

**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
<b>Расчет ГИН по схеме Аркадьева-Маркса</b>

УДК 621.373.1.001.24

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А3В	Морозов Роман Алексеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мытников А.В.			

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Высоковольтные испытательные установки и измерения»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мытников А.В.			

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2017 г.

**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

\_\_\_\_\_ А.О. Сулайманов  
 (Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
5А3В	Морозову Роману Алексеевичу

Тема работы:

<b>Расчет ГИН по схеме Аркадьева-Маркса</b>
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Проектирование генератора импульсного напряжения по схеме Аркадьева-Маркса. Исходные данные: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Напряжение генератора не более 50 кВ;</li> <li>• Длительность фронта импульса <math>\tau_f=1,2</math> мкс;</li> <li>• Длительность импульса <math>\tau_{и}=50</math> мкс;</li> <li>• Время зарядки генератора 110 с;</li> <li>• Режим испытания — срезанный импульс;</li> <li>• Характеристики испытуемой изоляции — внешняя изоляция воздушного выключателя на класс напряжения 35 кВ;</li> </ul>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b>	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.

<b>Перечень графического материала</b>	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Высоковольтные испытательные установки и измерения	Мытников А.В.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Потехина Н. В.
Социальная ответственность	Бородин Ю. В.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	15.02.2017
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мытников А.В.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А3В	Морозов Роман Алексеевич		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5А3В	Морозову Роману Алексеевичу

<b>Институт</b>	<b>ЭНИН</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭЭС</b>
Уровень образования	Бакалавриат	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>	<i>Зарботные платы рассчитывались на основе окладов ТПУ. Руководитель 17000 руб., инженер 17000 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>0,3 премии 0,2 надбавки 0,16 накладные расходы 0,3 районный коэффициент</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>0,271 отчисления на социальные нужды</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Анализ технического решения по технологии QuaD</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>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); - накладные расходы.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение интегрального показателя ресурсоэффективности</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. *Оценочная карта качества и перспективности разработки по технологии QuaD*
2. *Календарный план-график проведения проекта*
3. *Бюджет затрат на проектирование*

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ст. преподаватель	Потехина Н.В.	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5А3В	Морозов Роман Алексеевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А3В	Морозову Роману Алексеевичу

Институт	ЭНИИ	Кафедра	ЭСС
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Производственная деятельность происходит в лабораторном помещении. На производственную деятельность могут влиять такие факторы как:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-вредные проявления факторов производственной среды (повышенные электромагнитные поля, микроклимат, освещение)</li> <li>-опасные проявления факторов производственной среды (электроопасность, пожароопасность и взрывоопасность)</li> <li>-негативные воздействия на окружающую природу (загрязнение тяжелыми металлами)</li> </ul>
---	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1.Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты; (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> </ul> <p>пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Повышенный уровень электрического и магнитного поля на рабочем месте, действие на организм человека; приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>-отклонение показателей микроклимата в помещении; приведение допустимых норм с необходимой размерностью; повышенная запыленность воздуха рабочей зоны, предлагаемые средства защиты;</li> <li>-электробезопасность (короткое замыкание, поражением человека электрическим током);</li> <li>-пожаровзрывобезопасность (открытый огонь, короткие замыкания)</li> </ul>
---	---

<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>–анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</p> <p>–анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>–пожарная и взрывная безопасность в лаборатории</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>–Правовые аспекты трудового законодательства</p>

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

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А3В	Морозов Роман Алексеевич		

## Реферат

Данная выпускная квалификационная работа содержит 73 страницы, 35 рисунков, 25 таблиц, 11 источников.

Ключевые слова: генератор Аркадьева -Маркса, конденсатор, изоляция, высоковольтное оборудование.

Объектом исследования является генератор импульсного напряжения по схеме Аркадьева-Маркса.

Цель работы: спроектировать и рассчитать генератор импульсных напряжений.

В процессе работы рассчитаны количественные значения элементов ГИНа: значения коэффициентов использования разрядной схемы и волны; емкость и индуктивность конденсатора; количество ступеней; фронтовое и разрядное сопротивления. Был выполнен расчет ресурсов, ставки налогов, отчислений. Так же было описаны рабочее место и законодательные и нормативные документы.

## Оглавление

Введение.....	9
1 Общие сведения .....	10
2 Расчет генератора.....	13
2.1 Определение параметров объектов испытания .....	13
2.3 Расчет шаровых разрядников .....	19
2.4 Расчет зарядной схемы .....	20
2.5 Расчет делителя напряжения .....	22
2.6 Расчет емкости делителя на землю .....	26
2.7 Расчет разрядного контура на апериодичность .....	28
2.8 Испытания объектов .....	32
2.9 Принцип действия схемы управления ГИН.....	34
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	35
3.1 Анализ конкурентных технических решений .....	35
3.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	37
3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	37
3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	38
3.2.3 Разработка графика проведения проектирования.....	39
3.3 Бюджет затрат на проектирование .....	42
3.3.1 Амортизация .....	43
3.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы.....	43
3.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	45
3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) ...	45
3.3.5 Накладные расходы.....	46
3.3.6 Формирование бюджета затрат проектирования.....	46
4 Ресурсоэффективность .....	47



## Введение

Генераторы таких напряжений предназначаются для испытаний различных видов изоляций (линейной, аппаратной, трансформаторной), определения вольт-секундных характеристик разрядников, исследования защитного действия молниеотводов, изучения физики высоковольтного разряда и т.д.

Генератор импульсных напряжений (ГИН) является важнейшей составляющей испытательных лабораторий заводов, выпускающих оборудование для передачи электрической энергии. [1]

Основной частью импульсного генератора являются конденсаторы, заряжаемые параллельно и разряжаемые на нагрузку при последовательном соединении с помощью коммутирующих разрядников. Таким путем при наличии в составе ГИН  $n$  конденсаторов, заряжаемых до напряжения  $U$ , можно получить на выходе ГИН номинальное напряжение  $nU$ . Это напряжение прикладывается к объекту испытаний и должно имитировать воздействие грозового импульса с фронтом 1,2 микросекунды и длительностью на полувысоте 50 микросекунд на элемент высоковольтной линии передачи или изоляцию аппарата, установленного на подстанции.

# 1 Общие сведения

Генератор Аркадьева-Маркса — генератор импульсного высокого напряжения, принцип действия которого основан на зарядке электрическим током соединённых параллельно (через резисторы) конденсаторов, соединяющихся после зарядки последовательно при помощи различных коммутирующих устройств (например, газовых разрядников или триггетров). Таким образом выходное напряжение увеличивается пропорционально количеству соединённых конденсаторов.

На рисунке 1 приведен вариант схемы генератора импульсных напряжений, рассматриваемого в данном проекте.

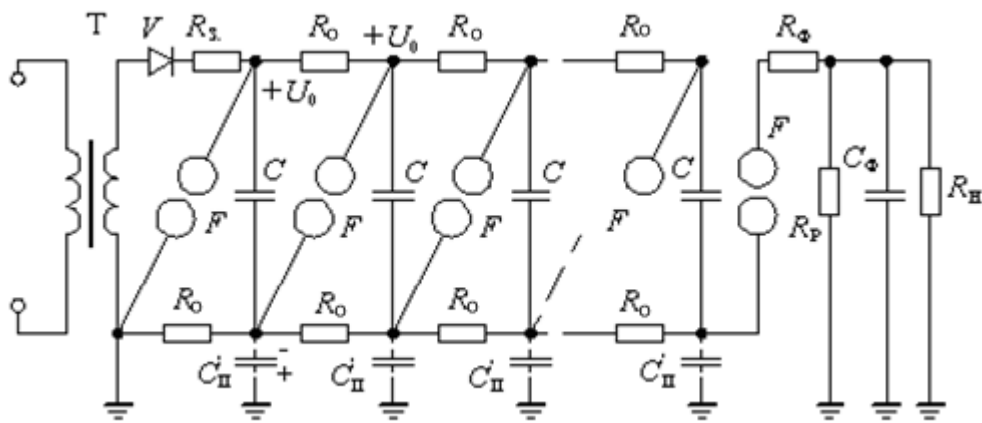


Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема ГИН

Где:

T – трансформатор;

V – выпрямитель;

$R_3, R_0$  – защитное и разделительное сопротивления;

$R_\phi, C_\phi$  – фронтовое сопротивление и емкость;

$R_H$  – сопротивление нагрузки;

F – искровой промежуток;

C – ёмкость ступени.

