Расширение области применения за счет развития новых технологий.

Формирование плана и графика разработки

Определение структуры работ

Для выполнения научных исследований сформирована рабочая группа, в состав которой входят руководитель и инженер. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе был составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, а также проведено распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 10.

Таблица 3 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
	6	Расчет источника питания	Инженер
	7	Расчет каскадного генератора	Инженер
	8	Конструирование и монтаж генератора	Инженер
			Инженер
Экспериментальные исследования	9	Экспериментальное исследование характеристик источника питания	Инженер
	10	Экспериментальное исследование каскадного генератора	Инженер
Обобщение и оценка результатов	11	Сравнение теоретических и экспериментальных данных и анализ погрешностей	Инженер
Разработка технической документации и проектирование	12	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

Определение трудоемкости работ

Трудовые затраты образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож}$ используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (1)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p . Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным представлением графиком проведения работ является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} округляем до целого числа.

Пример расчета (составление и утверждение технического задания):

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}} + 2 \cdot t_{\text{max}}}{5} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 10}{5} = 7 \text{ чел} - \text{дней};$$

$$T_p = \frac{t_{\text{ож}}}{\text{ч}} = \frac{7}{2} = 3,5 \approx 4 \text{ дня};$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 119} = 1,553;$$

$$T_k = T_p \cdot k_{\text{кал}} = 4 \cdot 1,553 = 6,212 \approx 6 \text{ дней}.$$

Все рассчитанные значения сводим в таблицу 4.

Таблица 4 - Временные показатели проведения научного исследования

Название Работы	Трудоёмкость работ						Длительность		Длительность	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожсi}$, чел-дни		работ в рабочих днях T_{pi}		работ в календарных днях T_{ki}	
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	2		4		3		3		4	
Подбор и изучение материалов по теме		5		8		6		6		9
Выбор направления исследований		3		4		3		3		5
Календарное планирование работ по теме	10		15		12		6		9	
Проведение теоретических расчетов и обоснований		8		14		10		5		8
Расчет источника питания		10		15		12		6		9
Расчет каскадного генератора		7		10		8		8		12
Конструирование и монтаж генератора		15		20		17		9		13
Экспериментальное исследование каскадного генератора	6		13		9		4,4			7
Сравнение теоретических и экспериментальных данных и анализ погрешностей		17		20		18		9		14
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)		5		8		6		3		5

На основе таблицы 4 построим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках

научно-исследовательского проекта на основе таблицы 4 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования.

Таблица 5 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнитель и	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4														
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	9														
3	Выбор направления исследований	Инженер	5														
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	9														
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	8														
6	Расчет источника питания	Инженер	9														
7	Расчет каскадного генератора	Инженер	12														
8	Конструирование и монтаж генератора	Инженер	13														
9	Экспериментальное исследование каскадного генератора	Инженер	7														
10	Сравнение теоретических и экспериментальных данных и анализ погрешностей	Руководитель	14														
11	Составление пояснительной записки	Инженер	5														

– руководитель, – инженер.

Итого длительность работ в календарных днях руководителя составляет 27 дней, а инженера 75 дней.

Формирование бюджета затрат на проектирование

Расчет материалов

Таблица 6 - Расчет материалов

Наименование	Ед. изм.	Кол-во.	Цена, руб.	Всего, руб.
Генератор низкочастотных сигналов Г-109	шт	1	35000	35000
Конденсаторы К15-4	шт	10	100	1000
Диоды Д223Б	шт.	400	2	800
Высокочастотный трансформатор	шт.	1	1500	1500
Делитель напряжения	шт.	1	1500	1500
Корпус	шт.	1	500	500
Итого				40300

Расчёт затрат на специальное оборудование

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по конкретной теме.

Таблица 7 – Затраты на специальное оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Компьютер	2	22	42
2	Осциллограф	1	125	125
3	Киловольтметр	1	30	30
Итого:				197 тыс. руб.
Амортизация:				8,2 тыс. руб.

Поскольку данное оборудование используется в течение длительного периода времени, в затраты включаются амортизационные отчисления.

Расчет амортизации проводился следующим образом:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{2} = 0,5, \quad (5)$$

где H_A – норма амортизации;

n – срок полезного использования в количествах лет;

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,5 \cdot 197}{12} \cdot 2 = 8,2 \text{ тыс.руб}, \quad (6)$$

где I – итоговая сумма в тыс. руб.;

m – время использования в месяцах;

Основная заработная плата исполнителей темы

В данную статью входит основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме проектирования. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 8.

Таблица 8 - Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо- емкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4	1617	6468
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	9	520	4680
3	Выбор направления исследований	Инженер	5	520	2600
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	9	1617	14553
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	8	520	4160
6	Расчет источника питания	Инженер	9	520	4680
7	Расчет каскадного генератора	Инженер	12	520	6240
8	Конструирование и монтаж генератора	Инженер	13	520	6760
9	Экспериментальное исследование каскадного генератора	Инженер	7	520	3640
10	Сравнение теоретических и экспериментальных данных и анализ погрешностей	Руководитель	14	1617	22638
11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно- технической документации)	Инженер	5	520	2600
Итого:					79019

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}, \quad (7)$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($З_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (8)$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 8);

$З_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (9)$$

где $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (10)$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $З_{тс}$);

$k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $З_{тс}$);

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

Пример расчета заработной платы для руководителя:

$$З_{м} = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_{д}) \cdot k_{р} = \\ = 33162 \cdot (1 + 0,3 + 0,4) \cdot 1,3 = 73288 \text{ руб.},$$

$$З_{дн} = \frac{З_{м} \cdot М}{F_{д}} = \frac{73288 \cdot 3,16}{95} = 2437 \text{ руб.},$$

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_{р} = 2437 \cdot 27 = 65799 \text{ руб.}$$

Таблица 9 - Расчёт заработной платы

Исполнители	$З_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$З_{м}$, руб.	$З_{дн}$, руб.	$T_{р}$, раб. дн.	$З_{доп}$, руб.	$З_{осн}$, руб.
Руководитель	33162	0,3	0,4	1,3	73288	2437	27	7895	65799
Инженер	14874	0,3	0,2	1,3	32871	1093	68	12460	103835
Итого									189989

Дополнительная заработная плата

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн}, \quad (11)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Дополнительная заработная плата для руководителя:

$$З_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 65799 = 7895 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата для инженера:

$$З_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 103835 = 12460 \text{ руб}$$

Отчисления в социальные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (12)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2016 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 27,1%¹.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (таблица 10).

¹ Федеральный закон от 24.07.2009 №212-ФЗ «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования»

Таблица 10 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	65799	7895
Инженер	103835	12460
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого		
Руководитель	17831	
Инженер	28139	

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (13)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$З_{\text{накл}} = 189989 \cdot 0,16 = 30398 \text{ руб.}$$

Формирование бюджета затрат проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 11.

Таблица 11 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1. Затраты на материалы	40300	12,8
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	169634	53,8
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	20355	6,4
4. Отчисления во внебюджетные фонды	45970	14,7
5. Амортизация оборудования	8200	2,6
6. Накладные расходы	30398	9,7
7. Бюджет затрат НТИ	314857	100

В результате выполнения задания данного раздела была произведена оценка конкурентоспособности технического решения. Значения показателя перспективности составляет 64% – это говорит о том, что перспективность НТИ выше среднего. Также было осуществлено планирование работ, по результатам расчетов было установлено, что длительность работ в календарных днях для руководителя составляет 27 дней, а для инженера 68 дней. Бюджет проекта НТИ составил 314857 рублей.