

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Специализация Высоковольтная электроэнергетика и электротехника

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Проектирование ввода трансформаторного типа наружной установки на класс напряжения 110 кВ</b>

УДК 621.314.222.6:621.315.626

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A8B	Комардин Александр Евгеньевич		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Мытников А.В.	к.т.н., доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Спицына Л.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Черемискина М.С.	-		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		

### 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Код результата	Результат обучения
<b>Р 1</b>	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики</i>
<b>Р 2</b>	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в области <i>электроэнергетики</i> .
<b>Р 3</b>	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики</i> .
<b>Р 4</b>	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
<b>Р 5</b>	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
<b>Р 6</b>	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики</i> .
<b>Р 7</b>	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электроэнергетических объектов и систем</i> .
<b>Р 8</b>	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
<b>Р 9</b>	Уметь проектировать <i>электроэнергетические системы и их компоненты</i> .
<b>Р 10</b>	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
<b>Р 11</b>	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики</i> .
<b>Р 12</b>	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической</i> отрасли, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Специализация Высоковольтная электроэнергетика и электротехника

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ В.В. Шестакова

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
5А8В	Комардину Александру Евгеньевичу

Тема работы:

Проектирование ввода трансформаторного типа наружной установки на класс напряжения 110 кВ
---

Утверждена приказом директора (дата, номер)	29.12.2021 №363-38/С
---	----------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	<b>10.06.2022</b>
--	-------------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(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.).</i></p>	<p>В данной работе необходимо рассчитать и спроектировать высоковольтный ввод трансформаторного типа наружной установки на класс напряжения 110 кВ с параметрами:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Номинальное напряжение 110 кВ;</li> <li>• Номинальный ток 1800 А;</li> <li>• Механическая изгибающая нагрузка 360 кГс;</li> </ul> <p>Рабочая среда – «воздух – масло».</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования;</i></p>	<p>Основная задача, которая ставится в данной работе – проектирование высоковольтного ввода с БМИ изоляцией для силового маслонаполненного трансформатора на 110 кВ. В ходе выполнения данной задачи проводится</p>

<i>содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	краткое изучение устройства высоковольтных вводов различных типов, производится электрический, механический расчеты, расчеты тепловой устойчивости ввода, а также его конструирование.
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Чертеж высоковольтного ввода. Спецификация.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Социальная ответственность	Черемискина Мария Сергеевна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицына Любовь Юрьевна

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	11.01.2022
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мытников А.В.	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А8В	Комардин А.Е.		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5А8В	Комардину Александру Евгеньевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОЭЭ</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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

<b>1.</b> Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска.
<b>2.</b> Нормы и нормативы расходования ресурсов	30% премии; 20% надбавки; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент.
<b>3.</b> Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентоспособности технического решения с позиции ресурсоэффективности
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Гантта. Формирование бюджета затрат на проектирование: - материальные затраты; - заработная плата; - отчисления на социальные цели; - амортизационные отчисления; - накладные расходы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение эффективности проекта (оценка результатов)

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

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШБИП	Спицына Любовь Юрьевна	К.Э.Н.		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А8В	Комардин Александр Евгеньевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
5A8B		Комардин Александр Евгеньевич	
<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа энергетики</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Электроэнергетики и электротехники</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	<b>13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»</b>

Тема ВКР:

<b>Проектирование ввода трансформаторного типа наружной установки на класс напряжения 110 кВ</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при эксплуатации</li> </ul>	<p>Объект исследования: Трансформаторный ввод. Область применения электроэнергетика, транспорт, связь, телевидение, радиовещание Рабочая зона: лаборатория Размеры помещения 18м<sup>2</sup> Количество и наименование оборудования рабочей зоны персональный компьютер Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне Работа за ПЭВМ</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации</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>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя</li> <li>- СП 2.4.3648-20 «Санитарноэпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи».</li> <li>- Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197 – ФЗ (ред. От 25.02.2022).</li> </ul>
<p><b>2. Производственная безопасность при эксплуатации :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> </ul>	<p>Вредные факторы: - Отклонение показателей микроклимата - Превышение уровня шума - Повышенный уровень электромагнитного излучения - Недостаточная освещенность рабочей зоны - Перенапряжение зрительных анализаторов - Статические физические нагрузки</p> <p>Опасные факторы: - Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека. Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: – боты или галоши, имеющие прорезиненную основу; – брезентовые либо резиновые перчатки; – специальные защитные костюмы; – заземляющая штанга; – защитный диэлектрический экран.</p>
<p><b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</b></p>	<p>Воздействие на литосферу: бытовые отходы. Отходы, образующиеся при поломке ПЭВМ.</p>

	<p>Воздействие на гидросферу: утечка масляных элементов, мусор</p> <p>Воздействие на атмосферу: электромагнитные излучения, ультразвуковые излучения</p>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</b>	<p>Возможные ЧС пожар, землетрясение, прорыв канализации или труб водоснабжения</p> <p>Наиболее типичная ЧС пожар</p>
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
	<b>10.02.2022</b>

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Черемискина М.С.	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А8В	Комардин А.Е.		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования: бакалавр

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Период выполнения: осенний / весенний семестр 2021 /2022 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	<b>10.06.2022</b>
--	-------------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.03.2022	Электрический расчет	20
22.03.2022	Механический расчет	10
25.04.2022	Расчет термической стойкости	35
12.05.2022	Выбор маслорасширителя	5
22.05.2022	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	10
28.05.2022	Социальная ответственность	20
		100

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мытников А.В.	к.т.н., доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		



## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 97 листов, 21 рисунок, 30 таблиц, 20 используемых источника, 3 приложения.

Ключевые слова: высоковольтный ввод, трансформаторный ввод, бумажно- пленочная изоляция, токоведущий стержень, фарфоровая крышка, масло расширитель.

Объектом исследования является высоковольтный ввод трансформаторного типа наружной установки на класс напряжения 110 кВ.

Цель работы: выполнить расчет и сконструировать высоковольтный ввод с БМИ изоляцией для силового маслонаполненного трансформатора на 110 кВ.

В ходе проведения исследования были получены расчеты электрические, механические, расчет ввода, а также сконструирован высоковольтный ввод с БМИ изоляцией для силового маслонаполненного трансформатора на 110 кВ.

Основные характеристики:

- Номинальное напряжение 110 кВ;
- Номинальный ток 1800 А;
- Механическая изгибающая нагрузка 360 кГс;

Расчет производился при помощи следующих программных продуктов: Microsoft Word, Excel, MathCAD, КОМПАС.

## Сокращения

ЭИК – электроизоляционные конструкции

МБВ – маслобарьерные вводы

ББВ – бумажно-бакелитовые вводы

БЭВ – бумажно-эпоксидные вводы

БМВ – бумажно-масляные вводы

RIP – resin impregnated paper

ТВС – токоведущий стержень

БПИ – бумажно-пленочная изоляция

БМИ – бумажно-масляная изоляция

ПИН – прибор для измерения напряжения

НТИ – научно-техническое исследование

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина

ЛЭП – линия электропередачи

## Оглавление

Введение.....	14
1 Литературный обзор	
1.1 Классификация и конструкция высоковольтных вводов.....	15
1.2 Маркировка вводов.....	21
2 Расчёт высоковольтного ввода.....	23
2.1 Электрический расчёт ввода.....	23
2.1.1 Выбор расчётных напряжений и напряженностей.....	24
2.1.2 Выбор токоведущего стержня.....	25
2.1.3 Расчёт внутренней изоляции ввода и геометрических размеров конденсаторных обкладок.....	27
2.1.4 Расчёт и конструирование фарфоровой покрывки.....	35
2.2 Механический расчёт.....	37
2.3 Расчёт тепловой устойчивости конденсаторного ввода.....	38
2.4 Выбор маслорасширителя.....	49
2.5 Конструирование конденсаторного ввода.....	50
2.6 Результат проведенного исследования.....	51
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	52
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	52
3.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	53
3.1.3 Технология QuaD.....	57
3.1.4 SWOT-анализ.....	59
3.1.5 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.....	62
3.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	63
3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	63
3.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	66

3.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	70
3.3.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	70
3.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы.....	71
3.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	74
3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	74
3.3.5 Накладные расходы.....	75
3.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	76
3.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности исследования.....	77
3.5 Вывод.....	77
4 Социальная ответственность.....	79
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	79
4.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.....	79
4.1.2 Организационные вопросы обеспечения безопасности.....	80
4.2 Производственная безопасность.....	81
4.3 Анализ вредных и опасных факторов.....	83
4.3.1 Повышенный уровень электромагнитных излучений.....	83
4.3.2 Отклонение показателей микроклимата.....	85
4.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	86
4.5 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека.....	87
4.6 Обоснование мероприятий по защите от действия опасных и вредных факторов.....	88
4.7 Экологическая безопасность.....	88
4.7.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.....	88
4.7.2 Мероприятия по защите окружающей среды.....	89
4.8 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	89

4.8.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при исследовании объекта.....	89
4.8.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка плана действий в случае ЧС.....	90
4.9 Вывод.....	91
Заключение.....	92
Список используемой литературы.....	93
Приложение А.....	95
Приложение Б.....	96
Приложение В.....	97

## Введение

Одним из самых главных и важных элементов трансформаторов являются высоковольтные вводы, выступающие в качестве соединения провода с обмоткой трансформатора, также шиной внешней электрической цепи. Обеспечением ввода служит механическое крепление токоведущего проводника и нужный уровень электрической прочности конструкции.

Высоковольтные вводы по виду внутренней изоляции разделяют на следующие виды: вводы с твердой изоляцией (бумага, покрытая смолой- твердая изоляция конденсаторного типа и бумага, пропитанная компаундом); вводы с масляно-бумажной изоляцией; Вводы с элегазовой изоляцией; вводы с маслобарьерной изоляцией.

Что касается конструкций вводов реальных, к которым в частности относятся вводы высших классов напряжения, то такие конструкции отличаются сложностью изготовления. Сложность конструкций реальных вводов обуславливается увеличением количества ряда узлов, которые необходимы для поддержания технико-экономических показателей, а также высоких показателей эксплуатационных качеств.

Стоит отметить, что в осевом и радиальном направлениях электрическое поле простейших конструкций очень неоднородно, что и является основным отличием и особенностью вводов. Это объясняет причину невозможности создания вводов на напряжения 110 кВ и более, с необходимыми габаритами и многочисленными параметрами, не применяя особых мер по регулированию электрического поля.

Неоднородное поле влияет и на то, что электрическая прочность изоляционного тела становится наименьшей на окрестностях краев втулки. В этих же местах при низком напряжении в воздухе можно заметить коронный разряд, ни в коем случае недопустимый при рабочем напряжении. Причиной недопустимости служит тот факт, что коронный разряд- это мощный источник радиопомех, в итоге чего оказывается непоправимо разрушающее влияние на тело ввода. [1]

## 1. Литературный обзор

Вводами называются проходные изоляторы на напряжения 35 кВ и выше со сложной внутренней изоляцией. Вводы служат для изолирования и механического крепления токоведущих частей, проходящих через стены распределительных устройств, перегородки, сквозь завешенные крышки различных аппаратов и т.д. Поэтому проходные изоляторы должны иметь высокую электрическую и механическую прочность и обеспечивать пропускание тока заданной величины. Они предназначены для работы при температурах окружающего воздуха от -45 до +40°С, а в тропическом исполнении – при температурах от -10 до +55°С.

Ввод представляет собой конструкцию с внешней и внутренней изоляцией. К внешней изоляции относятся промежутки в атмосферном воздухе вдоль поверхности изоляционного тела, к внутренней – участки в самом изоляционном теле. Конструкция внутренней изоляции ввода оказывает большое влияние и на характеристики его внешней изоляции. [2]

### 1.1 Классификация и конструкция высоковольтных вводов

При напряжении выше 35 кВ применяются вводы с маслбарьерной, бумажно–бакелитовой и конденсаторной бумажно–масляной внутренней изоляцией. Наружной изоляцией таких вводов являются фарфоровые покрышки, в которые помещаются остовы вводов. В последнее время для комплектных распределительных устройств выпускаются вводы с элегазовой изоляцией на напряжение 110 – 220 кВ.