После зарядки конденсаторов запуск генератора обычно производится после срабатывания первого разрядника. После его срабатывания перенапряжение на разрядниках заставляет срабатывать их все практически

одновременно, чем и производится последовательное соединение заряженных конденсаторов.

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

Опишем отдельно контур заряда и разряда генератора:

Для заряда конденсатором используется выпрямленное или постоянное напряжение; чаще всего источник питания представляет собой выпрямительное устройство, состоящее из повышающего трансформатора, вентилей, пускорегулирующей, защитной и контрольной аппаратуры, системы заземления безопасности.

Так же можно применить уже готовые решения от производителей высоковольтного оборудования, что позволяет сочетать в себе небольшие габариты, требуемые параметры выходного напряжения и тока, а так же удешевляет стоимость зарядного контура.

Стандартную схему замещения зарядной цепи можно представить на рисунке 2.

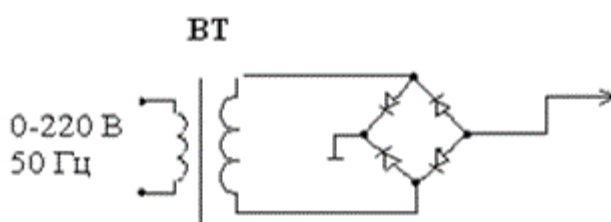


Рисунок 2 – Схема зарядного контура.

При разряде совокупность генератор-объект можно представить как одну две емкости с последовательно соединенными успокоительными сопротивлениями, а так же индуктивностью разрядной цепи.

Полная схема замещения разрядного контура ГИН представлена на рисунке 3а. На рисунке 3б упрощенная схема.

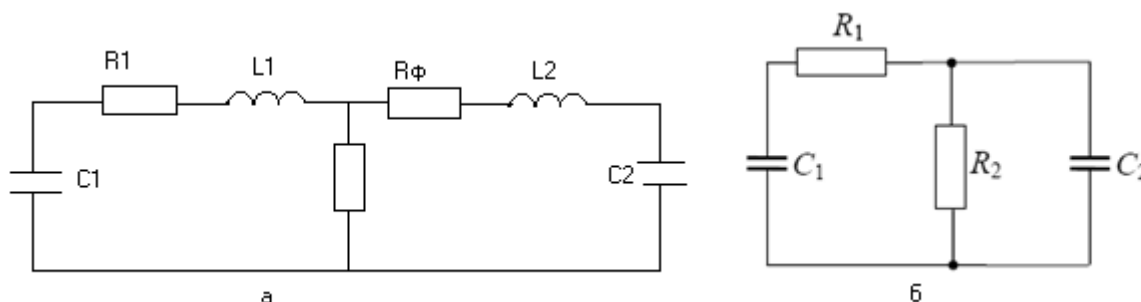


Рисунок 3 – Схемы замещения разрядной цепи

В этой схеме  $C1$  – емкость генератора в разряде;  $R1$  – суммарное активное сопротивление разрядной цепи ГИН и успокоительных сопротивлений для подавления высокочастотных колебаний в разрядной цепи;  $R2$  – разрядное сопротивление, предназначенное для регулирования длительности импульса;  $C2$  - сумма емкости объекта, паразитной емкости ГИН и специально включаемой емкости для регулирования длительности фронта импульса;  $L1$  и  $L2$  – индуктивность элементов ГИНа и петли подсоединения объекта к ГИНу

Ввиду не большой длины соединительных проводников и, следовательно, малой их индуктивности, при расчетах ими можно пренебречь, упрощенная схема представлена на рисунке 3б.

## 2 Расчет генератора

### 3.1 Определение параметров объектов испытания

Чтобы проводить испытания оборудования необходимо знание емкостей этих объектов, а так же испытательные напряжения, которые регламентируются ГОСТ 1516.1

Произведем выбор заданного оборудования по заданию расчета [3,4]:

Объект	Название	Емкость, пФ	Тип	Испытательное напряжение, кВ
Выключатель	ВВП-35	500	Срез	Внешняя - 230
Трансформатор	ТМН-2500/110	6500	Срез	Внешняя - 570
			Полн	Внешняя - 460

Так как емкости и напряжения испытываемых объектов сильно отличаются, необходимо провести выбор максимальных значений параметров, чтобы не производить расчет двух различных генераторов, а лишь снижать зарядное напряжение, и\или искусственно увеличивать емкость испытываемого объекта.

- Испытательное напряжение  $U_{исп} = 570$  кВ;

- Емкость  $C_2 = 6500$  пФ.

## 2.2 Расчет основных элементов схемы ГИН

Основными параметрами генератора являются:

- число ступеней ГИН  $N$ ;
- емкость конденсатора  $C_K$ ;
- расчетное значение коэффициента схемы  $\eta_{сх}$  и соотношение  $C_2/C_1$ ;
- сопротивления разрядной схемы ГИН  $R_1$  и  $R_2$ ;
- величина выходного напряжения ГИН.

Для расчета зададимся условием, что  $C_1=10 \cdot C_2$ , следовательно разрядное сопротивление будет составлять  $C_1=65$  нФ

Определяем сопротивления:

$$R_1 = \frac{\tau_{\phi}}{2,3 \cdot C_2} = \frac{1,2 \cdot 10^{-6}}{2,3 \cdot 6500 \cdot 10^{-12}} = 80,268 \text{ Ом}$$

$$R_2 = \frac{\tau_{и}}{0,7 \cdot C_1} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{0,7 \cdot 65 \cdot 10^{-9}} = 1099 \text{ Ом}$$

Определим минимальное число ступеней ГИН, обеспечивающих  $U_{исп}=570$ .

Исходным уравнением для расчета является:

$$U_{2max} = K \cdot N \cdot \eta_{в} \cdot \eta_{сх} \cdot U_3,$$

$U_3$  – зарядное напряжение ГИН, равное 50 кВ

$N$  – число ступеней ГИН,

$K=0,9$  – коэффициент, учитывающий снижение напряжения на конденсаторах по мере удаления от первой ступени ГИН,

$\eta_{сх}$  – коэффициент схемы, для предварительных расчетов принимаем усредненное значение, равное 0,847

$\eta_{в}$  – коэффициент использования волны.

При расчете разрядной схемы ГИН должно соблюдаться следующее условие: напряжение на выходе генератора должно быть не меньше испытательного напряжения, т.е.  $U_{2max} \geq U_{исп}$ , ( $U_{исп}$  – уровень испытательного напряжения).

