

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 генератора Маркса

УДК 621.373.1.001.63

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А3В	Зольников Сергей Петрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭЭС	Тихонов Д.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ	Бородин Ю.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭЭС	Сулайманов А.О.	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
ПК1	Использовать информационные технологии, в том числе современные средства компьютерной графики, в своей предметной области
ПК2	Демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и быть готовым использовать основные законы в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ПК4	Использовать нормативные правовые документы в своей профессиональной деятельности
ПК7	Формировать законченное представление о принятых решениях и полученных результатах в виде отчета с его публикацией (публичной защитой)
ПК8	Работать над проектами электроэнергетических и электротехнических систем и их компонентов
ПК9	Разрабатывать простые конструкции электроэнергетических и электротехнических объектов
<i>Универсальные компетенции</i>	
ОК1	Обобщать, анализировать, воспринимать информацию, ставить цели и выбирать пути к их достижению
ОК2	К письменной и устной коммуникации на государственном языке: логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; использовать один из иностранных языков
ОК3	К кооперации с коллегами и работе в коллективе
ОК7	К самостоятельной, индивидуальной работе, принятию решений в рамках своей профессиональной компетенции
ОК11	Овладевать основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, использовать компьютер как средство работы с информацией
ОК12	К практическому анализу логики различного рода рассуждений, к публичным выступлениям, аргументации, ведению дискуссии и полемики
ОК16	Самостоятельно, методически правильно использовать методы физического воспитания и укрепления здоровья, быть готовым к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности

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

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5А3В	Зольникову Сергею Петровичу

Тема работы:

Проектирование генератора Маркса

Утверждена приказом директора (дата, номер)

01.02.2017, № 497/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.17

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

длительность фронта импульса — $\tau_f = 1,2$ мкс;
длительность импульса — $\tau_n = 50$ мкс;
время зарядки генератора — 90 с;
режим испытания – полный и срезанный импульс;
характеристики испытываемой изоляции:
изоляции силовых трансформаторов 110 кВ и ввода наружного исполнения на класс напряжения 220 кВ и током до 2 кА, включительно;
зарядное напряжение генератора не более 60 кВ.

<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, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Произвести расчет разрядной и зарядной схемы генератора Маркса, выбрать регулятор напряжения, высоковольтный трансформатор, выпрямительное устройство.</p> <p>Произвести расчет активного делителя напряжения для измерения импульсного напряжения на испытуемом объекте. Оценить его индуктивность, емкость на землю и погрешность измерения амплитуды напряжения.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Чертеж общего вида генератора, сборочный чертеж высоковольтного делителя напряжения, планировка расположения элементов всей установки: генератор Маркса, зарядное устройство, объект испытания, высоковольтный делитель напряжения, пульт управления.</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Потехина Н.В., ст. преподаватель кафедры менеджмента</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Бородин Ю.В., к.т.н., доцент каф. ЭБЖ</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>01.02.17</p>
--	-----------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭЭС	Тихонов Д.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А3В	Зольников С.П.		

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

Институт ЭНИН

Направление подготовки (специальность) 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования Бакалавр

Кафедра ЭЭС

Период выполнения весенний семестр 2016/2017 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.17
--	----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.03.17	Литературный обзор	3
01.04.17	Объект и методы исследования	3
13.04.17	Исследование зарядной схемы	4
22.04.17	Исследование разрядной схемы	4
01.05.17	Проверка контура на апериодичность	4
11.05.17	Расчет технико-экономических параметров и составление схемы управления	10
15.05.17	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	5
26.05.17	Социальная ответственность	5
29.05.17	Оформление работы	2
Итого		40

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭЭС	Тихонов Д.В.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭЭС	Сулайманов А.О.	к.т.н.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5А3В	Зольникову Сергею Петровичу

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

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оклад руководителя - 26300 руб. Оклад инженера - 17000 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Премияльный коэффициент 30%; Доплаты и надбавки 20%; Дополнительной заработной платы 15%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 30%.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 27,1 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	-Анализ конкурентных технических решений;
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка диаграммы Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - затраты на оборудование; - заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы; - амортизационные отчисления.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- Определение ресурсоэффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Оценочная карта конкурентных технических решений
Диаграмма Ганта
Бюджет затрат на проектирование