**Маслбарьерные вводы (МБВ).** МБВ являются устаревшими конструкциями и применяются в энергетических установках на напряжение до 400 кВ. Конструктивное исполнение вводов с маслбарьерной изоляцией показано на рис. 3.16. Основной изоляцией таких вводов является трансформаторное масло, в котором между токоведущим стержнем и фланцем расположены бумажно–бакелитовые цилиндры с конденсаторными обкладками из медной или алюминиевой фольги толщиной 0,01 – 0,015 мм, с бумажным покрытием толщиной до 3 – 5 мм. Применение конденсаторных обкладок позволяет выравнивать поле

как в радиальном, так и в аксиальном направлениях при соответствующем законе изменения длины и радиуса обкладок. Изоляционные цилиндры крепятся с помощью дистанционных распорок из дерева (красного бука) или пластмассы. Трансформаторное масло, циркулируя в кольцевых зазорах (толщиной 2 – 5 см) между барьерами, охлаждает токоведущий стержень и способствует отводу тепла от изоляционных перегородок.

Ввод снабжен расширителем и указателем уровня масла. МБВ отличаются высокой надежностью, но имеют большие габариты из-за относительно больших масляных зазоров между цилиндрическими барьерами [1]. В зависимости от толщины масляного канала и размеров конденсаторных обкладок допустимые напряженности в масле не должна превышать 40 – 65 кВ/см.

Диаметр токоведущего стержня (трубы) и его сечение должны обеспечить необходимую величину максимальной напряженности на стержне ( $E_{\max} \leq E_{\text{доп}}$ ) и пропускание тока заданной величины с учетом допустимой плотности тока.

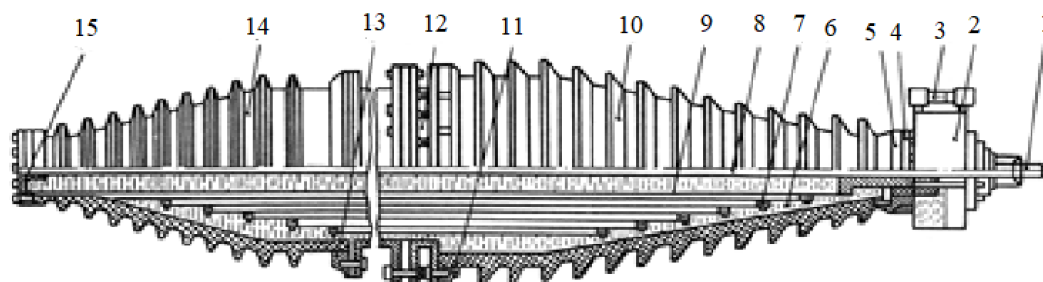


Рисунок 1= Маслобарьерный ввод на напряжение 220 кВ:

- 1 – токовый зажим; 2 – расширитель; 3- указатель уровня масла; 4 – поддон;
- 5 – фланец; 6 – трансформаторное масло; 7– распорки дистанционные; 8 – токоведущий стержень; 9 – бумажно-бакелитовые цилиндры; 10 – крышка верхняя; 11 – фланец; 12 – соединительная втулка; 13 – фланец; 14 – крышка нижняя; 15 – стакан

**Вводы конденсаторного типа.** Применение во вводах маслобарьерной изоляции дало возможность повысить их электрическую прочность, но габариты вводов остаются значительными, что существенно затрудняет их использование при напряжении 220 – 500 кВ и выше. Поэтому на высших классах напряжения применяются технически более совершенные вводы конденсаторного типа, к



которым относятся бумажно-бакелитовые и бумажно – масляные конденсаторные вводы. В качестве основной изоляции в бумажно – бакелитовых вводах (вводы с твердой изоляцией) используется бакелизированная бумага толщиной 0,06 мм, которая наматывается на токоведущий стержень или трубу в горячем состоянии при температуре до 160 ° С.

Между слоями бумаги через определенные промежутки закладываются уравнивающие обкладки из алюминиевой фольги. Полученная втулка запекается, концы остова обтачиваются на станке с целью придания изолятору определенной формы (чаще конусной), а затем поверхность изоляционного остова покрывается влагостойким лаком (рисунок 2). Такие вводы отличаются простотой изготовления, компактностью, высокой механической прочностью.

К недостаткам их следует отнести гигроскопичность изоляции, вследствие чего она может отсыревать из-за растрескивания лака, низкую трекингостойкость, возможность теплового пробоя.

Бумажно-бакелитовые изоляторы для наружной установки помещают в фарфоровые покрышки, а пространство между покрышкой и изоляционным остовом заливают специальной мастикой. Если нижняя часть ввода работает в масле (трансформаторы, масляные выключатели), то нижняя фарфоровая покрышка отсутствует. В этом случае нижняя часть изолятора короче наружной [1-3].

Московский завод «Изолятор» выпускает вводы с бумажно-бакелитовой изоляцией до 500 кВ (*РВР – изоляция*). В последние годы это предприятие выпускает бакелитовые вводы типа ГТПВ – 35/1000 с полимерной внешней изоляцией (рисунок 3). Внешняя изоляция (покрышка) изготовлена из трекингостойкой силиконовой резины в грязестойком исполнении. Покрышка на

35 кВ имеет 7 тонких ребер. Тонкие гибкие ребра позволяют выдерживать большие ударные механические нагрузки.

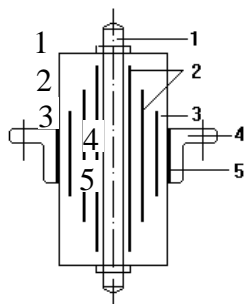


Рисунок 2- Конденсаторный бумажно-бакелитовый ввод для внутренней установки: 1 – токоведущий стержень; 2 - конденсаторные обкладки; 3 – бакелизированная бумага; 4 - металлический фланец;

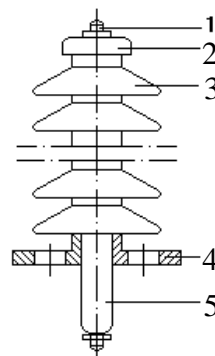


Рисунок 3. Бакелитовый ввод с полимерной крышкой: 1 – токоведущий стержень; 2- верхний колпачок; 3 – крышка из силиконовой резины (верхняя часть изолятора); 4 - металлический фланец; 5 - выводной терминал.

В настоящее время широкое распространение получили наиболее совершенные вводы с конденсаторной бумажно – масляной изоляцией. В данной конструкции ввода на токоведущий стержень (трубу) или на бумажно – бакелитовый цилиндр наматывается кабельная бумага марки КВ-120 шириной 100 – 150 мм по способу спиральной намотки с положительным перекрытием. Через определенные промежутки между слоями бумаги закладываются конденсаторные обкладки из перфорированной алюминиевой фольги толщиной 0,01 мм.

При более совершенной технологии применяется намотка в два слоя бумаги: одного – чистого, а другого – с печатным металлическим покрытием. Затем производится тщательная вакуумная сушка остова ввода и последующая пропитка дегазированным трансформаторным маслом. Изоляционный остов ввода помещается в фарфоровые чехлы (верхняя и нижняя крышки), залитые трансформаторным маслом. Для соединения верхней и нижней частей ввода используется металлическая соединительная втулка.

В верхней части ввода (рисунок 4) к фланцу крепится маслорасширитель с указателем уровня масла, который может снабжаться гидрозатвором для предотвращения увлажнения масла.

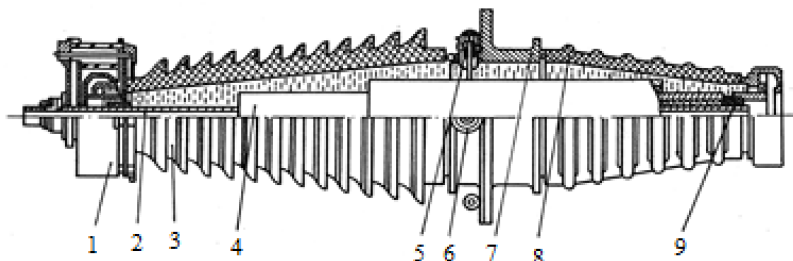


Рисунок 4- Конденсаторный бумажно-масляный ввод типа БМТ- 110/630:

- 1 – расширитель с гидрозатвором; 2 – токоведущая труба; 3 – верхняя крышка; 4 – изоляционный остов; 5 – измерительный ввод; 6 – маслоотборник; 7 – соединительная втулка; 8 – нижняя крышка; 9 – стакан

Современные конструкции вводов выполняются герметичными, что позволяет избежать увлажнения и окисления масла атмосферным воздухом. Такие вводы имеют встроенные (вводы 110 – 220 кВ) или выносные (вводы 220 кВ и выше) баки давления (компенсаторы), которые соединяются медным трубопроводом длиной 3 – 6 м с внутренней полостью ввода через соединительную втулку [4,5].

В последние годы завод «Изолятор» освоил выпуск новых трансформаторных вводов на 330-500 кВ с компенсатором давления в верхней части ввода.

Некоторые маслonaполненные вводы снабжены приспособлением для измерения напряжения (ПИН). Для присоединения ПИН используются две уравнивательные обкладки сердечника – последняя заземленная и предпоследняя, которая присоединяется к выводу ПИН. Эти две обкладки ввода образуют низковольтное плечо емкостного делителя. В современных конструкциях вводов вывод для присоединения ПИН может быть использован для измерения  $tg \delta$  и емкости ввода. Для контроля качества масла вводы имеют маслоотборное устройство, расположенное на соединительной втулке.

Фарфоровые покрышки ввода конструируются таким образом, чтобы получить наибольшее значение разрядных напряжений в эксплуатационных условиях.

Изготовление вводов с бумажно-масляной изоляцией является сложным процессом и требует большой тщательности. ЗАО «АББ Электроизолит Бушинг» освоило выпуск высоковольтных вводов (по швейцарской технологии) с твердой RIP – изоляцией на  $U = 500$  кВ,  $I_n = 800 - 2500$  А (абсолютно сухие) с заполнением компаундом типа «Микагель».

RIP - изоляция изготовлена на основе бумаги, пропитанной в вакууме эпоксидным компаундом. Такая изоляция сочетает в себе высокие диэлектрические характеристики, присущие бумажно – масляной изоляции, и удобство в эксплуатации, характерное для твердой изоляции. RIP – изоляция обладает высокой термической и механической стойкостью. Недостатком вводов с RIP – изоляцией является их достаточно высокая стоимость по сравнению с бумажно – масляными вводами (OIP – изоляция).

**Вводы с элегазовой изоляцией.** Применение высокопрочных газов в качестве электрической изоляции позволяет существенно упростить конструкцию вводов и уменьшить их массу и габариты. Газ, используемый в качестве внутренней изоляции, должен обладать не только высокой электрической прочностью, но и достаточной термической стойкостью, малой токсичностью, стойкостью к электрическим разрядам, низкой температурой сжижения, приемлемой стоимостью [4].

Наиболее полно указанным требованиям отвечает элегаз ( $\text{SF}_6$  – шестифтористая сера). Элегаз прочнее воздуха в 2,3 – 2,6 раза и не разлагается по действием воды, кислот, щелочей. По своей инертности элегаз близок к химически чистому азоту. Для снижения стоимости изделий с элегазовой изоляцией в ряде случаев используют смесь элегаза с азотом. Элегаз рекомендуется применять только в однородном или слабонеоднородном электрических полях, т.к. при ионизационных процессах наблюдается разложение элегаза с образованием весьма опасных необратимых соединений.

Отечественной промышленностью разработаны вводы с элегазовой изоляцией, предназначенные для установок в КРУ (рисунок 5) на напряжение 110 – 220 кВ.

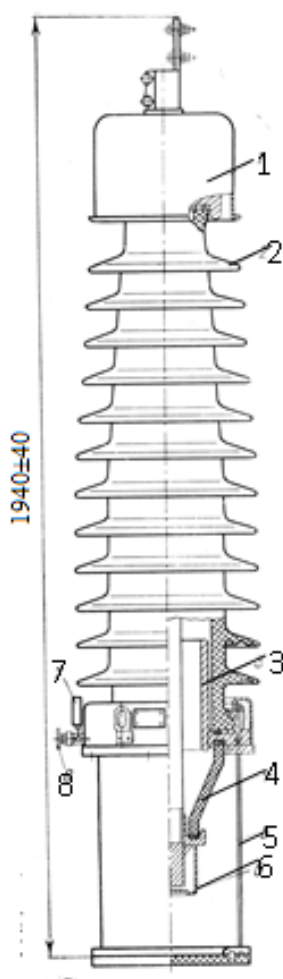


Рисунок 5- Газонаполненный ввод на напряжение 110 кВ:

- 1 – защитный кожух;  
2 – верхняя фарфоровая крышка; 3 - экран внутренний; 4 – нижняя изолирующая крышка; 5 – защитный кожух; 6 – экран наружный; 7 – манометр; 8 - вентиль

## 1.2 Маркировка вводов

Структура маркировки высоковольтных вводов:[5]

Пример условного наименования ввода:

Ввод ГМТПА-45-330/2000 У1 ГОСТ 10693-81

Ввод герметичного исполнения, с бумажно-масляной изоляцией, предназначенный для трансформатора, имеющий специальный вывод и категорию А внешней изоляции, с предельным углом установки к вертикали 45°, на напряжение 330 кВ, номинальный ток 2000 А, вида климатического исполнения У1.