Для стандартных параметров грозового импульса  $\tau_{\phi} / \tau_{и} = 1.2/50$  мкс коэффициент использования волны  $\eta_{в} = 0,968$

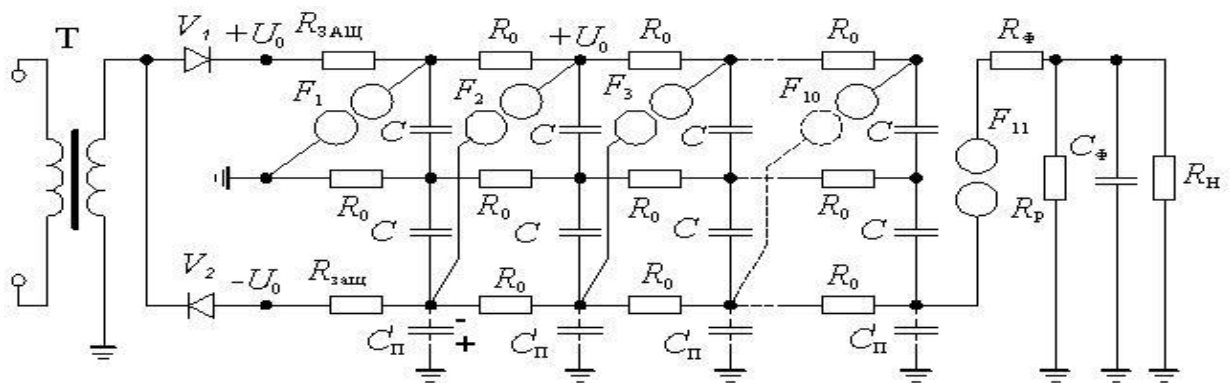
Определяем минимальное число ступеней ГИН:

$$N = \frac{570}{0.9 \cdot \eta_{сх} \cdot \eta_{г} \cdot 50} = \frac{570}{0.9 \cdot 0.847 \cdot 0.968 \cdot 50} = 15,45$$

Т.к. число ступеней не может быть дробным, округляем его до целого большего значения, т.е. принимаем  $N=16$ .

Использование схемы с односторонней зарядкой при напряжении более 250-300 кВ становится неприемлемым из-за больших затрат на выпрямитель и больших размеров конечной конструкции. Получение импульсов высокого напряжения с использованием сравнительно низковольтных зарядных устройств и конденсаторов возможно при использовании многоступенчатых (каскадных) схем ГИН. В многоступенчатой схеме несколько конденсаторов заряжаются от зарядного устройства параллельно, а при разряде переключаются в последовательное соединение со сложением напряжений на них. Переключение обычно производится с помощью искровых промежутков [5]. Поэтому целесообразно для дальнейшего расчета применить схему с двухсторонней зарядкой, которая представлена на рисунке 4.

Рисунок 4 - Принципиальная электрическая схема ГИН с двухсторонней зарядкой



Следовательно, для дальнейшего расчета будет использоваться следующее уравнение:

$$U_{2\max} = 2 \cdot K \cdot N \cdot \eta_v \cdot \eta_{cx} \cdot U_3$$

где:

2 – коэффициент, учитывающий двустороннюю зарядку.

Определяем минимальное число ступеней ГИН:

$$N = \frac{570}{2 \cdot 0.9 \cdot \eta_{cx} \cdot \eta_e \cdot 50} = \frac{570}{2 \cdot 0.9 \cdot 0.847 \cdot 0.968 \cdot 50} = 7,72$$

Т.к. число ступеней не может быть дробным, округляем его до целого большего значения, т.е. принимаем  $N=8$ .

Тогда необходимая емкость конденсатора (ступени):

$$C_{ст} = 2 \cdot C_1 \cdot N = 2 \cdot 65 \cdot 10^{-9} \cdot 8 = 1,04 \text{ мкФ.}$$

Для построения генератора применим конденсаторы ИК-50-1, емкостью 1 мкФ.

Таблица 1 - Параметры конденсатора ИК-50-1

Напряжение, кВ	Емкость, мкФ	Габариты (ДхШхВ), мм	Индуктивность, нГн	Ресурс, имп
50	1	314x314x335	40	$10^3$

Разрядная емкость для выбранного типа конденсатора:

$$C_1 = C_{ст}/2N = 1/2 \cdot 8 = 0,0625 \text{ мкФ} = 62,5 \text{ нФ}$$





Рисунок 5 – Эскиз конденсатора ИКМ-50-1

Выбираем необходимые сопротивления:

Для исполнения сопротивлений R1 и R2, представленных на рисунке 4, выберем последовательное соединение резисторов, чтобы обеспечить рабочее напряжение в 570 кВ:

Таблица 2. Параметры резистора МТХ 969.71

Мощность, Вт	Рабочее напряжение, кВ	Испытательное Напряжение, кВ	Диапазон сопротивлений	Размеры L x B x ø, мм
71	64	70	1 Ом – 15 ГОм	210x32x30

При составлении фронтowego сопротивления R1 (рисунок 4) примем по ряду E24 сопротивление одного резистора равное 9,1 Ом, соединим последовательно 9 таких сопротивлений, соответственно получим следующие параметры:

$$R1_{\text{расч}} = 9,1 \cdot 9 = 81,9 \text{ Ом}$$

$$U_{\text{расч}} = 70 \cdot 9 = 630 \text{ В}$$

$$P1_{\text{расч}} = 71 \cdot 9 = 639 \text{ Вт}$$

Размещаем резисторы под углом в 30 градусов, помещаем в трубу диаметром 200мм, заливаем эпоксидным компаундом для придания конструкции монолитности, а так же увеличения электрической прочности.

Итоговая длина фронтного сопротивления составит 1950 мм.

При составлении сопротивления R2 примем сопротивление одного резистора равное 130 Ом, соединим последовательно 9 таких сопротивлений, соответственно получим следующие параметры:

$$R_{2\text{расч}} = 130 \cdot 9 = 1170 \text{ Ом}$$

$$U_{\text{расч}} = 70 \cdot 9 = 630 \text{ В}$$

$$P_{2\text{расч}} = 71 \cdot 9 = 639 \text{ Вт}$$

Проверяем полученные итоговые параметры:

$$U_{\text{расч}} = U_{\text{исп}} \quad 630 \text{ кВ} > 570 \text{ кВ}$$

Рассчитаем коэффициент схемы:

$$\eta_{\text{сх}} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{62.5 \cdot 10^{-9}}{62.5 \cdot 10^{-9} + 6.5 \cdot 10^{-9}} \cdot \frac{1170}{81.9 + 1170} = 0,847$$

Рассчитаем напряжение выдаваемое ГИН:

$$U_{\text{max}} = 2 \cdot 0.9 \cdot N \cdot \eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{сх}} \cdot U_3 = 2 \cdot 0,9 \cdot 8 \cdot 0,968 \cdot 0,847 \cdot 50 = 590 \text{ кВ}$$

590 кВ > 570 кВ - условие выполняется.

Длительность импульса напряжения:

$$\tau_{\text{и}} = 0,7 \cdot C_1 \cdot R_2 \cdot \eta_{\text{сх}} = 0,7 \cdot 62.5 \cdot 10^{-9} \cdot 1170 \cdot 0,847 = 43.3 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

Длительность фронта напряжения:

$$\tau_{\text{ф}} = 3,24 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot \eta_{\text{сх}} = 3,24 \cdot 6.5 \cdot 10^{-9} \cdot 81.9 \cdot 0,847 = 1,46 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

Такие значения удовлетворяют условию стандартного грозового импульса 1,2/50, так как им принадлежат промежутки для длительности фронта  $\tau_{\text{ф}}=1,2\pm 0,36\text{мкс}$ , длительности импульса  $\tau_{\text{и}}=50\pm 10\text{мкс}$ .

## 2.3 Расчет шаровых разрядников

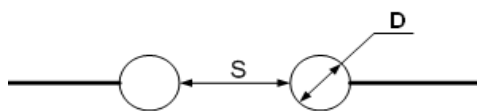


Рисунок 6 – Схема расположения и размеров шаров разрядника

Выбираем расстояние между шарами:

- На первой ступени:  $S_1 = U_0 / E_{\text{проб}} = 50 / 30 = 1,67 \text{ см}$ , где  $E_{\text{проб}} = 30 \text{ кВ/см}$  (критическая напряжённость поля воздушного промежутка при нормальных условиях).

- На второй ступени:  $S_2 = S_1 + \Delta S$

Где:  $\Delta S \leq S_1 / 10 = 0,167 \text{ см}$ , принимаем  $S_2 = 1,837 \text{ см}$

- На третьей и последующей ступенях:  $S_3 = 1,05 * S_2 = 1,929 \text{ см}$ .

Выбираем диаметр шаров:

$D_1 = 5 \text{ см}$  ( $d \geq 2S_3$ );

Диаметр шаров остальных ступеней может быть равен диаметру шаров третьей ступени, т.е.  $D_{1+15} = 5 \text{ см}$ .