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.17
---	----------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А3В	Зольников С.П.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А3В	Зольникову Сергею Петровичу

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является генератор Маркса, находящийся в помещении закрытого типа с естественной вентиляцией воздуха. Помещение имеет искусственный и естественный источник освещения. Генератор применяется для получения высокого напряжения и испытания изоляции высоковольтных установок.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; - действие фактора на организм человека; - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); - предлагаемые средства защиты, сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства. <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - механические опасности (источники, средства защиты); - термические опасности (источники, средства защиты); - электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); - пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p>В данном разделе необходимо оценить вредные факторы, воздействующие на обслуживающий персонал, возникающие при работе генератора Маркса, к таковым относятся электромагнитное излучение, воздействие шума, ультрафиолетовых излучений, опасность поражения электрическим током высокого напряжения.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Механические опасности: Вероятность разрушения конструкции; - Электробезопасность: Вероятность поражения электрическим током; - Возможные причины пожара: неправильное распространение искрового разряда. Взрыв конденсатора. - Повышенный уровень электрического и магнитного поля на рабочем месте, действие на организм человека; - Приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативный документ); - Отклонение показателей микроклимата в помещении; Приведение допустимых норм; Повышенная задымленность воздуха рабочей зоны; Используемые средства защиты. - Воздействие факторов, возникающих при работе с ПК.
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> - защита селитебной зоны - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); 	<p>Меры, которые необходимо принять для защиты окружающей среды от воздействующих факторов при</p>

<ul style="list-style-type: none"> - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); - разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>строительстве и эксплуатации генератора Маркса.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - Анализ воздействия объекта на литосферу (отходы).
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<ul style="list-style-type: none"> - Физические вредные факторы: отклонение показателей микроклимата в помещении, освещения, повышения уровня шума, повышение электромагнитных излучений; - Физические опасные факторы: электрический ток, электрическое поле; - Негативное влияние на окружающую среду: бытовые отходы, испарение трансформаторного масла; - Чрезвычайные ситуации: взрыв, пожар.
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> - ГОСТ 12.1.038-82ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжения и токов. - СНиП 3.05.06-85. ПУЭ. - Установка устройств оповещения при пожаре, датчики дыма; - Составление плана эвакуации, типовой инструкции по охране труда для электромонтера; - Вывешивание предупредительных плакатов, табличек.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.17
--	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ	Бородин Ю.В.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А3В	Зольников С.П.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 77 с., 17 рис., 14 табл., 20 источников, 3 прил.

Ключевые слова: генератор Аркадьева-Маркса, высоковольтная изоляция, генератор грозовых импульсов, генератор импульсных напряжений

Объектом исследования является генератор высоковольтных импульсных напряжений по схеме Аркадьева-Маркса, позволяющий испытывать высоковольтное оборудование.

Цель выпускной работы заключается в расчете и выборе конструкции генератора высокого напряжения по схеме Аркадьева-Маркса.

В процессе исследования проводились расчеты составных частей генератора и общих характеристик в целом, а также сравнение с реально существующими установками.

В результате выполнения бакалаврской работы будет спроектирован генератор Маркса, представленный в виде чертежа общего вида, выбрана конструкция, рассчитаны составные компоненты, составлена схема управления.

Область применения: генераторы Маркса применяются для получения высокого напряжения, необходимого для испытания различного вида высоковольтного оборудования

Экономическая эффективность работы заключается в проведенном расчете стоимости всего проектирования, из которого следует, что проект является достаточно ресурсоэффективным, что позволяет использовать его, как бизнес проект.

Выпускная квалификационная работа выполнена с помощью офисного приложения Microsoft Word 2013, помимо этого использовались такие программы как MathCAD 15 и Компас 3D.

Работа представлена на компакт диске (в конверте на обороте обложки).

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

Высоковольтный ввод – проходной изолятор, выполненный на напряжение 35 кВ и выше, и применяемый для ввода напряжения внутрь металлических баков трансформаторов, конденсаторов, выключателей и других аппаратов или в качестве изоляции токопровода при проходе через стены.