По типу внешней изоляции в соответствии с ГОСТ 9920-89 вводы различаются в зависимости от степени загрязнения окружающей среды

Таблица 1- Вводы

Во вводах, разработанных до 01.07.1990г.	Во вводах, разработанных после 01.07.1990г.
А – нормальная внешняя изоляция	I – лёгкая степень загрязнения
Б – усиленная внешняя изоляция	II – средняя степень загрязнения
В – особо усиленная внешняя изоляция	III – сильная степень загрязнения
	IV – очень сильная степень загрязнения

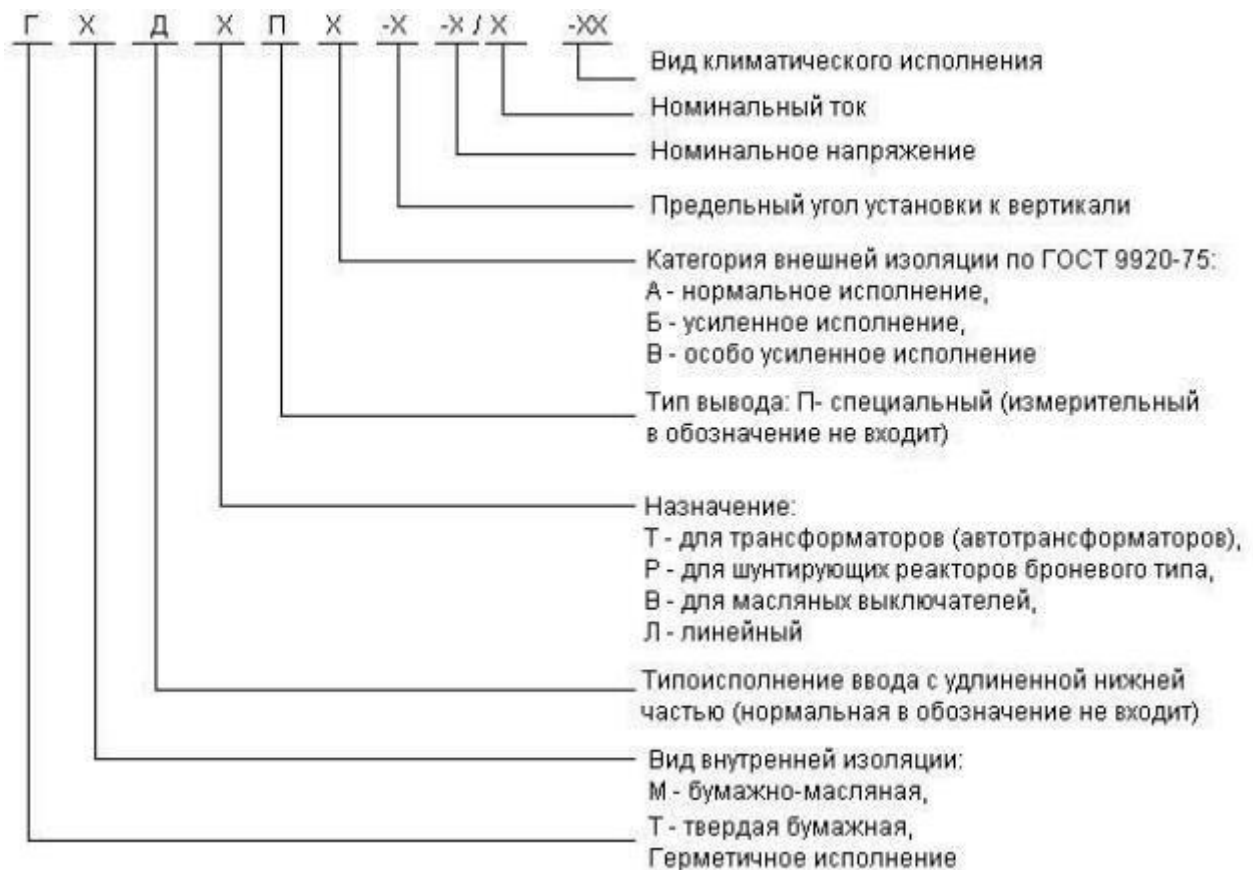


Рисунок 6 – Условные обозначения вводов

## 2. Расчёт высоковольтного ввода

### 2.1 Электрический расчёт ввода

Электрический расчет вводов с конденсаторной бумажно-масляной изоляцией заключается в выборе радиальной напряженности поля в изоляции и определении геометрических размеров выравнивающих обкладок.

Основой расчета вводов является максимальный расчетный градиент  $E_{r \max}$ .

Наибольший рабочий градиент  $E_{r \text{раб}} \leq 5 \text{ кВ} / \text{мм}$ . Принимаем

$$E_{r \text{раб}} = 2,5 \text{ кВ} / \text{мм}.$$

Наибольшее рабочее напряжение систем с глухим заземлением нейтрали:

$$U_{\text{раб}} = \frac{(1,1 \div 1,15)U_H}{\sqrt{3}} = \frac{1,15 \cdot 110}{\sqrt{3}} = 73,034 \text{ кВ},$$

где  $U_H$  – номинальное напряжение ввода. Для выполнения условия допустимой расчетной максимальной напряженности, принимаем значение коэффициента 1,2, выходящее за пределы рекомендуемого.

Допустимая расчётная максимальная напряженность при рабочем режиме:

$$[E_{r \max}] = E_{r \text{раб}} \cdot \frac{U_{\text{расч}}}{U_{\text{раб}}} = 2,5 \cdot \frac{324,5}{73,034} = 11,108 \text{ кВ/мм}$$

где напряженность для слабонеоднородного поля и при защищенных краях конденсаторных обкладок при рабочем режиме  $E_{r \max} = 3 - 5 \text{ кВ/мм}$ ;

$$U_{\text{расч}} = 1,1 \cdot U_{\text{схв}} = 1,1 \cdot 295 = 324,5 \text{ кВ},$$

где  $U_{\text{схв}}$  – суховыдерживаемое напряжение при 50 Гц (ГОСТ 1516.1 – 76).

Электрическая прочность изоляционного остова будет достаточна, если максимальная напряженность в изоляции будет меньше допустимой напряженности:

$$E_{r \max} \leq [E_{r \max}];$$

$$3,5 \div 4 \text{ кВ} / \text{мм} \leq 11,108 \text{ кВ} / \text{мм}.$$

Рекомендованные значения допустимой напряженности  $[E_{r \max}] = 9 - 12 \text{ кВ/мм}$ .

Условие выполняется.

## 2.1.1 Выбор расчётных напряжений и напряженностей

Допустимая аксиальная составляющая напряженности электрического поля выбирается из условия отсутствия разряда вдоль уступов изоляционного остова. При этом аксиальная разрядная напряженность вдоль поверхности диэлектрика в воздухе примерно в 2 раза меньше аксиальной разрядной напряженности в масле. Приведенная аксиальная напряженность поля:

$$\frac{1}{E_l} = \frac{1}{E_{lв}} + \frac{1}{E_{lм}} = \frac{1}{4,8} + \frac{1}{8,7} = 0,323 \text{ кВ/см},$$

где аксиальная напряженность в воздухе  $E_{lв} = 4,8 - 5,4 \text{ кВ/см}$ , а в масле  $E_{lм} = 8,7 - 10 \text{ кВ/см}$ . Принимаем  $E_{lв} = 4,8 \text{ кВ/см}$ ,  $E_{lм} = 8,7 \text{ кВ/см}$  и  $E_l = 3,1 \text{ кВ/см}$ .

Сухоразрядное расстояние воздушной части изолятора:

- в сухом состоянии

$$l_{сxp} = \frac{U_{сxp}}{E_{сxp}} = \frac{295}{3,3} = 89,394 \text{ см}$$

где  $E_{сxp} = 3,3 - 4,3 \text{ кВ/см}$ . Принимаем  $E_{сxp} = 3,3 \text{ кВ/см}$ .

- в мокром состоянии

$$l_{мп} = \frac{U_{мв}}{E_{\sigma}} = \frac{215}{2,3} = 93,47 \text{ см}$$

где  $E_{\sigma} = 2,3 - 2,6 \text{ кВ/см}$ . Принимаем  $E_{\sigma} = 2,3 \text{ кВ/см}$ .

- на импульсах для полной волны

$$l_{сxp} = \frac{U_{имп.пол}}{E_{имп}} = \frac{480}{5,2} = 92,308 \text{ см}$$

где  $E_{имп} = 5,2 - 6 \text{ кВ/см}$ . Принимаем  $E_{имп} = 5,2 \text{ кВ/см}$ .

- на импульсах для срезанной волны

$$l_{сxp} = \frac{U_{имп.ср}}{E_{имп}} = \frac{600}{7,4} = 81,081 \text{ см}$$

где  $E_{импср} = 7,4 - 9 \text{ кВ/см}$ . Принимаем  $E_{импср} = 7,4 \text{ кВ/см}$ .

Выбирается наибольшее сухоразрядное расстояние воздушной части изолятора:

$$l_{сxp} = 94 \text{ см}.$$

В первом приближении  $l_{сxp}$  можно приравнять высоте воздушной части ввода:



$$l_{\text{exp}} = H_{\text{фв}} = 94 \text{ см.}$$

Высота масляной части ввода принимается равной половине высоты воздушного конца:

$$H_{\text{фм}} \approx \frac{H_{\text{фв}}}{2} \approx \frac{94}{2} \approx 47 \text{ см.}$$

## 2.1.2 Выбор токоведущего стержня

Радиус токоведущего стержня находим из условия максимума максимальной напряженности поля:

$$r_c = \frac{1,8 \cdot U_{\text{расч}}}{3,6 \cdot E_{r \text{ max}}} = \frac{1,8 \cdot 324,5}{3,6 \cdot 11,108} = 14,606 \text{ мм}$$

где  $E_{r \text{ max}}$  – расчётный максимальный градиент.

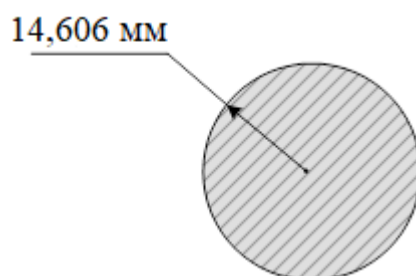


Рисунок 8 – Эскиз ТВС, рассчитанного с учетом  $E_{r \text{ max}}$

Радиус стержня, полученный расчётным путём, необходимо проверить по токовой нагрузке. Проверка производится по допустимой плотности тока  $j_{\text{доп}}$  для токоведущих стержней изоляторов. Исходя из токовой нагрузки радиус токоведущего стержня может быть найден из выражения:

$$I_H = j_{\text{доп}} \cdot \pi \cdot r_c^2;$$

где  $j_{\text{доп}} = 1,0 - 1,5 \text{ А/мм}^2$  – допустимая плотность тока. Принимаем  $j_{\text{доп}} = 1 \text{ А/мм}^2$

Откуда

$$r_1 = \sqrt{\frac{I_H}{\pi \cdot j_{\text{доп}}}} = \sqrt{\frac{2000}{3,14 \cdot 1}} = 25,238 \text{ мм.}$$

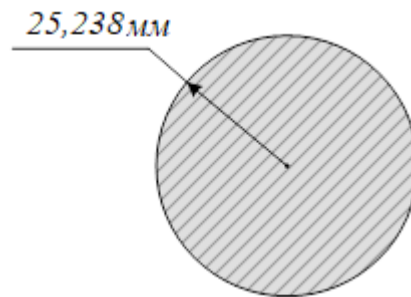


Рисунок 9 – Эскиз ТВС, рассчитанного с учетом  $j_{\text{доп}}$

Из условия минимума максимальной напряженности поля следует, что радиус стержня должен быть не менее 14,606 мм. Таким образом, принимаем в качестве токопровода медную трубу, внешним радиусом 25,238 мм.