## 2.4 Расчет зарядной схемы

Рассчитаем требуемое сопротивление ступени генератора с учетом запаса времени

$$\tau_u = C_{cm} \cdot (R_0 + R_{защ}),$$

Где:

$C_{cm}$  – емкость ступени ГИНа,

$R_0$  – разделительное сопротивление,

$R_{защ}$  – защитное сопротивление.

Зная значение времени заряда генератора  $t_{зар}$ , определяем величину защитного сопротивления  $R_з$ . Величина зарядных сопротивлений определяется с учетом разряда конденсаторов ГИН через эти сопротивления при формировании импульса.

$$R_{защ} = \frac{t_{зар}}{15 \cdot N \cdot C_k} = \frac{110}{15 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 917 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

Рассчитаем требуемое сопротивление ступени генератора с учетом запаса времени. Примем длину импульса в 40 раз больше:

$$R_0 = \frac{40 \cdot \tau_u}{C_k} = \frac{40 \cdot 43.3 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-6}} = 1732 \text{ Ом}$$

Выбираем резистор серии МТХ 969.71 сопротивлением 1800 Ом. Наибольшее рабочее напряжение 64 кВ, диапазон сопротивлений 1 Ом – 15кОм.

Принимаем значение сопротивления  $R_0 = 1800 \text{ Ом}$

(т.к. при этом значении время импульса не превысит требуемого значения

$$\tau_u = \frac{C_{cm} \cdot R_0}{40} = \frac{1 \cdot 10^{-6} \cdot 1800}{40} = 45 \cdot 10^{-6} )$$

В качестве защитного сопротивления  $R_{защ}$  выбираем резисторов МТХ 969.71, сопротивлением  $1 \cdot 10^6 \text{ Ом}$ . Предельно рабочее напряжение 64 кВ. Габариты: 210x30,5x30,5.

Определим максимальное и действующее значение зарядного тока:

$$I_0 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{50 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^6} = 0,05 \text{ A}$$

$$I_d = \frac{U_3}{\sqrt{3} \cdot R_3} = \frac{50 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1 \cdot 10^6} = 0,03 \text{ A}$$

Расчетная мощность зарядного устройства:

$$S_{\text{тр}} = \frac{1.94 \cdot U_{\text{зар}}^2 \cdot C_k \cdot N}{t_{\text{зар}}} = \frac{1.94 \cdot (50 \cdot 10^3)^2 \cdot 62,5 \cdot 10^{-9} \cdot 8}{110} = 22,04 \text{ ВА}$$

В качестве зарядного устройства применим АВ-50/70 [6].



Рисунок 7 –общий вид АВ-50/70

Таблица 3 - Параметры АВ-50/70.

Тип	Габариты, мм	$U_{\text{вн}}$ , кВ	$U_{\text{нн}}$ , кВ	Номинальная мощность, кВА	$I_{\text{max}}$ , МА
АВ-50/70	165x235x390	70	0,22	3	35

## 2.5 Расчет делителя напряжения

Требования, предъявляемые к делителям напряжения:

- Должен быть обеспечен устойчивый коэффициент деления, не зависящий от режима его работы, от частоты, времени, измеряемого напряжения.
- Делитель не должен искажать формы измеряемого напряжения.
- Не должен влиять на режим работы испытываемой цепи (иметь большое входное сопротивление).
- Не допустимы коронные разряды, делитель должен быть защищен от влияния посторонних полей.

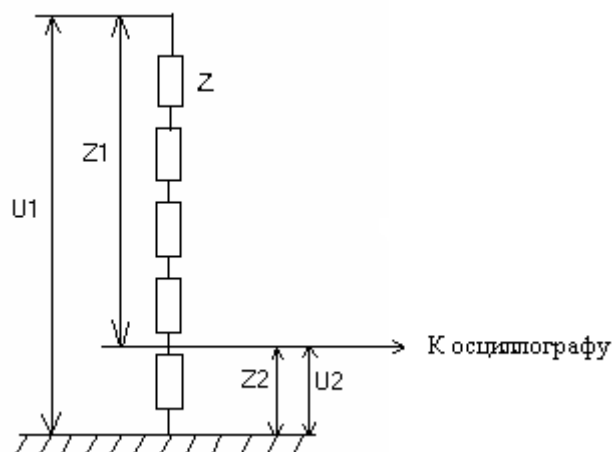


Рисунок 8 - Общая схема делителя, состоящего из цепочки активных сопротивлений.

где:

$Z_1$  – сопротивление высоковольтного плеча делителя;

$Z_2$  – сопротивление низковольтного плеча делителя;

$U_1$  – подводимое к делителю напряжение;

$U_2$  – напряжение низковольтного плеча

$$K_{д} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{570 \cdot 10^3}{100} = 5700$$

Для уменьшения занимаемого пространства возможно использование делителя одновременно в качестве разрядного и успокоительного сопротивления, а именно  $R_2$ . Следовательно, сопротивление высоковольтного плеча принимаем равным  $R_2$ , т.к. сопротивление низковольтного плеча слишком мало и не оказывает влияния на разрядные характеристики.

Делитель выполняем размещенным в воздухе. Предельная напряженность промежутка в электрическом поле  $E_{пр.имп} = 30$  кВ/см.

Максимальная рабочая напряженность промежутка находится с учетом коэффициента  $k=1,3-1,5$ . Примем  $k=1,3$ .

$$E_{рmax} = E_{пр.имп}/k = 30/1,3 = 23 \cdot 10^3 \text{ В/см.}$$

Нормальная рабочая напряженность промежутка:

$$E_p = (0,8-0,9) \cdot E_{рmax},$$

$$E_p = 0,8 \cdot 23 \cdot 10^3 = 18,4 \cdot 10^3 \text{ В/см.}$$

Выбираем схему расположения резисторов в делителе напряжения.

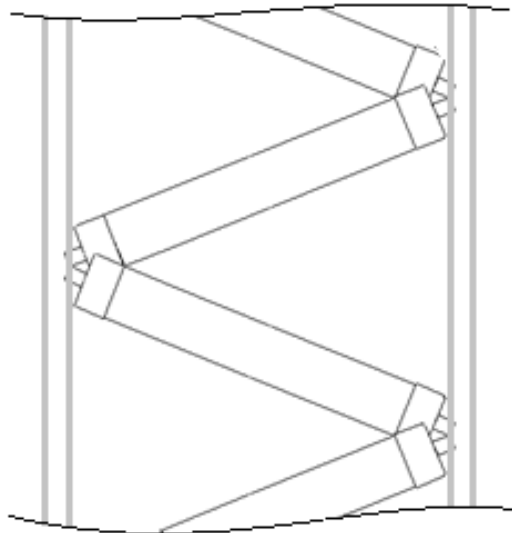


Рисунок 9 - Схема расположения резисторов в делителе напряжения.

Расстояние между корпусами резисторов:

$$h = \frac{2 \cdot U_{раб}}{E_p} = \frac{2 \cdot 64 \cdot 10^3}{18,4 \cdot 10^3} = 7 \text{ см}$$

Размещаем резисторы друг относительно друга под углом  $20^\circ$ . Из чего получаем расстояние между проводящими частями резистора равное 21 см, Резисторы закрепляем на двух параллельных трубах, диаметром 70мм. Итоговая высота высоковольтного плеча делителя  $L_{драсч}$  получается равной 195см.

Средний градиент по высоте делителя:

$$E_{cp} = \frac{U_{исп}}{l_{драсч}} = \frac{570 \cdot 10^3}{195} = 2,9 \cdot 10^3 \text{ В / см.}$$

Так как  $E_p < E_{p\text{макс}}$  и  $E_{cp} < E_{p\text{макс}}$ , то делитель может нормально работать в воздухе. Делитель будет укреплен стяжками для лучшей устойчивости [8].