Генератор импульсных напряжений (ГИН) – генератор импульсного высокого напряжения, работа которого основана на параллельной зарядке конденсатор с последующим их последовательным включением посредством коммутирующих устройств.

Делитель напряжения – устройство, преобразующее высокое напряжение в напряжение удобное для его регистрации.

ЧС – чрезвычайная ситуация;

ВАХ – вольт-амперная характеристика;

КЗ – короткое замыкание;

ЭБ – электробезопасность;

ПК – персональный компьютер;

ПДК – предельно допустимые концентрации;

ПТЭ – правила технической эксплуатации;

ПТБ – правила технической безопасности;

НТД – нормативно-техническая документация;

ПУЭ – правила устройства электроустановок.

ОГЛАВЛЕНИЕ

<u>ВВЕДЕНИЕ</u>	13
<u>ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ</u>	14
<u>1. ОБЗОР КОНСТРУКТИВНЫХ ИСПОЛНЕНИЙ ГЕНЕРАТОРА МАРКСА</u>	15
<u>1.1. Лестничная конструкция</u>	15
<u>1.2. Этажерочная конструкция</u>	16
<u>1.3. Башенная конструкция</u>	16
<u>1.4. Колонковая конструкция</u>	18
<u>2. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ</u>	20
<u>2.1. Принцип работы генератора Маркса</u>	20
<u>2.2. Схема замещения зарядного контура</u>	21
<u>2.3. Схема замещения разрядного контура</u>	21
<u>2.4. Определение параметров объектов испытания</u>	22
<u>2.5. Расчет основных элементов схемы генератора</u>	22
<u>2.6. Проверка разрядного контура на апериодичность</u>	28
<u>2.7. Расчет шаровых разрядников</u>	30
<u>2.8. Анализ зарядной схемы</u>	31
<u>2.9. Расчет делителя напряжения</u>	33
<u>2.10. Расчет емкости делителя на землю</u>	37
<u>2.11. Испытание объектов</u>	38
<u>2.12. Описание схемы управления генератором</u>	40
<u>2.13. Численная оценка удельных характеристик генератора</u>	41
<u>3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ</u>	43
<u>4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ</u>	44
<u>4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</u>	44
<u>4.1.1. Анализ конкурентных технических решений</u>	44
<u>4.2. Планирование проектных работ</u>	46

<u>4.2.1. Анализ конкурентных технических решений</u>	46
<u>4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ</u>	47
<u>4.2.3. Разработка графика проведения проектирования</u>	48
<u>4.2.4. Общий бюджет проектирования</u>	51
<u>4.2.5. Расчет амортизации</u>	51
<u>4.2.7. Дополнительная заработная плата</u>	54
<u>4.2.8. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).</u>	54
<u>4.2.9. Накладные расходы</u>	54
<u>4.2.10. Формирование бюджета затрат на проектирование</u>	55
<u>4.3. Ресурсоэффективность</u>	56
<u>5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ</u>	58
<u>5.1. Производственная безопасность</u>	59
<u>5.1.1. Анализ вредных и опасных производственных факторов</u>	59
<u>5.1.2. Анализ выявленных вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований на рабочем месте</u> ...	62
<u>5.1.3. Мероприятия по защите персонала от действия опасных и вредных факторов</u>	63
<u>5.2. Производственная безопасность</u>	66
<u>5.2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду</u> .	66
<u>5.2.2. Анализ «жизненного цикла» объекта исследования</u>	66
<u>5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</u>	67
<u>5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</u>	69
<u>5.4.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства</u>	69
<u>5.4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</u>	71
<u>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</u>	75
<u>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</u>	76
CD-R диск в конверте на обратной стороне обложки	

ВВЕДЕНИЕ

При попадании молнии в оборудование подстанций или в линии электропередачи возникают грозовые перенапряжения. Ввиду этого по проводам линий протекает ток молнии, представляющий из себя апериодический импульс напряжения, воздействующий на изоляцию электрооборудования. Для имитации грозовых перенапряжений применяют генераторы импульсных напряжений, чаще всего представляющего из себя генератор, собранный по схеме Маркса, где происходит параллельная зарядка батареи конденсаторов с их последующим разрядом последовательно на емкостную нагрузку, а именно, изоляцию испытываемого оборудования.