Тогда пересчитаем максимальную напряженность в изоляции:

$$E_{r_{\text{max}}} = \frac{1,8 \cdot U_{\text{расч}}}{3,6 \cdot r_c} = \frac{1,8 \cdot 324,5}{3,6 \cdot 25,238} = 6,429 \text{ кВ/мм.}$$

Площадь сечения стержня будет равна:

$$S = \pi \cdot r_c^2 = 3,14 \cdot 25,238^2 = 2000 \text{ мм}^2.$$

Внутренний радиус определится как:

$$S = \pi \cdot r_c^2 - \pi \cdot r_{\text{вн}}^2 = 2000 \text{ мм}^2;$$

$$r_{\text{вн}} = \sqrt{r_c^2 - \frac{S}{\pi}} = 0 \text{ мм.}$$

Таким образом, принимаем в качестве токопровода цельную медную трубу.

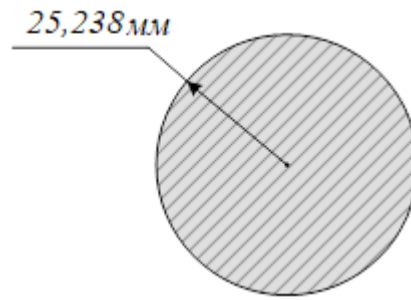


Рисунок 10 – Эскиз выбранного ТВС

### 2.1.3 Расчёт внутренней изоляции ввода и геометрических размеров конденсаторных обкладок

Для определения основных соотношений между аксиальными и радиальными размерами ввода мысленно сдвинем конденсаторные обкладки так, чтобы их нижние концы находились на одном уровне (рисунок 9).

Для обеспечения наибольшего эффекта выравнивания поля емкость слоёв между уравнительными обкладками должна быть одинакова:

$$r \cdot l \cdot E_r = const;$$

$$r_c \cdot l_c \cdot E_{rc} = r_\phi \cdot l_\phi \cdot E_{r\phi},$$

где  $r_\phi$  и  $l_\phi$  – радиус и длина фланца,  $r_c$  и  $l_c$  – радиус и длина стержня,  $E_{rc}$  и  $E_{r\phi}$  – радиальный градиент у стержня и у фланца.

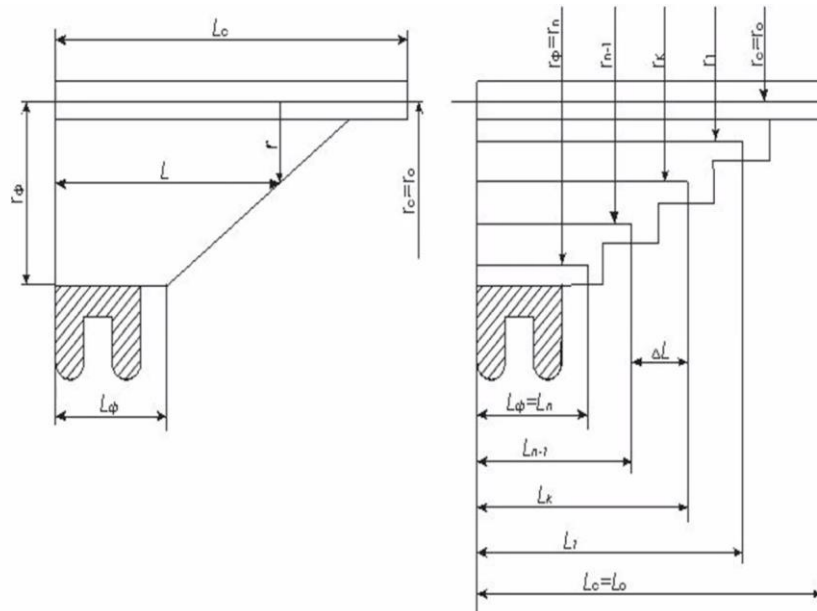


Рисунок 11 – Эскиз для определения основных соотношений между аксиальными и радиальными размерами ввода

Тогда

$$\frac{r_\phi}{r_c} = \frac{l_c \cdot E_{rc}}{l_\phi \cdot E_{r\phi}}$$

На практике обычно принимают  $E_{rc} = E_{r\phi}$ , тогда

$$\frac{r_\phi}{r_c} = \frac{l_c}{l_\phi} = Z.$$

При  $Z = 3,6$  радиальная напряженность имеет минимальное значение.

При  $r_c = 30$  мм, определяем:

$$r_\phi = 3,6 \cdot r_c = 3,6 \cdot 25,238 = 90,857 \text{ мм.}$$

Длина фланца и стержня:

$$l_\phi = \frac{U_{\text{расч}}}{2,6 \cdot E_l} = \frac{324,5}{2,6 \cdot 3,1} = 40,261 \text{ см,}$$

$$l_c = \frac{U_{\text{расч}} \cdot 3,6}{2,6 \cdot E_l} = \frac{324,5 \cdot 3,6}{2,6 \cdot 3,1} = 144,938 \text{ см.}$$

Оптимальное количество уравнивающих обкладок в изоляции:

$$n = 1,82 \cdot 10^{-4} \cdot E_{r\text{max}} \cdot U_{\text{расч}} \cdot \varepsilon = 1,82 \cdot 10^{-4} \cdot 324,5 \cdot 64,29 \cdot 2,891 = 10,976,$$

где  $E_{r \max}$  – расчётная допустимая максимальная напряженность, кВ/см;

$\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость бумажно-масляной изоляции.

Рассчитаем диэлектрическую проницаемость бумажно-масляной изоляции:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_k}{\frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_n} - k_n \cdot \frac{\gamma_\delta}{\gamma_k} \cdot \left( \frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_n} - 1 \right)} = \frac{6,5}{\frac{6,5}{2,2} - 0,8 \cdot \frac{0,7}{1,55} \cdot \left( \frac{6,5}{2,2} - 1 \right)} = 2,891,$$

где  $\varepsilon_k = 6,5$  – диэлектрическая проницаемость клетчатки;

$\varepsilon_n = 2,2$  – диэлектрическая проницаемость пропитывающего состава;

$k_n = (0,8 - 0,95)$  – коэффициент запрессовки. Принимаем  $k_n = 0,8$ ;

$\gamma_\delta = 0,7$  г/см<sup>3</sup> – удельный вес бумаги;

$\gamma_k = 1,55$  г/см<sup>3</sup> – удельный вес клетчатки.

Принимаем число уравнивающих обкладок  $n = 20$  штук. По таблице 2 [1]:

Таблица 2 – Рекомендуемое число обкладок в изоляторе

Номинальное напряжение, кВ	Количество уравнивающих обкладок, n	Количество обкладок	
		Основных, n <sub>осн</sub>	Дополнительных, n <sub>доп</sub>
110	20	20	-

Напряжение, приходящееся на элементарный слой:

$$\Delta U = \frac{U_{\text{расч}}}{n} = \frac{324,5}{20} = 16,225 \text{ кВ},$$

где  $n$  – количество основных конденсаторных обкладок.

При постоянстве аксиальной напряженности, длина уступа верхней (воздушной) части ввода:

$$\Delta l_\varepsilon = \frac{\Delta U}{E_{l_\varepsilon}} = \frac{16,225}{4,8} = 3,38 \text{ см}.$$

Длина воздушной части ввода:

$$l_\varepsilon = n \cdot \Delta l_\varepsilon + l_\phi = 20 \cdot 3,38 + 40,261 = 107,8 \text{ см}.$$

Длина уступа в нижней (масляной) части ввода:

$$\Delta l_{nm} = \frac{\Delta U}{E_{lm}} = \frac{16,225}{8,7} = 1,865 \text{ см.}$$

Длина нижней (масляной) части ввода:

$$l_m = n \cdot \Delta l_{nm} = 20 \cdot 1,865 = 37,299 \text{ см.}$$

Расчётная длина уступа:

$$\Delta l = \Delta l_g + \Delta l_m = \frac{l_c - l_\phi}{n} = \frac{\Delta U}{E_l};$$

$$\Delta l = \frac{l_c - l_\phi}{n} = \frac{144,938 - 40,261}{20} = 5,234 \text{ см};$$

$$\Delta l = \frac{\Delta U}{E_l} = \frac{16,225}{3,1} = 5,234 \text{ см.}$$

Принимаем  $\Delta l = 5,23 \text{ см.}$

Уточненный расчет длины стержня:

$$l_c = l_0 = l_g + l_m = n \cdot \Delta l + l_\phi = 107,86 + 37,299 = 145,2 \text{ см.}$$

Принимаем  $l_c = 145,2 \text{ см.}$

Длины промежуточных конденсаторных обкладок:

$$l_1 = l_c - \Delta l = 145,2 - 5,234 = 139,966 \text{ см};$$

$$l_2 = l_c - 2\Delta l = 145,2 - 2 \cdot 5,234 = 134,732 \text{ см};$$

$$l_k = l_c - k\Delta l = 145,2 - 10 \cdot 5,234 = 92,86 \text{ см};$$

$$l_n = l_c - n\Delta l = 145,2 - 20 \cdot 5,234 = 40,52 \text{ см},$$

где  $k$  – порядковый номер обкладки, считая от стержня.

Расчёт будет удовлетворительным, если:

$$E_{lg} = \frac{U_{расч}}{\sum \Delta l_g} < 5,5 \text{ кВ / см};$$

$$E_{lm} = \frac{U_{расч}}{\sum \Delta l_{nm}} < 12 \text{ кВ / см};$$

$$E_{lg} = \frac{324,5}{20 \cdot 3,38} = 4,8 \text{ кВ / см};$$

$$4,8 \text{ кВ / см} < 5,5 \text{ кВ / см};$$

$$E_{lm} = \frac{U_{расч}}{\sum \Delta l_m} < 12 \text{ кВ / см};$$

$$E_{lm} = \frac{324,5}{20 \cdot 1,865} = 8,7 \text{ кВ / см};$$

$$8,7 \text{ кВ / см} < 12 \text{ кВ / см}.$$

Радиусы промежуточных обкладок определяем из соотношения:

$$\ln \frac{r_k}{r_c} = \ln \frac{r_{k-1}}{r_c} + A \cdot l_k,$$

где

$$A = \frac{\Delta U}{l_1 \cdot r_c \cdot E_{rc}} = \frac{16,225}{139,77 \cdot 23,937 \cdot 6,778} = 7,155 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{см}};$$

где  $E_{rc}$  – максимальная радиальная напряженность на токоведущем стержне.

Радиусы промежуточных обкладок:

$$r_1 = r_0 \cdot e^{A \cdot l_1} = 2,4 \cdot e^{7,145 \cdot 10^{-4} \cdot 139,966} = 2,652 \text{ см};$$

$$r_2 = r_1 \cdot e^{A \cdot l_2} = 2,652 \cdot e^{7,145 \cdot 10^{-4} \cdot 134,732} = 2,92 \text{ см}.$$

Толщина первого слоя:

$$\Delta r_1 = r_1 - r_0 = 2,652 - 2,4 = 0,252 \text{ см}.$$

Емкость слоя между двумя уравнительными обкладками равна:

$$C_1 = \frac{2\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot l_1}{\ln \frac{r_1}{r_0}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,00885 \cdot 10^{-11} \cdot 2,891 \cdot 139,966}{\ln \frac{2,652}{2,4}} = 2,249 \cdot 10^{-9} \text{ Ф},$$

где  $l_k$  – активная длина обкладки;  $\varepsilon_0 = 0,00885 \cdot 10^{-11} \text{ Ф/см}$ .

Емкость на единицу длины первого слоя:

$$C_1' = \frac{C_1}{l_1} = \frac{2,249 \cdot 10^{-9}}{139,966} = 1,607 \cdot 10^{-11} \text{ Ф / см}.$$

После определения длин и радиусов конденсаторных обкладок изолятора необходимо произвести расчёт максимальных и минимальных напряженностей в слое и сравнить их с допустимым радиальным градиентом.

Падение напряжения в первом слое:

$$\Delta U_1 = E_{\max r_k} \cdot r_0 \cdot \ln \frac{r_1}{r_0} = 6,429 \cdot 2,4 \cdot \ln \frac{2,652}{2,4} = 15,406 \text{ кВ} \approx \text{const}.$$

Максимальная радиальная напряженность в первом слое:

$$E_{\max r_1} = \frac{\Delta U_1}{r_0 \cdot \ln \frac{r_1}{r_0}} = \frac{15,406}{2,4 \cdot \ln \frac{2,652}{2,4}} = 64,291 \text{ кВ / см.}$$

Минимальная радиальная напряженность в первом слое:

$$E_{\min r_1} = \frac{\Delta U_1}{r_1 \cdot \ln \frac{r_1}{r_0}} = \frac{15,406}{2,652 \cdot \ln \frac{2,652}{2,4}} = 58,182 \text{ кВ / см.}$$

Расчёты для остальных слоёв рассчитываются аналогично и вводим в таблицу.