Рассеиваемая делителем мощность  $P_{сpp}$  зависит от формы волны. Аперриодический импульс в данном случае можно принять как треугольный, а для треугольного импульса:

$$P_{сpp} = \frac{U_{исп}^2 \cdot \tau_u \cdot F_u}{3R_{драсч}}$$

где частота следования импульса:

$$F_u = \frac{1}{t_{зар}} = \frac{1}{110} = 0,009 \text{ с}^{-1}$$

$$P_{cp} = \frac{U_{исп}^2 \cdot \tau_u \cdot F_u}{3R_{драсч}} = \frac{570^2 \cdot 10^6 \cdot 43,3 \cdot 10^{-6} \cdot 0,009}{3 \cdot 1170} = 248,3 \text{ Вт}$$

Мощность, которую делитель способен рассеять:

$$P_{\Sigma} = P \cdot N_{p.\text{дейст}} = 71 \cdot 9 = 639 \text{ Вт}$$

$P_{\Sigma} > P_{cp}$  условие выполняется.

Для низковольтного плеча:  $U=U_2=100\text{В}$  напряжение подаваемое на осциллограф.



Сопротивление низковольтного плеча:

$$R_{НП} = \frac{R_{д.расч}}{K_{\delta}} = \frac{1170}{5700} = 0,2 \text{ Ом}$$

Для сопротивления низковольтного плеча принимаем резистор марки МТХ969.11 ( $R = 1 \text{ Ом}$ ). Возьмем 5 параллельно соединенных резисторов, тогда:  $R_{НП} = R / 5 = 1/5 = 0,2 \text{ Ом}$ .

Таблица 4 - Параметры МТХ969.11

марка	$U_{раб}$	$R_{min}$	$R_{max}$	$P_{ном}$	Н	В	l
	кВ	Ом	Ом	Вт	мм	мм	мм
МТХ969.11	24	1	$5 \cdot 10^3$	11	14,5	14,5	81,5

Рассеиваемая мощность низковольтного плеча:

$$P_{срнп} = \frac{U_{нп}^2 \cdot \tau_u \cdot F_u}{2 \cdot R_{нп}} = \frac{100^2 \cdot 43,3 \cdot 10^{-6} \cdot 0,009}{2 \cdot 0,2} = 0,974 \text{ Вт}$$

Мощность МТХ969.11  $P = 11 \text{ Вт}$  тогда  $P > P_{срнп}$  ( $11 \text{ Вт} > 0,974 \text{ Вт}$ ).

Низковольтное плечо устанавливаем в подставку, резисторы расположены вертикально.

## 2.6 Расчет емкости делителя на землю

На характер передачи формы напряжения решающее влияние оказывает емкость делителя на землю  $C_3$ . Эта емкость неравномерна по длине делителя и ее наличие приводит к неравномерному распределению напряжения вдоль длины делителя.

Емкость вертикально установленного делителя может быть вычислена по формуле:

$$C_3 = \frac{2\pi\epsilon L}{\ln \frac{L}{a} - D_2}$$

где  $L$  – высота делителя;  $a$  – радиус делителя;  $\epsilon$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды.

Выбираем высоту подставки делителя равной  $h=20$  см. Тогда отношение,

$$\frac{h}{L} = \frac{20}{195} = 0.1$$

где  $h$ - расстояние между делителем и землей, т.е. высота подставки делителя.

При этом

$$\begin{aligned} D_2 &= 1 + \frac{h}{L} \cdot \ln\left(\frac{4h}{L}\right) + \left(1 + \frac{h}{L}\right) \cdot \ln\left(1 - \frac{h}{L}\right) - \left(1 + \frac{2h}{L}\right) \cdot \ln\left(1 + \frac{2h}{L}\right) \\ &= 1 + \frac{20}{195} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 20}{195}\right) + \left(1 + \frac{20}{195}\right) \cdot \ln\left(1 - \frac{20}{195}\right) - \left(1 + \frac{2 \cdot 20}{195}\right) \\ &\quad \cdot \ln\left(1 + \frac{2 \cdot 20}{195}\right) = 0.613 \\ C_3 &= \frac{2\pi\epsilon L}{\ln \frac{L}{a} - D_2} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 1,95}{\ln \frac{1,95}{0,2} - 0,613} = 9,9 \text{ пФ} \end{aligned}$$

Можно оценить погрешность, вносимую делителем напряжения из-за  $C_3$  по формуле:

$$\delta = \left(2e^{-\frac{t}{\tau}} - 2e^{-\frac{4t}{\tau}}\right) \cdot 100\%$$

Где

$$\tau = \frac{R_{\text{ВП}} \cdot C_3}{\pi^2} = \frac{1170 \cdot 9,9 \cdot 10^{-12}}{3.14^2} = 0,736 \cdot 10^{-9}$$

$$t = \tau_{\phi} = 1.46 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

Таким образом:

$$\delta = \left( 2e^{-\frac{t}{\tau}} - 2e^{-\frac{4t}{\tau}} \right) \cdot 100\% = \left( 2e^{-\frac{1.46 \cdot 10^{-6}}{0,736 \cdot 10^{-9}}} - 2e^{-\frac{4 \cdot 1.46 \cdot 10^{-6}}{0,736 \cdot 10^{-9}}} \right) \cdot 100\% \approx 0\%$$

Так как величина погрешности очень мала, то емкость делителя на землю  $C_3$  не будет оказывать существенного влияния на форму выходного напряжения [9].

## 2.7 Расчет разрядного контура на апериодичность

Для проверки разрядного контура на апериодичность необходимо оценить индуктивность разрядного контура генератора ( $L_T$ ), которая должна быть меньше или равна эквивалентной индуктивности ( $L_э$ ).

Эквивалентная индуктивность определяется из условия отсутствия колебаний в разрядном контуре, которое имеет вид:

$$R_1 \geq 0.69 \cdot R_{кр} = 0,69 \cdot 2\sqrt{(L_1 + L_2)/C_э} = 1.38 \cdot \sqrt{L_э/C_э},$$

где  $L_1$  – сумма индуктивностей элементов ГИН,  $L_2$  – индуктивность петли подсоединения ГИН к объекту.

$$C_э = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{62,5 \cdot 10^{-9} \cdot 6,5 \cdot 10^{-9}}{62,5 \cdot 10^{-9} + 6,5 \cdot 10^{-9}} = 5,89 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

При испытании изоляции, в соответствии с требованием ГОСТ, допускаются колебания с амплитудой не более 5% от амплитуды импульса напряжения. Тогда величина эквивалентной индуктивности, при которой в контуре будут колебания с допустимой амплитудой, определяется как:

$$L_э \leq 0.525 \cdot C_2 \cdot R_1^2$$

$$L_э = 0.525 \cdot 6,5 \cdot 10^{-9} \cdot 81,9^2 = 22,89 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$$

Индуктивность генератора можно представить суммой индуктивности петли подсоединения ГИН к объекту испытания ( $L_K$ ) и индуктивности элементов ГИН ( $L_{ст}$ ):  $L_T = L_K + N \cdot L_{ст}$ .

Эти индуктивности, с некоторым допущением, могут быть рассчитаны как индуктивности плоских контуров прямоугольной формы:

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \cdot l \cdot \left[ \ln \frac{2 \cdot S}{r \cdot l} + 0.1 \right]$$

где

$l$  – периметр контура,

$S$  – площадь, охватываемая контуром.