Генераторы Маркса позволяют получать импульсные напряжения от десятков киловольт до нескольких миллионов вольт. Частота импульсов, вырабатываемых генератором Маркса, зависит от мощности генератора в импульсе - от единиц импульсов в час, до нескольких десятков герц.

Энергия в импульсе генераторов импульсного напряжения широко варьируется и может составлять величины от десятых джоуля и достигать десятки мегаджоулей. Максимальное значение напряжения и форма испытательного импульса непосредственно влияют на габариты и стоимость импульсного оборудования высоковольтных лабораторий. Точное воспроизведение испытательными установками возможных атмосферных перенапряжений позволяет более рационально подойти к конструированию изоляции, способствует снижению ее стоимости и позволяет производить профилактические испытания изоляции, необходимые для своевременного выявления и ликвидации дефектов, также, одной из задач курсового проекта является обеспечение удобного и безопасного обслуживания установки.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

На начальной стадии своего развития ГИН применялись только как имитаторы разряда атмосферного электричества для импульсных испытаний и исследований изоляции электрооборудования высокого напряжения: трансформаторов, выключателей, разрядников, изоляторов и т.п. В дальнейшем область применения ГИН непрерывно расширялась. Сейчас они применяются в физических лабораториях при изучении строения ядра, в промышленных установках для ускорения технологических процессов, в горной промышленности при бурении и дроблении каменных пород, в медицинских установках для терапевтических целей [1].

Ввиду сложности явлений, происходящих в электрических системах при коммутационных процессах и атмосферных перенапряжениях, надежная оценка качества изоляции может быть дана только после специальных испытаний и исследований. Согласно стандарту, ГОСТ 1516.1-76 [2], импульсные испытания электрооборудования являются обязательными типовыми испытаниями. Полезность импульсных испытаний электрооборудования доказана практически. Так, введение в США импульсных испытаний привело к снижению аварийности трансформаторов с 15 % в 1931 г. до 3 % в 1949 г. [3].

В последние годы в связи с ростом энергосистем, повышением номинальных напряжений сетей, проектированием и сооружением сверхдальних линий электропередачи, расширились применения ГИН в процессе проектирования, производстве и эксплуатации электрооборудования. В настоящее время, ГИН является важнейшей частью оборудования каждой лаборатории высокого напряжения.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности

проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Целью данного раздела является оценка перспективности разработки и планирование коммерческой ценности конечного продукта, производимых в рамках ВКР. Коммерческая ценность проекта определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными проектами, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на такие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, какой бюджет научного проекта, какое время будет необходимо для продвижения проекта на рынок и т.д.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала внедрения данной методики;
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной эффективности исследования.

4.1.1. Анализ конкурентных технических решений

Учитывая, что генератор Маркса имеет несколько конструктивных исполнений, необходимо проанализировать наиболее подходящие конструкции, произвести необходимые расчеты и сделать соответствующие выводы о принятии конструктивного решения.

В данной работе будут рассмотрены три типа конструктивного исполнения генератора Маркса: этажерочный, лестничный и башенный.

Детальный анализ конструктивного исполнения необходим, т.к. каждый тип конструктивного исполнения имеет свои достоинства и недостатки. Данный анализ производится с применением оценочной карты, приведенной в таблице 4. Экспертная оценка производится по техническим характеристикам и экономическим показателям по 5 бальной шкале, где 1 –

наиболее низкая оценка, а 5 – наиболее сильная. Общий вес всех показателей в сумме должен составлять 1.

Таблица 4 – Оценочная карта конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Этажерочная	Лестничная	Башенная	Этажерочная	Лестничная	Башенная
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Надежность	0,12	5	5	5	0,6	0,6	0,6
2. Уровень шума	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
3. Удобство в эксплуатации	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
4. Безопасность	0,14	5	4	5	0,7	0,56	0,7
5. Удельная энергия генератора в единице строительного объема	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
6. Компактность	0,14	5	4	5	0,7	0,56	0,7
7. Механическая прочность	0,09	4	5	5	0,36	0,45	0,45
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена	0,13	5	4	5	0,65	0,52	0,65
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	5	5	5	0,35	0,35	0,35
3. Затраты на ремонт	0,06	4	4	4	0,24	0,24	0,24
Итого	1	46	44	48	4,7	4,38	4,84

Расчет конкурентоспособности, на примере надежности, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 0,12 \cdot 5 = 0,6,$$

где K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что башенная конструкция является наиболее предпочтительной и является

наиболее выгодным и эффективным вариантом выбора конструкции генератора.