Таблица 3 – Результаты расчётов

Номер слоя, К	Толщина слоя, ΔгК, мм	гК-1, мм	гК, мм	Ln(гК/гК-1)	Ск, пкФ	С'к, пкФ/мм	Δук, кВ	Еmax_рк, кВ/мм	Еmin_рк, кВ/мм	Lк, см
1	0,252	2,4	2,652	0,0998453	2,254	16,10	15,406	64,291	58,182	139,966
2	0,268	2,652	2,92	0,0962695	2,250	16,70	15,406	60,343	54,805	134,732
3	0,283	2,92	3,204	0,0928164	2,243	17,32	15,406	56,844	51,805	129,498
4	0,297	3,204	3,501	0,0886486	2,254	18,14	15,406	54,241	49,639	124,264
5	0,311	3,501	3,812	0,0851053	2,249	18,89	15,406	51,706	47,488	119,03
6	0,323	3,812	4,135	0,0813333	2,250	19,77	15,406	49,690	45,808	113,796
7	0,333	4,135	4,468	0,0774536	2,254	20,76	15,406	48,103	44,518	108,562
8	0,342	4,468	4,81	0,0737562	2,253	21,80	15,406	46,750	43,426	103,328
9	0,349	4,81	5,16	0,0702395	2,246	22,89	15,406	45,600	42,507	98,094
10	0,354	5,16	5,513	0,0661724	2,257	24,30	15,406	45,119	42,230	92,86
11	0,356	5,513	5,87	0,0627457	2,246	25,63	15,406	44,537	41,828	87,626
12	0,356	5,87	6,226	0,0588794	2,250	27,31	15,406	44,575	42,026	82,392
13	0,353	6,226	6,578	0,0549967	2,256	29,24	15,406	44,993	42,585	77,158
14	0,347	6,578	6,925	0,0514073	2,250	31,28	15,406	45,559	43,276	71,924
15	0,338	6,925	7,263	0,0476549	2,250	33,74	15,406	46,683	44,511	66,69
16	0,326	7,263	7,589	0,0439069	2,251	36,62	15,406	48,310	46,235	61,456
17	0,311	7,589	7,9	0,0401629	2,251	40,04	15,406	50,545	48,555	56,222
18	0,293	7,9	8,193	0,0364174	2,251	44,15	15,406	53,549	51,634	50,988
19	0,272	8,193	8,466	0,032778	2,245	49,06	15,406	57,367	55,517	45,754
20	0,249	8,466	8,714	0,0288728	2,257	55,69	15,406	63,026	61,233	40,52

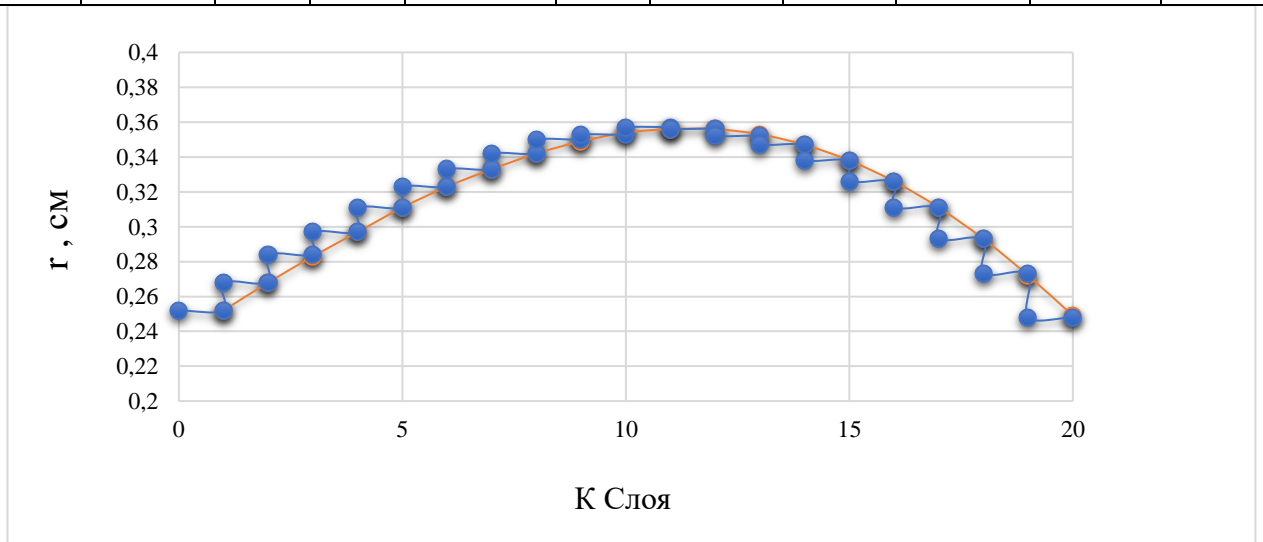


Рисунок 12 – Зависимость толщины слоя от номера слоя

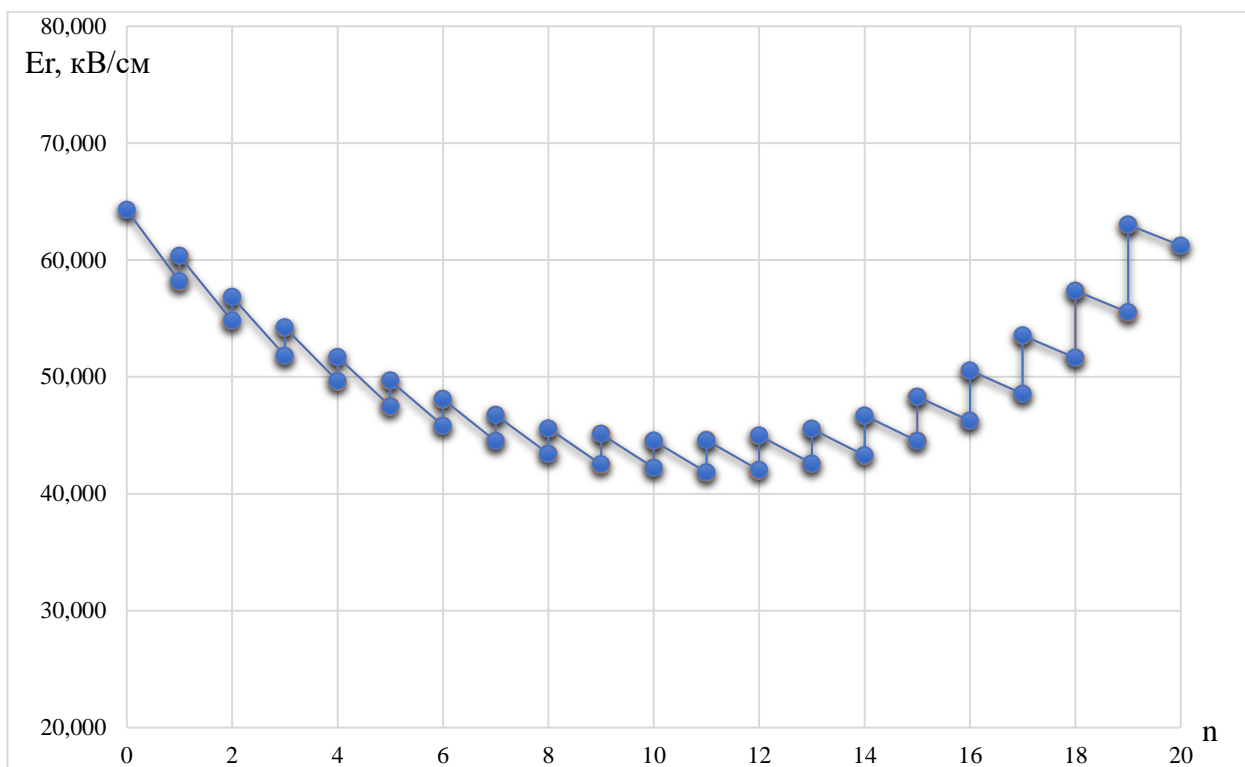


Рисунок 13 – Зависимость радиальных напряженностей в слоях ввода конденсаторного типа

Электрический контакт между трубой и обкладкой осуществляется с помощью гибких проводников. Пространство между токоведущим стержнем и бакелитовым цилиндром образует канал для циркуляции масла.

Для вводов с постоянной аксиальной напряженностью электрического поля:

$$E_{r_c} = E_{r_{\max}} = \frac{U_{\text{расч}} \cdot \left(1 + \frac{l_\phi}{l_c}\right)}{2 \cdot r_c \cdot \ln \frac{l_c}{l_\phi}} = \frac{324,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{3,6}\right)}{2 \cdot 25,238 \cdot \ln 3,6} = 6,401 \text{ кВ} / \text{мм} ,$$

где  $\frac{l_c}{l_\phi} = \frac{r_\phi}{r_c} = 3,6$ .

Средняя радиальная напряженность:

$$E_{r_{cp}} = \frac{U_{\text{расч}}}{r_\phi - r_c} = \frac{U_{\text{расч}}}{r_c \cdot \left(\frac{r_\phi}{r_c} - 1\right)} = \frac{U_{\text{расч}}}{2,6 \cdot r_c} = \frac{324,5}{2,6 \cdot 25,238} = 4,945 \text{ кВ} / \text{мм}.$$

Расчёт считается удовлетворительным, если коэффициент неравномерности поля:

$$K = \frac{E_{r_{\max}}}{E_{r_{cp}}} = 1,3 \Rightarrow \frac{6,401}{4,945} = 1,294.$$

Погрешность составляет:

$$\delta = \frac{1,3 - 1,294}{1,3} \cdot 100 \approx 0,461 \%$$

#### 2.1.4 Расчёт и конструирование фарфоровой покрышки

Фарфоровая покрышка представляет собой полый изолятор цилиндрической или конической формы. Покрышка надевается на изоляционный остов и предохраняет внутреннюю изоляцию ввода от внешних воздействий.

Из конструктивных соображений фарфоровая покрышка должна на 30 – 40 % превышать сумму длин уступов верхней части изоляционного сердечника. Это позволяет улучшить распределение напряжения вдоль поверхности ввода.

Высота покрышки в воздухе (верхняя часть):

$$H_{\text{фа}} = \frac{l_6}{0,75} = \frac{107,865}{0,75} = 143,82 \text{ см.}$$

Высота нижней части покрышки (в масле):

$$H_{\text{фм}} = \frac{l_{\text{им}}}{0,75} = \frac{37,299}{0,75} = 49,732 \text{ см.}$$

Для обеспечения герметичности конструкции ввода в местах соединения покрышки с соединительной втулкой, а также из-за наличия больших статических и динамических нагрузок на ввод, используется бесфланцевый способ крепления покрышки к соединительной втулке.

Внутренний диаметр покрышки у соединительной втулки принимают на 25 – 30 мм больше наружного диаметра изоляционного остова. Зазор между внутренней поверхностью покрышки и остовом обеспечивает циркуляцию масла и облегчает технологию сборки ввода.

Принимаем толщину покрышки 30 мм.

Радиус 20-й конденсаторной обкладки:

$$r_{20} = 87,03 \text{ мм.}$$

Диаметр изоляционного остова:

$$D_{\text{ост}} = 2 \cdot r_{20} = 2 \cdot 87,03 = 174,06 \text{ мм.}$$

С учётом толщины масляного канала 30 мм, между крышкой и остовом, получаем внутренний диаметр крышки:

$$d = D_{ост} + (2 \cdot 20) + (4 \cdot 20) = 174,06 + (2 \cdot 20) + (4 \cdot 20) = 294,06 \text{ мм.}$$

Внешний диаметр фарфоровой крышки:

$$D_1 = d + 2 \cdot h = 294,06 + (2 \cdot 30) = 354,06 \text{ мм.}$$

Учитывая тот факт, что номинальное напряжение ввода 110 кВ, то для увеличения разрядных напряжений нижняя часть фарфоровой крышки (в масле) выполняется с ребрами.

Число ребер в воздушной части ввода:

$$n = 1,5 + 0,065 \cdot U_H = 1,5 + 0,065 \cdot 110 = 8,65;$$

Принимаем  $n = 9$ .