$r$  – радиус соединительных проводников;

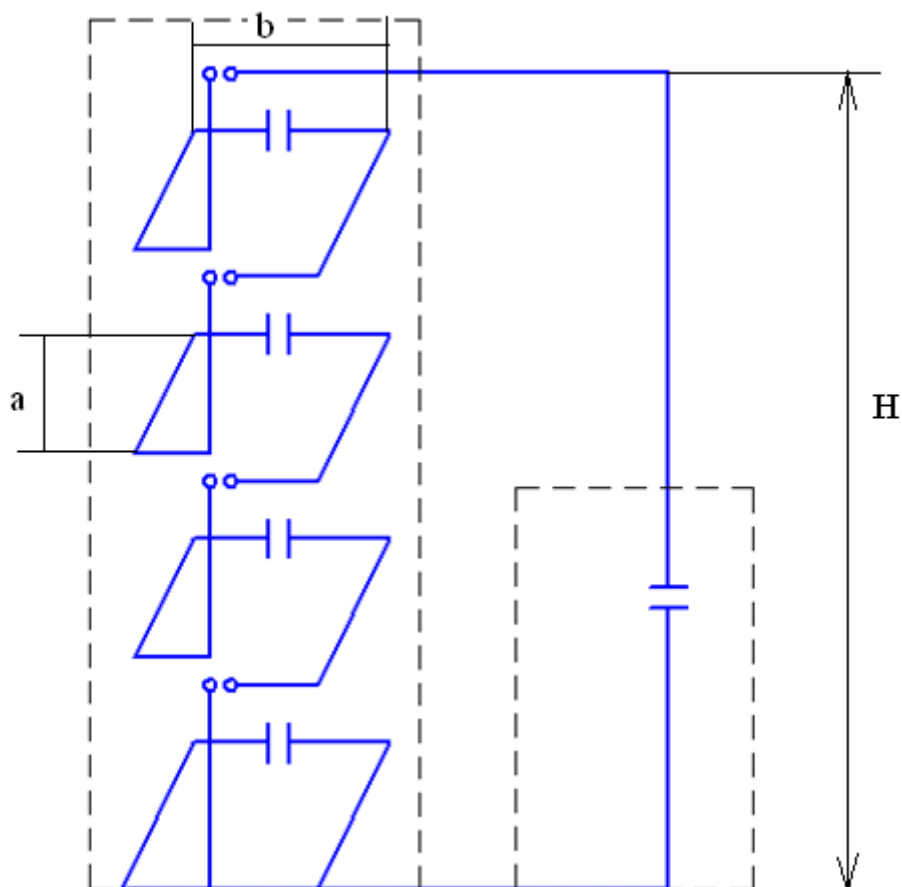


Рисунок 10 - контур петли присоединения к объекту.

Т.к. для прямоугольного контура  $S=a \cdot b$  и  $l=2(a+b)$ , получаем

$$L = 4 \cdot 10^{-7} \cdot (a + b) \cdot \left[ \ln \frac{a \cdot b}{r \cdot (a + b)} + 0.1 \right]$$

где  $a$  и  $b$  – стороны прямоугольного контура.

При расчете индуктивности петли подсоединения ( $L_{\kappa}$ ) значения сторон рекомендуется принимать равными высоте генератора и расстоянию до объекта испытания соответственно.

Габариты выбранных ранее конденсаторов ИК-50-1: высота – 0,314 м, длина – 0,355 м, ширина – 0,314 м. Принимаем, что высота одной ступени  $0,314+0,15=0,329$  м (где 0,314- высота конденсатора, 0,15 м – высота текстолитовых плит).

Высота ГИН:

$$H = h_0 \cdot N = 0,329 \cdot 8 = 2,632 \text{ м}$$

Размеры соединительных шин принимаем 50x5 мм.

Расстояние между ГИН и объектом выбирается исходя из электрической прочности воздушного промежутка:

$$S = U_{\text{исп}}/U_{\text{проб}} = 570/30 = 19 \text{ см} \approx 0,19 \text{ м.}$$

Поэтому расстояние между осью ГИН и осью испытуемого объекта:

$$b = 0,19 + 1,77(1/2 \text{ ширины трансформатора}) + 0,364(1/2 \text{ длины ГИН}) = 2,324 \text{ м.}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{к}} &= 2 \cdot 10^{-7} \cdot (H + b) \cdot \left[ \ln \frac{H \cdot b}{r \cdot (H + b)} + 0.1 \right] \\ &= 2 \cdot 10^{-7} \cdot (3,632 + 2,324) \cdot \left[ \ln \frac{3,632 \cdot 2,324}{0.5 \cdot (3,632 + 2,324)} + 0.1 \right] \\ &= 9,948 \cdot 10^{-7} \text{ Гн} \end{aligned}$$

Индуктивность ступени ГИН ( $L_{\text{ст}}$ ) определяется индуктивностью контура соединяющего шаровые разрядники и индуктивностью конденсатора.

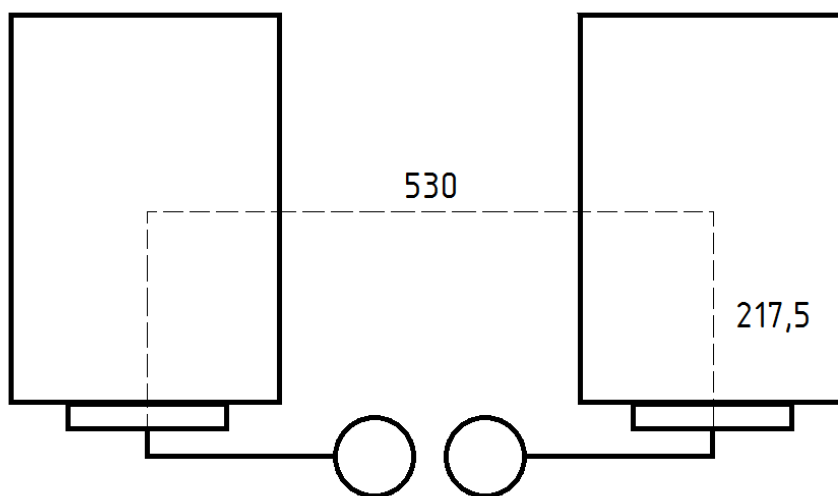


Рисунок 11 – Контур, соединяющий шаровые разрядники

Определим длину и площадь этого контура, как периметр и площадь трапеции со следующими параметрами: длина 400мм и высота 200мм.

Длина контура:

$$l = 2 \cdot (530 + 217,5) = 1495 \text{ мм}$$

Площадь, охватываемая контуром

$$S = 530 \cdot 217,5 = 115275 \text{ мм}^2$$

Ввиду этого индуктивность ступени ГИН:

$$\begin{aligned} L_{\text{ст}} &= 2 \cdot 10^{-7} \cdot l \cdot \left[ \ln \frac{2 \cdot S}{r \cdot l} + 0.1 \right] = 2 \cdot 10^{-7} \cdot 0,1495 \cdot \left[ \ln \frac{2 \cdot 0.080}{0.05 \cdot 0,1495} + 0.1 \right] \\ &= 1,054 \cdot 10^{-7} \text{ Гн} \end{aligned}$$

Суммарная индуктивность генератора:

$$L_{\Gamma} = L_{\kappa} + L_{\text{ст}} = 9,948 \cdot 10^{-7} + 8 \cdot 1,054 \cdot 10^{-7} = 1,838 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$$

$L_{\Gamma} (1,838 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}) < L_{\text{Э}} (22,89 \cdot 10^{-6} \text{ Гн})$ , следовательно, условие апериодичности выполняется. Т.е. возникновение колебаний, которые будут превышать 5% от амплитуды импульса напряжения, невозможно [10].

## 2.8 Испытания объектов

Так как генератор импульсных напряжений был рассчитан на максимальные параметры, необходимо составить алгоритм проведения испытаний для каждого вида оборудования в отдельности. Так же произвести расчет дополнительной батареи конденсаторов, которая будет подключаться параллельно испытываемому объекту, для доведения его емкости до необходимого значения для испытания, чтобы не пришлось вносить изменения в конструкцию самого генератора.

Требуемая ёмкость блока составит:

$$C_{\text{блока}} = 6500 - 500 = 6000 \text{ пФ}$$

Для составления такой батареи соединим последовательно 8 конденсаторов ИК-100-0,05 емкостью 0,05мкф, габариты: 455 x 150 x 326, масса 32 кг.