4.2. Планирование проектных работ

4.2.1. Анализ конкурентных технических решений

Комплекс предполагаемых работ включает в себя следующие задачи:

- определить структуру работ в рамках проектирования;
- определить участников каждой работы;
- установить продолжительность работ;
- построить график проведения отдельных этапов проектирования.

Для выполнения данного проекта необходимо сформировать рабочую группу, в состав которой входят руководитель и инженер. Для каждой из запланированных работ, необходимо выбрать исполнителя этой работы.

Разработанный список задач и производимых работ, в рамках проектирования, а также распределение исполнителей по этим работам, представлен в виде таблицы 5.

Таблица 5 – Список производимых задач и работ и их исполнители

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель
			Инженер
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	4	Календарное планирование работ по проекту	Руководитель
Теоретические исследования	5	Проведение теоретических расчетов	Инженер
	6	Электрический расчет генератора и подбор конденсаторов	
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
			Инженер
Контроль и координирование проекта	8	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель

Продолжение таблицы 5

Разработка технической документации и проектирование	9	Построение сборочного чертежа	Инженер
	10	Технико-экономические расчеты	Инженер
	11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Основная часть стоимости разработки проекта составляется из трудовых затрат, поэтому важно определить трудоемкость работ всех участников разработки проекта.

Несмотря на то, что трудоемкость зависит от трудно учитываемых параметров, т.е. носит вероятностный характер, ее можно определить экспертным путем, в «человеко-днях». Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ожи}$ определяется по формуле:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где $t_{\min i}$ – минимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является оптимистичной оценкой: при удачном стечении обстоятельств), чел.-дн.; $t_{\max i}$ – максимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является пессимистичной оценкой: при неудачном стечении обстоятельств, чел.-дн.

На основании расчетов ожидаемой трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{q_i},$$

Где q_i – количество исполнителей, одновременно выполняющих поставленную задачу, чел.

По всем работам результаты расчета продолжительности в рабочих днях представлены в таблице 6.

4.2.3. Разработка графика проведения проектирования

Диаграмма Ганта является наиболее удобным и наглядным способом представления графика проведения работ.

Диаграмма Ганта представляет собой отрезки, размещенные на горизонтальной шкале времени. Каждый отрезок соответствует отдельной задаче или подзадаче. Начало, конец и длина отрезка на шкале времени соответствуют началу, концу и длительности задачи.

Для построения графика Ганта, следует, длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{ki,рук} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

$$T_{ki,инж} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

где $k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал,рук} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

$$k_{кал,инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

где $T_{кал}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{кал}$ – общее количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году.

Расчет трудоемкости и продолжительности работ, на примере задачи «Составление и утверждение технического задания»:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2,8 \text{ чел.-дн.},$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{C_i} = \frac{2,8}{1} = 2,8 \text{ раб.дн.}.$$

Расчет календарного коэффициента для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$k_{\text{кал.инж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 105 - 13} = 1,48.$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Выбор направления исследований»:

$$T_{\text{ки.инж}} = T_{\text{pi}} \cdot k_{\text{кал}} = 2,4 \cdot 1,48 = 3,55 \approx 4 \text{ кал.дн.}$$

Расчет календарного коэффициента для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$k_{\text{кал.рук}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 53 - 13} = 1,22.$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Выбор направления исследований»:

$$T_{\text{ки.инж}} = T_{\text{pi}} \cdot k_{\text{кал}} = 2,1 \cdot 1,22 = 2,56 \approx 3 \text{ кал.дн.}$$

Все полученные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в таблицу 6.