Шаг ребра при нормальных условиях:

$$l = \frac{H_{фв}}{n} = \frac{143,82}{9} = 15,98 \text{ см.}$$

Принимаем  $l = 16 \text{ см}$ .

Вылет ребра:

$$a = 0,5 \cdot l = 0,5 \cdot 16 = 8 \text{ см.}$$

При нормальных условиях эксплуатации  $\frac{a}{l} \leq 0,5$ :

$$\frac{a}{l} = \frac{8}{16} = 0,5;$$

где  $a$  – вылет ребра,  $l$  – шаг ребра.  $0,5 \leq 0,5$  Условие выполняется.

Угол наклона ребра принимается 20 градусов.

Таблица 4 – Размеры фарфоровой крышки

$H_{ф}$	$h$	$l$	$a$	$D$
мм	мм	мм	мм	мм
143,82	30	160	80	354,06

## 2.2 Механический расчёт

Механический расчёт ввода является расчётом на изгиб.

Момент сопротивления опасного сечения:

$$W = 0,1 \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = 0,1 \cdot \frac{35,406^4 - 29,406^4}{35,406} = 2,327 \cdot 10^3 \text{ см}^3.$$

Сечение фарфора:

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (35,406^2 - 29,406^2) = 305,265 \text{ см}^2.$$

Из графика на рисунке определяем минимально допустимое значение прочности фарфора на изгиб.

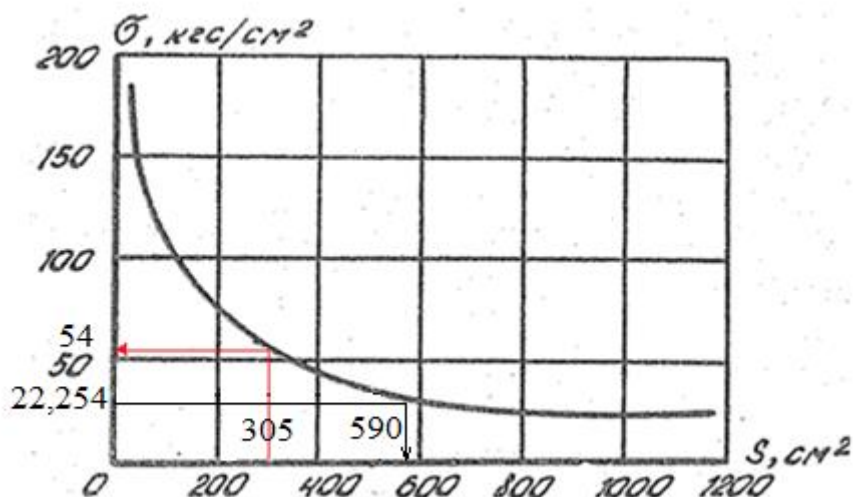


Рисунок 14 – Зависимость механической прочности фарфора от сечения

$$([\sigma_{изг}] = 54 \text{ кгс} / \text{см}^2)$$

Изгибающее напряжение фарфора:

$$\sigma_{изг} = \frac{P_{изг} \cdot H}{W} \leq [\sigma_{изг}],$$

$$\sigma_{изг} = \frac{360 \cdot 143,82}{2,327 \cdot 10^3} = 22,254 \text{ кгс} / \text{см}^2 \leq 54 \text{ кгс} / \text{см}^2,$$

где  $H$  – плечо изгибающего момента ( $H = H_{ф6} = 143,82$  см).

Условие  $\sigma_{изг} \leq [\sigma_{изг}]$  выполняется.

### 2.3 Расчёт тепловой устойчивости конденсаторного ввода

В процессе эксплуатации вводы подвергаются нагреву за счёт тепла, выделяемого в изоляции, токоведущих частях и из-за внешнего источника тепла. В связи с ухудшенным теплоотводом, обусловленным конструктивным исполнением, конденсаторные вводы при расчёте проверяются на возможность теплового пробоя аналитическим или графоаналитическим способами при заданном токе и наибольшем допустимом рабочем напряжении. Температура окружающей среды принимается  $+40^{\circ}\text{C}$ .

Считается, что все тепло, выделяемое в токоведущем стержне и изоляции, уходит только в радиальном направлении. Это даёт некоторый запас по тепловой устойчивости.

При расчёте определяется наличие или отсутствие установившегося теплового режима изоляции.

Для расчёта изоляция ввода делится на ряд концентрических слоёв и определяется количество тепла, подводимого к изоляции изнутри (потери в токоведущем стержне и диэлектрические потери), и количество тепла, которое может быть отведено в окружающую атмосферу.

При расчёте задаются рядом значений температуры стержня. При этом значения задаваемых произвольно температур должны быть близки к реально возможным температурам стержня. Далее для каждого выбранного значения температуры стержня рассчитывается прохождение теплового потока в радиальном направлении на единицу длины стержня в единицу времени.

При расчёте принимают, что значение  $tg\delta$  изоляционного материала во всех точках данного слоя одинаково и соответствует максимальной температуре данного слоя изоляции. Температура первого слоя изоляции приравнивается к температуре стержня.

При этом значения задаваемых произвольно температур должны быть близки к реально возможным температурам токоведущей трубы (стержня), в диапазоне:  $60-110^{\circ}\text{C}$ .

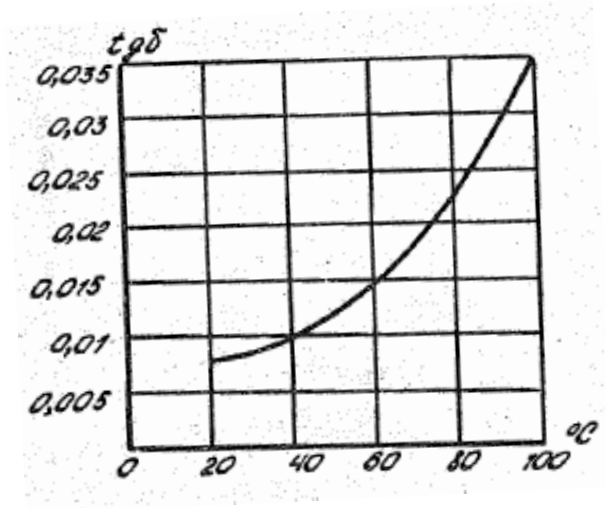


Рисунок 15 – Зависимость  $\operatorname{tg}\delta$  от температуры для бумажно-масляной изоляции

Данная зависимость может быть представлена экспоненциальной функцией:

$$\operatorname{tg}\delta = \operatorname{tg}\delta_0 \cdot e^{a(t-t_0)},$$

где  $\operatorname{tg}\delta_0 = 0,006$  при  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ ,  $a = 0,0186$ .

По предварительным расчетам при  $\operatorname{tg}\delta_0 = 0,006$  отсутствует тепловое равновесие, т.е. есть возможность теплового пробоя. Для повышения тепловой устойчивости изолятора необходимо уменьшить выделение тепла внутри изолятора. Это достигается улучшением качества изоляции, а именно уменьшением  $\operatorname{tg}\delta_0$  за счет пропитки изоляции минеральным маслом повышенной очистки. Поэтому выбираем  $\operatorname{tg}\delta_0 = 0,004$  при  $t = 20^\circ\text{C}$ .

Омическое сопротивление стержня длиной 1 м при температуре  $20^\circ\text{C}$ :

$$R_{20} = \frac{\rho_{20}}{S} = \frac{0,0175}{2000} = 8,75 \cdot 10^{-6} \text{ Ом/м},$$

где  $\rho_{20}$  – удельное объёмное сопротивление для меди при  $20^\circ\text{C}$ ;  $S$  – сечение стержня,  $\text{мм}^2$ .

Потери мощности в токоведущем стержне:

$$P_c = I_H^2 \cdot R_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (t_c - 20)] = 1800^2 \cdot 8,75 \cdot 10^{-6} [1 + 0,0039(60 - 20)] = 40,46 \text{ Вт/м},$$

где  $I_H$  – номинальный ток в стержне, А;  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления для меди,  $1/^\circ\text{C}$ ;  $t_c$  – расчётное значение температуры стержня.

Тангенс угла диэлектрических потерь в изоляции первого слоя при максимальной температуре слоя  $t = t_c$ :

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \delta_0 \cdot e^{a(t-t_0)} = 0,004 \cdot e^{0,0186(60-20)} = 0,0084.$$

Рабочее напряжение, приходящееся на первый слой изоляции:

$$U_1 = \frac{69,589 \cdot 10^3}{20} = 3,493 \text{ кВ}.$$

Потери в изоляции первого слоя:

$$P_{ul} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_1 \cdot U_1^2 \cdot \operatorname{tg} \delta_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1,607 \cdot 10^{-9} \cdot (3493)^2 \cdot 0,0084 = 0,052 \text{ Вт/м},$$

где  $f$  – частота, Гц;  $C_1$  – ёмкость первого слоя изоляции на единицу длины, Ф/м.

Суммарные потери в стержне и в первом слое:

$$P_1 = P_c + P_{ul} = 40,46 + 0,052 = 40,512 \text{ Вт/м}.$$

Тепловое сопротивление первого слоя с радиусом  $r_1$  на единицу длину:

$$R_{t1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_\delta} \cdot \ln \frac{r_1}{r_c} = \frac{1}{2 \pi \cdot 0,25} \ln \frac{2,652}{2,586} = 0,016 \frac{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}},$$

где  $\lambda_\delta$  – коэффициент теплопроводности бумажно-масляной изоляции.

Принимаем  $\lambda_\delta = 0,25 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$ .

Перепад температуры в первом слое изоляции:

$$\Delta t_1 = P_1 \cdot R_{t1} = 40,512 \cdot 0,016 = 0,653 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температура первой обкладки с радиусом  $r_1$ :

$$t_1 = t_c - \Delta t_1 = 60 - 0,653 = 59,347 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Расчеты выполняем для всего диапазона температур и сводим в таблицы:

Таблица 5 – Тепловой расчет при  $t_c = 60^\circ\text{C}$ ,  $P_c = 40,46 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$ .

№	$\operatorname{tg} \delta_k$	$P_{ul}$ , Вт/м	$P_i$ , Вт/м	$R_{ti}$ , м · C/Вт	$\Delta t_k$ , °C	$t_k$ , °C
1	0,0084	0,052	40,512	0,016	0,650	59,350
2	0,0083	0,053	40,565	0,061	2,487	56,862
3	0,0079	0,053	40,618	0,059	2,401	54,461
4	0,0076	0,053	40,671	0,056	2,296	52,165



5	0,0073	0,053	40,723	0,054	2,207	49,957
6	0,0070	0,053	40,776	0,052	2,112	47,845
7	0,0067	0,053	40,829	0,049	2,014	45,830
8	0,0065	0,054	40,883	0,047	1,921	43,910
9	0,0062	0,055	40,938	0,045	1,832	42,078
10	0,0060	0,056	40,994	0,042	1,728	40,350
11	0,0058	0,057	41,052	0,040	1,641	38,710
12	0,0057	0,059	41,111	0,038	1,542	37,168
13	0,0055	0,062	41,173	0,035	1,442	35,726
14	0,0054	0,064	41,237	0,033	1,350	34,376
15	0,0052	0,068	41,304	0,030	1,254	33,122
16	0,0051	0,072	41,376	0,028	1,157	31,965
17	0,0050	0,077	41,453	0,026	1,060	30,904
18	0,0049	0,083	41,535	0,023	0,963	29,941
19	0,0048	0,090	41,626	0,021	0,869	29,072
20	0,0047	0,101	41,727	0,018	0,767	28,304

Таблица 6 – Тепловой расчет при  $t_c = 70^\circ\text{C}$ ,  $P_c = 41,825 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$ .