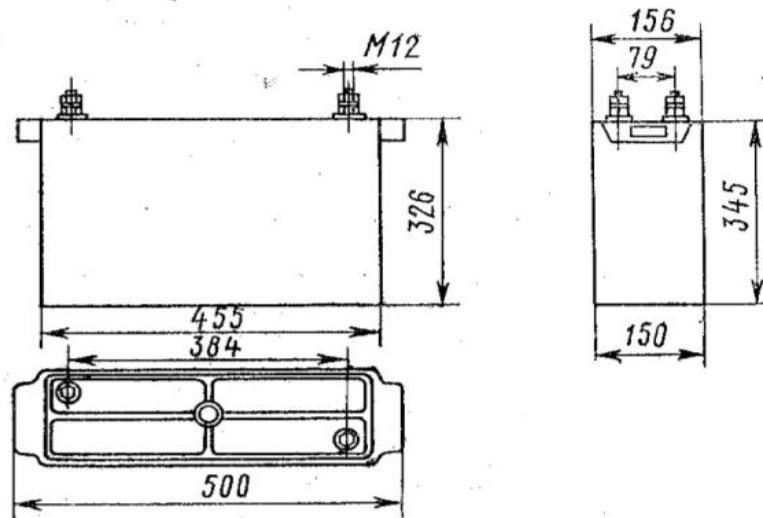


Рисунок 13 –эскиз конденсатора ИК-100-0,05

Таким образом, получим суммарную емкость блока и объекта равную:

$$C = \frac{0,05}{8} + 500 = 6750 \text{ пФ}$$

Длительность фронта напряжения:

$$\tau_{\phi} = 3,24 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot \eta_{сх} = 3,24 \cdot 6750 \cdot 10^{-12} \cdot 24 \cdot 0,847 = 1,51 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

Как видно значение длительности фронта в допустимых пределах.



Для испытания необходимо пользоваться следующим алгоритмом:

1) Для испытания выключателя ВВП-35 необходимо свести шаровые разрядники, подключенные параллельно испытываемому объекту, на расстояние равное  $1,1-1,15 U_{пр}$ , для получения срезанного импульса, параллельно ему подключить дополнительную батарею конденсаторов, рассчитанную выше, а так же выставить зарядное напряжение на уровне:

$$U_3 = \frac{U_2}{2 \cdot 0,9 \cdot N \cdot \eta_B \cdot \eta_{CX}} = \frac{230}{2 \cdot 0,9 \cdot 8 \cdot 0,968 \cdot 0,847} = 19,48 \text{кВ};$$

2) Для испытания трансформатора ТМН-2500/110 полным импульсом необходимо выставить зарядное напряжение на уровне:

$$U_3 = \frac{U_2}{2 \cdot 0,9 \cdot N \cdot \eta_B \cdot \eta_{CX}} = \frac{460}{2 \cdot 0,9 \cdot 8 \cdot 0,968 \cdot 0,847} = 38,962 \text{кВ};$$

3) Для испытания трансформатора ТМН-2500/110 необходимо свести шаровые разрядники, подключенные параллельно испытываемому объекту, на расстояние равное  $1,1-1,15 U_{пр}$ , для получения срезанного импульса и выставить зарядное напряжение на уровне:

$$U_3 = \frac{U_2}{2 \cdot 0,9 \cdot N \cdot \eta_B \cdot \eta_{CX}} = \frac{570}{2 \cdot 0,9 \cdot 8 \cdot 0,968 \cdot 0,847} = 48,278 \text{кВ};$$

## 2.9 Принцип действия схемы управления ГИН

В первую очередь включается вручную выключатель S1, и подает питание в систему, загорается лампочка L1 и L2 (если дверь не закрылась). Только после того как, дверь закрылась (S2 замкнулся), контакт 9.2 размыкается, лампочка L2 гаснет, контакт K9.1 замыкается и движок регулятора напряжения находится в начальном положении (S3 замкнут) можно подать напряжение на регулятор напряжения по способу включения S4, замыкаются контакты K1.1, K1.2, K1.3, K1.4. Контакт K1.2 замыкается, лампочка L1 загорается и K1.2 шунтирует выключатель S2, контакт K1.3 замыкается, срабатывает K2, размыкается K2.1 ГИН изолирован от земли. И мы можем проводить испытание. Двигатель Д1 используется для регулирования напряжения, Д2 для изменения расстояния шаровых разрядников при испытании срезанным импульсом.

В схеме с целью защиты установки от ряда случаев, когда регулируемые объекты достигаются крайних положений, а персонал не знает об этом и продолжает регулировать (нажимать выключатели), мы применяем концевые выключатели для двигателей. Когда регулируемые объекты достигаются крайних положений, они размыкаются (S12..S17), цепи управления двигателями размыкаются, и мы не можем дальше регулировать.

При испытании высоковольтных вводов необходимо нажать на S18, после чего произойдет срабатывание реле K7 и срабатывание контактов K7.1, K7.2, для отключения дополнительной батареи конденсаторов необходимо нажать на S19.

### **3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью данного раздела является определение целесообразности проведения исследования генератора Аркадьева-Маркса. Актуальность данной работы заключается в том, что генераторы Аркадьева-Маркса широко применяются для испытания различного вида внутренней изоляции трансформаторов и высоковольтных выключателей.

Экономика является основным критерием при разработке научного проекта, расчет затрат на разработку проекта и как следствие формирование цены на продукт является важнейшим аспектом в современной рыночной экономике.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной эффективности исследования.

#### **3.1 Анализ конкурентных технических решений**

Важнейшим элементом ГИН Аркадьева-Маркса является конденсатор. В связи со сложившейся экономической ситуацией в стране, были выбраны отечественные производители конденсаторов: ЗАО «Элкод Разработка», ООО «Кондесатор». Для сравнения были выбраны конденсаторы необходимого напряжения (50 кВ) и емкости (9 мкФ). Данный анализ произведём с помощью оценочной карты (таблица 1). Оценка будет происходить по 5 бальной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Вес показателей в сумме должны составлять 1.

Таблица 1 – Оценочная карта конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Элкод	Кондесатор	Элкод	Конденсатор
1	2	3	4	5	6
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
1.Количество импульсов в минуту	0,2	4	4	0,8	0,8
2. Габариты	0,08	2	2	0,15	0,16
3. Масса	0,08	3	3	0,24	0,24
4. Гарантийный срок	0,15	5	4	0,75	0,6
5.Интервал рабочих темпер	0,05	3	3	0,15	0,15
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>					
1.Конкурентоспособность продукта	0,13	4	3,5	0,52	0,455
2. Цена	0,13	3	5	0,39	0,65
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,18	4	4	0,72	0,72
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>28</b>	<b>28,5</b>	<b>3,72</b>	<b>3,775</b>

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 0,2 \cdot 4 = 0,8$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

В ходе проведения данного анализа было выявлено превосходство конденсаторов производителя ООО «Кондесатор» над своим конкурентом.

Поэтому при проектировании ГИН Аркадьева-Маркса использованы конденсаторы данного производителя.

## 3.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Перед тем как приступить к непосредственному исследованию, необходимо произвести планирование предполагаемых работ, которое осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой входит преподаватель и инженеры. Перечень этапов и работ исследования, распределение исполнителей по видам работ приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Преподаватель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Преподаватель
Теоретические исследования	5	Проведение предварительных расчетов и обоснований	Инженер
	6	Расчет коэффициента использования разрядной схемы	Инженер
	7	Определение параметров объекта испытания	Инженер
	8	Расчет основных элементов схемы ГИН	Инженер

## Продолжение таблицы 2

	9	Расчет шаровых разрядников	Инженер
	10	Выбор элементов зарядной цепи	Инженер
	11	Расчет делителя напряжения	Инженер
	12	Расчет емкости делителя на землю	Инженер
	13	Расчет зарядного контура на апериодичность	Инженер
	14	Испытание других объектов	Инженер
Обобщение и оценка результатов	15	Оценка эффективности полученных результатов	Преподаватель
Разработка технической документации и проектирование	16	Разработка конструкции ГИН	Инженер
	17	Разработка общего вида установки	Инженер
	18	Разработка схемы управления ГИН	Инженер
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	20	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

### 3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Основную часть бюджета проекта составляют трудовые затраты, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения работ оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

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

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

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

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

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

### 3.2.3 Разработка графика проведения проектирования

Наиболее наглядным способом разработки графика проведения проектирования является диаграмма Ганта.