Таблица 6 – Временные показатели проектирования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		t_{oji} , чел-дни					
	Руководи тель	Инженер	Руководи тель	Инженер	Руководи тель	Инженер	Руководи тель	Инженер	Руководи тель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-
Выбор направления исследований	3	4	6	6	4,2	4,8	2,1	2,4	3	4
Подбор и изучение материалов по теме	-	5	-	8	-	6,2	-	6,2	-	10
Календарное планирование работ по проекту	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-

Продолжение таблицы 6

Проведение теоретических расчетов	-	10	-	15	-	12	-	12	-	18
Электрический расчет генератора и подбор конденсаторов	-	2	-	6	-	3,6	-	3,6	-	6
Оценка эффективности полученных результатов	2	2	4	6	2,8	3,6	1,4	1,8	2	3
Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-
Построение сборочного чертежа	-	10	-	15	-	12	-	12	-	18
Технико-экономические расчеты	-	2	-	5	-	3,2	-	3,2	-	5
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	-	10	-	12	-	10,8	-	10,8	-	16

После расчета и сведения в таблицу временных показателей проектирования, на основе полученной таблицы строится диаграмма Ганта.

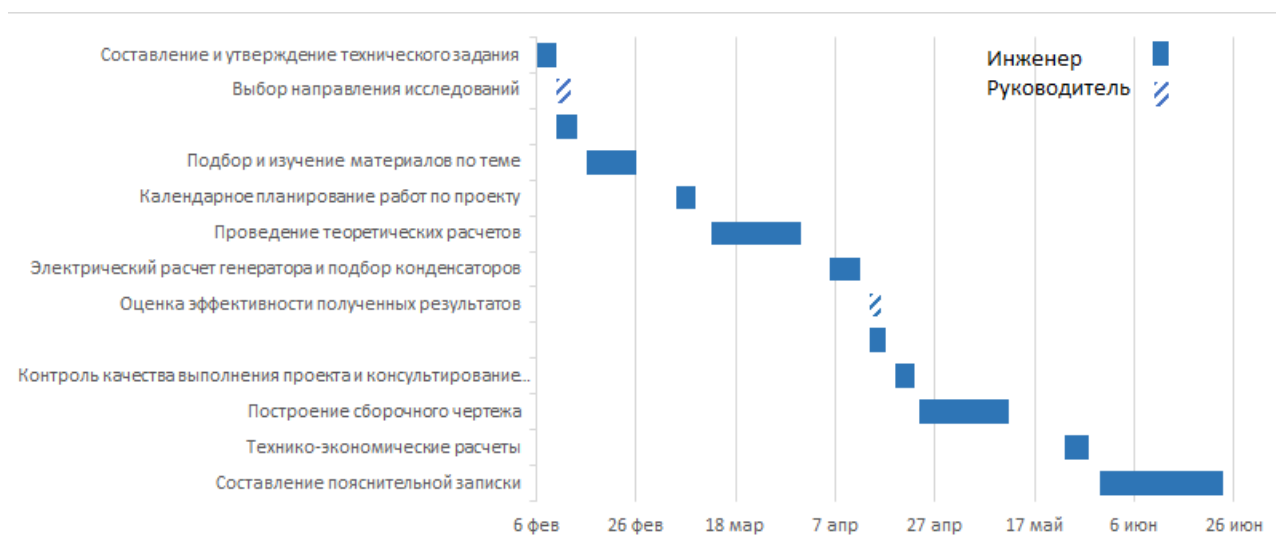


Рисунок 16 – Диаграмма Ганта

Таблица 7 – Сводная таблица по календарным дням

	Количество дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	99
Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер	87
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	17

В результате выполнения подраздела был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей, а также рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из исполнителей.

4.2.4. Общий бюджет проектирования

Основным критерием планирования бюджета на проектирование является полное и достоверное отражение всех видов расходов, затрачиваемых на его выполнение. Планирование бюджета подразумевает использование следующих критериев:

- амортизация;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

4.2.5. Расчет амортизации

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов.

Таблица 8 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Компьютер	1	40	40
Итого:				40 тыс. руб.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m,$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования.