№	$\text{tg}\delta_k$	$P_{ui}$ , Вт/м	$P_i$ , Вт/м	$R_{ti}$ , м · C/Вт	$\Delta t_k$ , °C	$t_k$ , °C
1	0,0101	0,063	41,888	0,016	0,672	69,328
2	0,0100	0,064	41,952	0,061	2,572	66,755
3	0,0095	0,063	42,015	0,059	2,484	64,271
4	0,0091	0,063	42,078	0,056	2,376	61,895
5	0,0087	0,063	42,141	0,054	2,284	59,611
6	0,0084	0,063	42,205	0,052	2,186	57,425
7	0,0080	0,064	42,268	0,049	2,085	55,339

8	0,0077	0,064	42,333	0,047	1,989	53,351
9	0,0074	0,065	42,398	0,045	1,897	51,454
10	0,0072	0,067	42,465	0,042	1,790	49,664
11	0,0069	0,068	42,533	0,040	1,700	47,964
12	0,0067	0,070	42,603	0,038	1,598	46,366
13	0,0065	0,073	42,677	0,035	1,495	44,872
14	0,0064	0,076	42,753	0,033	1,400	43,472
15	0,0062	0,080	42,833	0,030	1,300	42,172
16	0,0060	0,085	42,917	0,028	1,200	40,971
17	0,0059	0,091	43,008	0,026	1,100	39,871
18	0,0058	0,098	43,106	0,023	1,000	38,871
19	0,0057	0,107	43,213	0,021	0,902	37,969
20	0,0056	0,119	43,332	0,018	0,797	37,172

Таблица 7 – Тепловой расчет при  $t_c = 80^\circ\text{C}$ ,  $P_c = 43,19 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$ ,

№	$\text{tg}\delta_k$	$P_{ui}$ , Вт/м	$P_i$ , Вт/м	$R_{ti}$ , м · C/Вт	$\Delta t_k, ^\circ\text{C}$	$t_k, ^\circ\text{C}$
1	0,0122	0,075	43,265	0,065	0,694	79,306
2	0,0121	0,077	43,342	0,061	2,658	76,648
3	0,0115	0,076	43,419	0,059	2,567	74,081
4	0,0109	0,076	43,495	0,057	2,456	71,625
5	0,0104	0,076	43,570	0,054	2,362	69,263
6	0,0100	0,076	43,646	0,052	2,261	67,002
7	0,0096	0,076	43,722	0,049	2,157	64,845
8	0,0092	0,077	43,799	0,047	2,058	62,788
9	0,0089	0,078	43,877	0,045	1,963	60,825
10	0,0085	0,080	43,956	0,042	1,853	58,972
11	0,0083	0,081	44,037	0,040	1,760	57,212

12	0,0080	0,084	44,121	0,037	1,655	55,557
13	0,0077	0,087	44,208	0,035	1,549	54,009
14	0,0075	0,090	44,298	0,033	1,450	52,558
15	0,0073	0,095	44,393	0,030	1,347	51,211
16	0,0071	0,100	44,493	0,028	1,244	49,967
17	0,0070	0,107	44,600	0,026	1,141	48,826
18	0,0068	0,116	44,716	0,023	1,037	47,788
19	0,0067	0,126	44,842	0,021	0,936	46,852
20	0,0066	0,141	44,982	0,018	0,827	46,025

Таблица 8 – Тепловой расчет при  $t_c = 90^\circ\text{C}$ ,  $P_c = 44,555 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$ ,

№	$\text{tg}\delta_k$	$P_{ui}$ , Вт/м	$P_i$ , Вт/м	$R_{ti}$ , м · C/Вт	$\Delta t_k, ^\circ\text{C}$	$t_k, ^\circ\text{C}$
1	0,0147	0,091	44,646	0,016	0,717	89,283
2	0,0145	0,093	44,739	0,061	2,743	86,540
3	0,0138	0,092	44,830	0,059	2,650	83,890
4	0,0131	0,091	44,921	0,056	2,536	81,353
5	0,0125	0,091	45,012	0,054	2,440	78,913
6	0,0120	0,091	45,102	0,052	2,337	76,577
7	0,0115	0,091	45,194	0,049	2,230	74,347
8	0,0110	0,092	45,285	0,047	2,127	72,220
9	0,0106	0,093	45,378	0,045	2,030	70,190
10	0,0102	0,095	45,473	0,042	1,917	68,273
11	0,0098	0,096	45,569	0,040	1,821	66,452
12	0,0095	0,099	45,668	0,038	1,713	64,739
13	0,0092	0,103	45,771	0,035	1,603	63,136
14	0,0089	0,107	45,878	0,033	1,502	61,634
15	0,0087	0,112	45,990	0,030	1,396	60,238
16	0,0085	0,119	46,109	0,028	1,289	58,948
17	0,0083	0,127	46,235	0,026	1,183	57,765
18	0,0081	0,137	46,372	0,023	1,076	56,690
19	0,0079	0,149	46,521	0,021	0,971	55,719
20	0,0078	0,166	46,687	0,018	0,859	54,860

Таблица 9 – Тепловой расчет при  $t_c = 100^\circ\text{C}$ ,  $P_c = 45,92 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$ ,

№	$\text{tg}\delta_k$	$P_{ui}$ , Вт/м	$P_i$ , Вт/м	$R_{ti}$ , м · C/Вт	$\Delta t_k, ^\circ\text{C}$	$t_k, ^\circ\text{C}$
1	0,0177	0,109	46,029	0,016	0,739	99,261
2	0,0175	0,112	46,141	0,061	2,829	96,432
3	0,0166	0,110	46,251	0,059	2,734	93,698
4	0,0158	0,109	46,360	0,056	2,618	91,080
5	0,0150	0,109	46,469	0,054	2,519	88,561
6	0,0143	0,108	46,577	0,052	2,413	86,148
7	0,0137	0,109	46,686	0,049	2,303	83,845
8	0,0131	0,110	46,796	0,047	2,198	81,646
9	0,0126	0,110	46,906	0,045	2,099	79,548
10	0,0121	0,113	47,019	0,042	1,982	77,566
11	0,0117	0,115	47,133	0,040	1,884	75,682
12	0,0113	0,118	47,251	0,038	1,772	73,910
13	0,0109	0,122	47,373	0,035	1,659	72,251
14	0,0106	0,127	47,500	0,033	1,555	70,696
15	0,0103	0,133	47,633	0,030	1,446	69,250
16	0,0100	0,140	47,773	0,028	1,336	67,914
17	0,0098	0,150	47,923	0,026	1,226	66,688
18	0,0095	0,161	48,084	0,023	1,115	65,572
19	0,0093	0,175	48,259	0,021	1,008	64,565
20	0,0092	0,195	48,455	0,018	0,891	63,674

Таблица 10 – Тепловой расчет при  $t_c = 110^\circ\text{C}$ ,  $P_c = 47,285 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$ ,

№	$\text{tg}\delta_k$	$P_{ui}$ , Вт/м	$P_i$ , Вт/м	$R_{ti}$ , м · C/Вт	$\Delta t_k, ^\circ\text{C}$	$t_k, ^\circ\text{C}$
1	0,0213	0,132	47,417	0,016	0,761	109,239
2	0,0210	0,135	47,551	0,061	2,916	106,323
3	0,0199	0,132	47,683	0,059	2,819	103,504
4	0,0189	0,131	47,815	0,056	2,700	100,804
5	0,0180	0,130	47,945	0,054	2,599	98,205
6	0,0171	0,130	48,075	0,052	2,490	95,715
7	0,0164	0,130	48,205	0,049	2,378	93,337
8	0,0156	0,131	48,335	0,047	2,271	91,066
9	0,0150	0,132	48,467	0,045	2,168	88,898
10	0,0144	0,134	48,601	0,042	2,048	86,849
11	0,0139	0,136	48,737	0,040	1,948	84,901
12	0,0134	0,140	48,877	0,038	1,833	83,068
13	0,0129	0,145	49,022	0,035	1,717	81,351
14	0,0125	0,150	49,172	0,033	1,610	79,741
15	0,0122	0,157	49,329	0,030	1,497	78,244
16	0,0118	0,166	49,495	0,028	1,384	76,860
17	0,0115	0,177	49,671	0,026	1,271	75,589
18	0,0112	0,190	49,861	0,023	1,157	74,432
19	0,0110	0,207	50,068	0,021	1,045	73,387
20	0,0108	0,230	50,299	0,018	0,925	72,462

Внутренний и внешний радиус фарфоровой покрышки соответственно:

$$r_{\phi 1} = \frac{d}{2} = \frac{294,06}{2} = 147,03 \text{ мм} = 0,147 \text{ м},$$

$$r_{\phi 2} = \frac{D_2}{2} = \frac{354,06}{2} = 177,03 \text{ мм} = 0,177 \text{ м}.$$

Тепловое сопротивление масляного канала на единицу длины:

$$R_{tM} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_M} \cdot \ln \frac{r_{\phi 1}}{r_{i0}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,20} \ln \frac{0,147}{0,087} = 0,418 \text{ Ом} / \text{ м};$$

Тепловое сопротивление фарфора на единицу длины:

$$R_{t\phi} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{\phi}} \cdot \ln \frac{r_{\phi 2}}{r_{\phi 1}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,6} \ln \frac{0,177}{0,147} = 0,018 \text{ Ом} / \text{ м},$$

где  $T_0$  – температура окружающей среды, °С.

Сопротивление, учитывающее теплоотдачу с поверхности фарфора в окружающую среду на единицу длины:

$$R_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \alpha_t \cdot r_{\phi 2}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 21 \cdot 0,177} = 0,043 \text{ Ом} / \text{ м},$$

где  $\alpha_t$  – коэффициент теплоотдачи от изолятора в воздух.

Количество тепла, отводимого в единицу времени от наружной поверхности остова:

$$Q_{oms,60} = \frac{t_{60} - T_0}{R_{tM} + R_{t\phi} + R_0} = \frac{28,304 - 40}{0,418 + 0,018 + 0,043} = -24,427 \text{ Вт} / \text{ м}.$$

Расчёты для других температур выполняются аналогично.

Таблица 11 – Расчетные данные

$t_c, ^\circ\text{C}$	$t_n, ^\circ\text{C}$	$P_n, \text{Вт/м}$	$Q_{\text{отв}}, \text{Вт/м}$
60	28,304	41,727	-24,427
70	37,172	43,332	-5,906
80	46,025	44,982	12,583
90	54,860	46,687	31,035
100	63,674	48,455	49,443
110	72,462	50,299	67,797

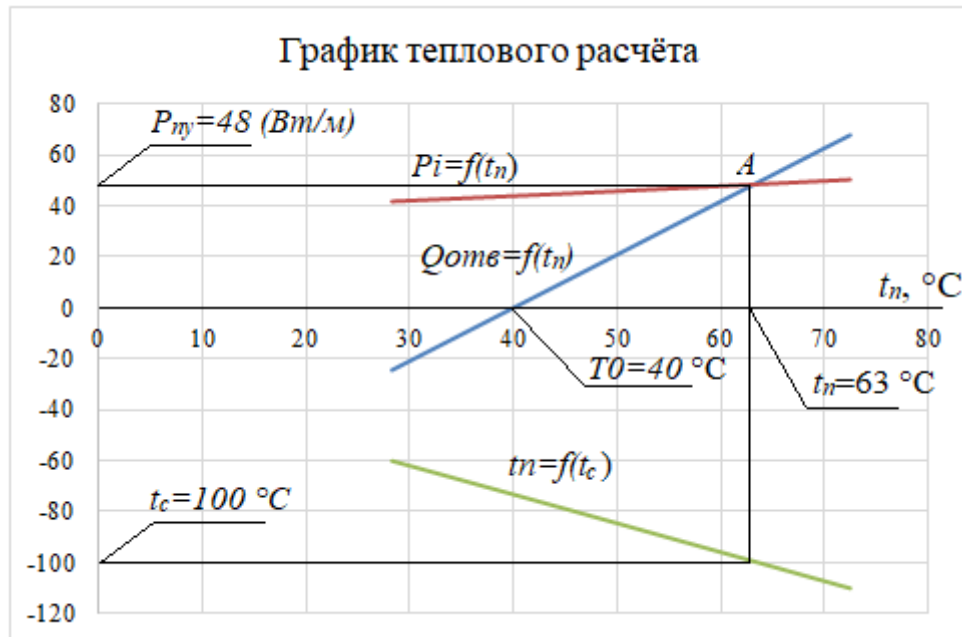


Рисунок 16 – Определение тепловой устойчивости ввода

Температура устойчивого теплового равновесия:

$$t_y = 63 ^\circ\text{C};$$

Суммарные потери в изоляторе при устойчивой работе ввода:

$$P_{ny} = 48 \text{ Вт/м};$$

Температура стержня, при которой возможна устойчивая работа ввода:

$$t_{cy} = 100 ^\circ\text{C}.$$

По данным зависимостям можно заключить о наличии устойчивого теплового равновесия, что означает, что есть температура стержня, при которой  $Q_{\text{омс}} = P_n$ , следовательно электрический расчет был произведен верно.



## 2.4 Выбор маслорасширителя

Конструкция ввода выполняется герметичной, что позволяет избежать увлажнения и окисления масла атмосферным воздухом. Такие вводы имеют выносные баки давления (компенсаторы), которые соединяются медным трубопроводом длиной 3 - 6 м с внутренней полостью ввода. В баке давления помещены пустотелые коробки цилиндрической формы (сильфоны), заполненные азотом под давлением 0,025 МПа (0,25 кгс/см) при  $t = 20^{\circ}\text{C}$ . Компенсатор ввода на 110 кВ имеет 16 сильфонов.