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

Чтобы построить график необходимо продолжительность каждого этапа работ перевести их рабочих дней в календарные.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}$$

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:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 118} = \frac{366}{248} = 1,48$$

где:

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

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

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

Таблица 3 – Временные показатели проведения проектирования и исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожг}$ , чел-дни		$T_{pi}$		$T_{ki}$	
	Преподаватель	Инженер	Преподаватель	Инженер	Преподаватель	Инженер	Преподаватель	Инженер	Преподаватель	Инженер
Составление ТЗ	2		5		3		1		1	
Подбор и изучение литературы		4		9		6		6		9
Выбор направления исследований		5		8		6		6		9
Календарное планирование работ по теме	4		6		5		1		1	
Проведение предварительных расчетов и обоснований		5		10		7		7		10
Расчет коэффициента использования разрядной схемы		1		2		1		1		1
Определение параметров объекта испытания		2		3		2		2		3
Расчет основных элементов схемы ГИН		4		5		4		4		6
Расчет шаровых разрядников		1		2		1		1		1
Выбор элементов зарядной цепи		5		9		6		3		4
Расчет делителя напряжения		3		4		3		3		4
Расчет емкости делителя на землю		5		6		5		5		7
Расчет зарядного контура на апериодичность		4		6		5		5		7



Продолжение таблицы 3

Испытание других объектов		5		11		7		4		6
Оценка эффективности полученных результатов	3		5		4		3		4	
Разработка конструкции ГИН		8		12		10		5		7
Разработка общего вида установки		9		16		12		6		9
Разработка схемы управления ГИН		7		12		10		10		15
Составление пояснительной записки		6		10		10		10		15

На основе таблицы 3 строится календарный план-график. В графике отражается продолжительность каждого этапа работы.

Таблица 4 – Календарный план-график проведения проектирования

№	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ кал дн	Продолжительность выполнения работ															
				январь			февраль			март			апрель			май			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление ТЗ	Преподаватель	7	■															
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	9	▨															
3	Выбор направления исследований	Инженер	9		▨														
4	Календарное планирование работ по теме	Преподаватель	9			■													
5	Проведение предварительных расчетов и обоснований	Инженер	10			▨													
6	Расчет коэффициента использования разрядной схемы	Инженер	1				▨												
7	Определение параметров объекта испытания	Инженер	3				▨												
8	Расчет основных элементов схемы ГИН	Инженер	6				▨												
9	Расчет шаровых разрядников	Инженер	1					▨											
10	Выбор элементов зарядной цепи	Инженер	4						▨										
11	Расчет делителя напряжения	Инженер	4							▨									



Таблица 5 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
Шариковая ручка	Штука	1	50	50
Распечатка	Лист А4	90	1,5	135
Распечатка	Лист А3	3	5	15
<b>Итого</b>				<b>200</b>

### 3.3.1 Амортизация

Расчет амортизационных отчислений, на полное восстановление основных средств, производится по нормативам амортизации утвержденном в установленном действующим законодательством порядке, и определенным в зависимости от балансовой стоимости оборудования. Для проектирования необходимы следующее оборудование:

- компьютер - 41000 рублей

$$I_{ам} = \frac{T_{ис}}{T_{г}} \cdot \frac{1}{T_{сл}} \cdot C_{обор} = \frac{8}{12} \cdot \frac{1}{3} \cdot 41000 = 9111 \text{ рублей}$$

где  $T_{ис}$ . - время использования оборудования = 8 месяца;

$T_{г}$  - количество использования в год = 12 месяцев;

$C_{обор}$ . - стоимость оборудования;

$T_{сл}$ . - срок службы оборудования = 3 года

### 3.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

Трудовые затраты составляют основную часть бюджета научного исследования. Ниже рассчитана заработная плата участников исследования, а именно преподавателя и инженера. Расходы на заработную плату определяются исходя из объема выполненных работ, а также из системы окладов и тарифных ставок.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

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

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

$M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

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

Месячный должностной оклад работника:

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

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

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,3

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

Тарифная заработная плата  $Z_{\text{тс}}$  находится из произведения тарифной ставки работника: для инженера – 17000, для преподавателя – 26300.

Для инженера:  $Z_{\text{м}} = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,3) \cdot 1,3 = 35360$

Для руководителя:  $Z_{\text{м}} = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,3) \cdot 1,3 = 54704$

Пример: Средняя заработная плата:

- Инженера:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{35360 \cdot 11,2}{247} = 1603,4$$

- Руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{54704 \cdot 11,2}{247} = 2480,5$$

Таблица 6 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З <sub>тс</sub> , руб.	k <sub>пр</sub>	k <sub>д</sub>	k <sub>р</sub>	З <sub>м</sub> , руб	З <sub>дн</sub> , руб.	T <sub>р</sub> , раб.дн.	З <sub>осн</sub> , руб.
Преподаватель	26300	0,3	0,3	1,3	54704	2480,5	10	24805
Инженер	17000	0,3	0,15	1,3	35360	1603,4	67	107427,8
<b>Итого</b>								132232,8

### 3.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

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.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

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

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 132232,8 = 19835$$

### 3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

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

На 2017 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

$$Z_{\text{внѐб}} = 0,3 \cdot (132232,8 + 19835) = 45620,3.$$

### 3.3.5 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:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{\text{нр}}$$

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

Величина коэффициента накладных расходов равна 16%.

$$Z_{\text{накл}} = 207389,2 \cdot 0,16 = 33182,3$$

### 3.3.6 Формирование бюджета затрат проектирования

Рассчитанная величина затрат проектирования работы является основой для формирования бюджета затрат проекта.

Определение бюджета затрат на проектирование по каждому варианту исполнения приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Бюджет затрат на проектирование

Наименование статьи	Примечание	
	руб.	в %
Материальные затраты НТИ	200	0,04
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	132232,8	54,96
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	19835	8,25
Отчисления во внебюджетные фонды	45620,3	17,13
Амортизация	9111	3,8
Накладные расходы	33182,3	13,8
Бюджет затрат НТИ	240571,5	100

Итого бюджет научного исследования составил 240571,5 рубля. Из них наибольшая доля приходится на затраты по основной заработной плате – 54,96 %.

#### 4 Ресурсоэффективность

Ресурсоэффективность данного проекта определяется при помощи интегрального критерия ресурсоэффективности, который имеет следующий вид:

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

где:  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент проекта;

$b_i$  – бальная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 10.

Таблица 8 – Оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
1. Безопасность	0,27	4
2. Надежность	0,26	5
3. Удобство в эксплуатации (соответствует потребителям требованиям)	0,2	4
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,27	4
Итого:	1,00	

Интегральный показатель ресурсоэффективности для разрабатываемого проекта:

$$I_{pi} = 0,27 \cdot 4 + 0,26 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,27 \cdot 4 = 4,26$$

Проведенная оценка ресурсоэффективности проекта дает достаточно неплохой результат (4,26 из 5), что свидетельствует об эффективности реализации технического проекта. Высокие баллы каждого критерия говорят о том, что разработка была выполнена корректно.

В результате выполнения заданий данного раздела была выполнена оценка конкурентоспособности и выбран поставщик оборудования с наивысшим показателем 3,775. Продолжительность работ в календарных днях для руководителя составила 5 дней, а инженера – 125 дней. Сумма бюджета затрат НИИ составила 240571 рублей. Оценка ресурсоэффективности проекта(4,26) показывает, что данный проект является эффективным для реализации.

Спроектированный ГИН предназначен для лабораторного стенда, который будет использоваться для проведения лабораторных работ по высоковольтным оборудованям.