Рассчитаем амортизацию для компьютера, с учётом, что срок полезного использования 3 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0,33.$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 40000}{12} \cdot 3 = 3300 \text{ руб.}$$

4.2.6. Основная заработная плата

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где $Z_{он}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (табл. 6).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{он} = \frac{Z_m \cdot M}{F_о} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.},$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц; $F_о$ – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн. (табл. 9); M – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

- при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя;

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{он} = \frac{Z_m \cdot M}{F_о} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.}.$$

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{пр} + k_о) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{пр} + k_о) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.},$$

где $Z_{мс}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; $k_о$ – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 9 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	53/13	105/13
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 10 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители	$З_{мс}, руб$	$k_{пр}$	k_{∂}	k_p	$З_{м}, руб$	$З_{\partialн}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$З_{осн}, руб$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	12	25767,6
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	52	90641,2
Итого:								116408,8

4.2.7. Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для руководителя:

$$З_{\partialоп} = k_{\partialоп} \cdot З_{осн} = 0,15 \cdot 25767,6 = 3865,1 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$З_{\partialоп} = k_{\partialоп} \cdot З_{осн} = 0,15 \cdot 90641,2 = 13596,2 \text{ руб.},$$

где $k_{\partialоп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

4.2.8. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$З_{внеб} = k_{внеб} (З_{осн} + З_{\partialоп}) = 0,271 \cdot (25767,6 + 3865,1) = 8030,5 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$З_{внеб} = k_{внеб} (З_{осн} + З_{\partialоп}) = 0,271 \cdot (90641,2 + 13596,2) = 28248,3 \text{ руб.},$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и пр.). На 2017 г., для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2017 году водится пониженная ставка – 27,1 %.

4.2.9. Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи и т.д.

Накладные расходы в целом:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{\text{нр}} = \\ = (3300 + 116408,8 + 17461,3 + 36278,8) \cdot 0,16 = 27751,8 \text{ руб.},$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

4.2.10. Формирование бюджета затрат на проектирование

Рассчитанная величина затрат на проектирование 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. Ниже, в таблице 11, приведены сводные данные по затратам, рассчитанные ранее.

Таблица 11 – Бюджет затрат на проектирование

Наименование статьи	Всего, руб.	Доля, %
1. Амортизация	3300	1,6
2. Основная заработная плата исполнителей темы	116408,8	57,9
3. Дополнительная заработная плата исполнителей темы	17461,3	8,7
4. Отчисления во внебюджетные фонды	36278,8	18
5. Накладные расходы	27751,8	13,8
Бюджет затрат проектирования	201200,7	100

Исходя из полученных данных, можно увидеть, что общие расходы на проектирование равны 201200,7 руб. Наибольшие доли затрат пришлись на затраты по основной заработной плате исполнителей темы – 57,9 %, на отчисления во внебюджетные фонды – 18 %, на накладные расходы – 13,8 %. Наименьшие затраты – это затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы – 8,7 % и амортизации – 1,6 %.

4.3. Ресурсоэффективность

В данном разделе необходимо произвести оценку ресурсоэффективности проекта, определяемую посредством расчета интегрального критерия, по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности; a_i – весовой коэффициент проекта; b_i – бальная оценка проекта, устанавливаемая опытным путем по выбранной шкале оценивания.

Расставляем бальные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик проекта, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 12.

Таблица 12 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
1. Безопасность при использовании установки	0,2	5
2. Надежность работы	0,2	5
3. Технические характеристики	0,3	5
4. Ремонтопригодность	0,15	4
5. Простота эксплуатации	0,15	5
Итого:	1	4,85

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{pi} = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 = 4,85;$$

В конечном итоге показатель ресурсоэффективности равен 4,85 из 5, что означает эффективность возможности реализации проекта.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проекта имеет большое значение, при выполнении данного раздела. Его высокое значение говорит об эффективном использовании проекта. Высокие баллы безопасности, надежности, удобства в применении, ремонтопригодности, позволяют сделать вывод о том, что проектирование выполнено верно.

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор башенного конструктивного исполнения, как наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с остальными;
2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 99 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 87 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель - 17;
3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 201200,7 руб;
4. Проведенная оценка ресурсоэффективности, было получено 4,85 по 5-бальной шкале, что говорит об эффективности реализации данного научного исследования.
5. Генераторы Маркса применяются для получения высокого напряжения, необходимого для испытания изоляции высоковольтного оборудования, определение ВАХ разрядников, проверки защитного действия молниеотводов и т.д.