При расширении масла во вводе от нагревания часть его по трубопроводу переместится в бак давления (сильфоны сожмутся). При охлаждении масла во вводе объем его уменьшится, и масло из компенсатора под давлением азота в расширяющихся сильфонах будет перетекать во ввод. Количество масла, которое может перейти из ввода в компенсатор и обратно, для вводов на 110 кВ составляет 16 - 17 л. Герметичные вводы не имеют расширителей с гидравлическими затворами, т.к. роль их выполняют баки давления (компенсаторы).

В нашем случае маслорасширитель будем использовать выносной, для соединения маслорасширителя и внутренней полости ввода используем медную трубку длиной 3 метра.

Полученную конструкцию маслорасширителя приводим на Рисунке 17.

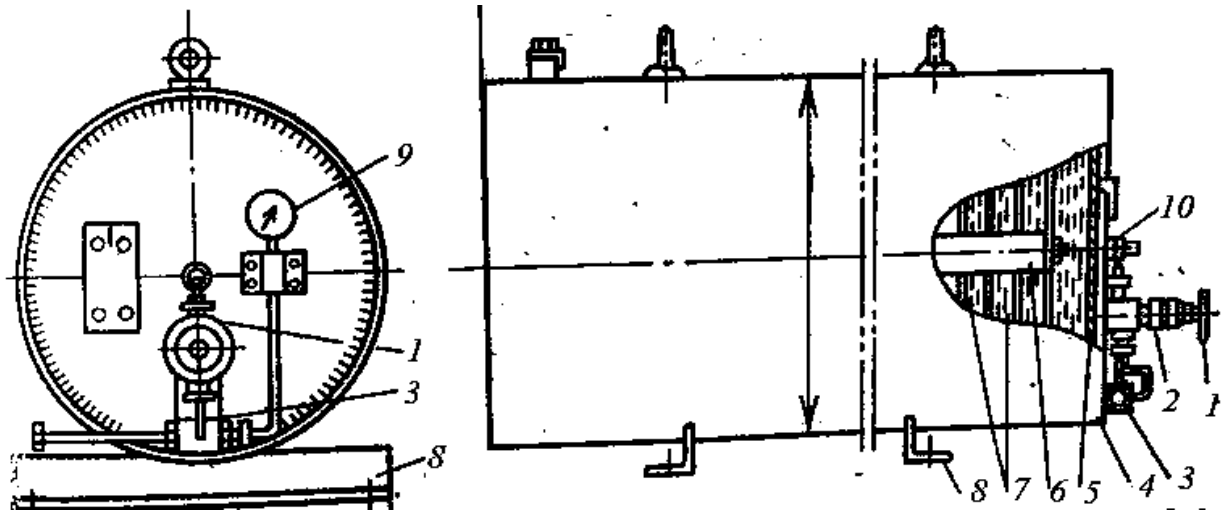


Рисунок 17 – Маслорасширитель

- 1 – маховик; 2 – вентиль; 3 – переходник; 4 – корпус бака; 5 – крышка;  
 6 – направляющая планка; 7 – сифоны; 8 – опоры; 9 – манометр;  
 10 – патрубок.

## 2.5 Конструирование конденсаторного ввода

У конденсаторного ввода высокого напряжения в целях отбора напряжения и контроля состояния внутренней изоляции будет установлен измерительный вывод для подсоединения устройства ПИН (рисунок 18)

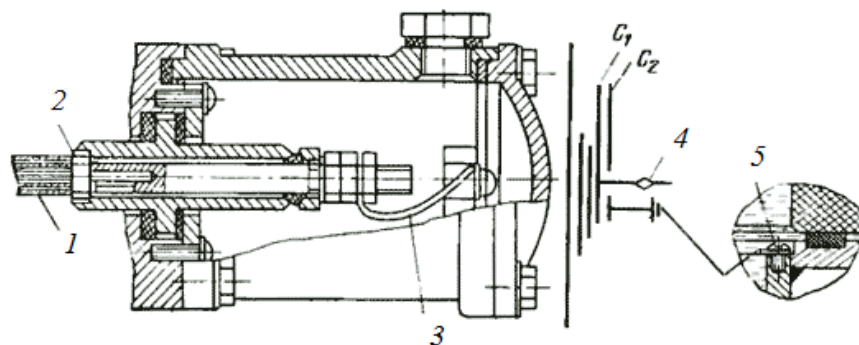


Рисунок 18 – Коробка ПИН маслонаполненного ввода: 1 – Провод от уравнивающей обкладки; 2 – стопорная гайка; 3 – элемент заземления; 4 – вывод для измерения напряжения; 5 – винт внутреннего заземления последней обкладки ввода

Для контроля состояния масла предусмотрено маслоотборное отверстие, подробное изображение представлено на рисунке 19.

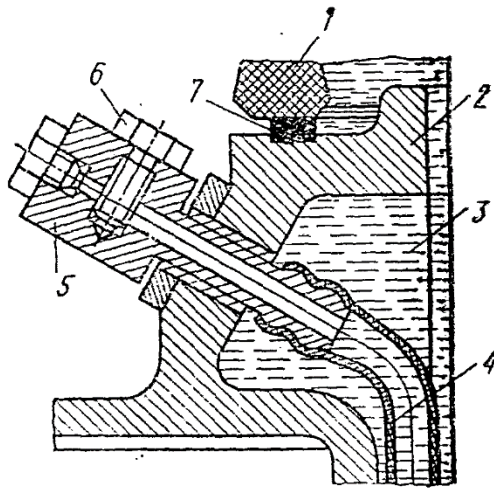


Рисунок 19 – Маслоотборное устройство ввода: 1 – фарфоровая крышка; 2 – соединительная втулка; 3 – изоляционное масло; 4 – поливинилхлоридная трубка; 5 – вывод маслоотбора; 6 – пробка; 7 – резиновая прокладка.

## 2.6 Результат проведенного исследования

В ходе выполнения данной части ВКР был произведен расчет высоковольтного ввода напряжения 110 кВ.

В электрическом расчете были найдены: сухоразрядное расстояние, радиус токоведущего стержня, который равен 25,238 мм, рассчитана бумажно-масляная изоляция, а именно длины ее обкладок, их толщина, емкости и радиальные напряженности в слоях изоляции и рассчитали размеры фарфоровой крышки.

Во второй части работы в результате механического расчета была рассчитана прочность, выбранной конструкции ввода, дальше была выполнена проверка по допустимым параметрам, параметры ввода входят в допустимые значения.

В третьей части работы был произведен расчет тепловой устойчивости ввода, рассчитаны температуры обкладок при различных возможных температурах стержня, а именно близких к реальным, была найдена температура стержня, при которой возможна устойчивая работа ввода, она равна  $t_{cy} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В четвертой части были выбраны маслоотборное устройство и измерительный вывод на устройство ПИН.

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

В рамках данного раздела выпускной квалификационной работы (ВКР) необходимо провести оценку коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения данного проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Будет проведено планирование и формирование бюджета научных исследований, а также определим ресурсную эффективность проводимого исследования. Объектом исследования трансформаторный ввод на напряжение 110 кВ, используемый для изоляции и механической фиксации токоведущих частей, проход через стены, перегородки распределительного щита, заземленные крышки для различного оборудования и т.д.

#### **3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

##### **3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

В результате анализа потенциальных потребителей результатов разработок рассмотрен целевой рынок и проведено его сегментирование. Определены основные критерии сегментирования. Источник заряд высоковольтного ввода имеет выходное напряжение, значительно превышающее напряжение, требуемое для работы оборудования общего пользования, что говорит о невозможности его использования в частных домашних целях. Напряжение такого высокого уровня используется для работы промышленных установок. Таким образом, целевым рынком для разработанного источника заряда конденсатора, в основном, являются научно-исследовательские организации и промышленные предприятия. Исходя из данных, представленных на карте сегментирования рынка производства и использования источников питания, можно сделать вывод, что основные потребители относятся к промышленной

отрасли. Несмотря на эти данные, для реализации и внедрения устройства имеется большой потенциал, так как данное устройство имеет высокую надёжность, высокий КПД, хорошее качество выходного напряжения за счёт снижения его пульсации

Таблица 12 – Карта сегментирования рынка

	Для чего используется		
	Накачка лазера	Высоковольтные ЛЭП	Электрическая очистка жидкостей
Научно – исследовательские центры			
Промышленные предприятия			
Физические лица			

- Сегмент освоен
- Сегмент освоен слабо
- Сегмент не освоен или информация не найдена

### 3.1.2 Анализ конкурентных технических решений

В рамках данного раздела ВКР необходимо провести оценку коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения данного проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, а также планирование работ и формирование бюджета научного исследования. Кроме того, необходимо определить интегральный показатель эффективности проводимого исследования.

Анализ конкурентных технических решений необходим в связи с постоянной подвижностью рынка, появлением новых усовершенствованных разработок. Такой анализ так же позволяет увидеть новые коррективы, которые можно внести в научное исследование, чтобы сделать его успешнее как в техническом, так и в экономическом плане.

Данный анализ проводится с помощью оценочной карты, для чего необходимо отобрать несколько конкурентных товаров и разработок. В ходе проведения анализа важно рассмотреть и объективно оценить сильные и слабые стороны конкурентных разработок.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

$B_i$  – балл i-го показателя.

В настоящее время существует множество типов конструкций вводов, имеющих различные конструктивные и эксплуатационные особенности. Для проведения анализа были выбраны такие конкурентные разработки как вводы с бумажно-бакелитовой (ББИ) и маслобарьерной изоляцией (МБИ). Для сравнения были преведены вводы компании «Пан-Энерго»

Оценочная карта проведенного анализа представлена в таблице 13:

Таблица 13 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{\phi}$ БМИ	$B_{к1}$ ББИ	$B_{к2}$ МБИ	$K_{\phi}$ БМИ	$K_{к1}$ ББИ	$K_{к2}$ МБИ
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
Надежность работы	0,081	4	4	4	0,323	0,323	0,323

Габаритные размеры	0,065	4	4	3	0,258	0,258	0,194
Электрическая прочность изоляции	0,081	5	5	3	0,403	0,403	0,242
Равномерность распределения ЭП	0,065	5	4	4	0,323	0,258	0,258
Гигроскопичность изоляции	0,049	4	2	3	0,197	0,098	0,148
Механическая прочность	0,082	4	4	5	0,328	0,328	0,410
Трекингостойкость	0,082	4	3	3	0,328	0,246	0,246
Простота изготовления	0,049	4	4	5	0,197	0,197	0,246
Пожаробезопасность	0,082	4	4	4	0,328	0,328	0,328
Эффективность системы охлаждения	0,082	5	4	5	0,410	0,328	0,410
Простота обслуживания	0,066	3	3	5	0,197	0,197	0,328
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
Цена	0,066	5	4	3	0,328	0,262	0,197
Предполагаемый срок эксплуатации	0,066	5	4	4	0,328	0,262	0,262
Затраты на послепродажное обслуживание	0,049	4	4	4	0,197	0,197	0,197

Финансирование научной разработки	0,049	3	4	1	0,148	0,197	0,049
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>63</b>	<b>57</b>	<b>56</b>	<b>4,290</b>	<b>3,881</b>	<b>3,836</b>



По результатам проведения анализа можно сказать о том, что в данный момент проектируемая разработка, а именно конденсаторный ввод с бумажно-масляной изоляцией, является наиболее конкурентоспособной. Однако, не смотря на широкое распространение таких вводов, следует учесть факт, что эксплуатация маслonaполненных вводов всегда была связана с потенциальной опасностью пробоя ввода, из-за возможной утечки масла, и последующего пожара. Поэтому сейчас существует тенденция ухода от трансформаторного масла, где это является возможным.

### **3.1.3. Технология QuaD**

Другой метод оценки перспективности проекта это технология QuaD. Она представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

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

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

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

Таблица 14 - Оценочная карта качества и перспективности разработки по технологии QuaD

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	
<b>Показатели оценки качества разработки</b>					
Надежность работы	0,091	90	100	0,9	0,082
Габаритные размеры	0,073	70	100	0,7	0,051
Уровень материалоемкости разработки	0,073	65	100	0,65	0,047
Технические характеристики	0,091	95	100	0,95	0,086
Ремонтопригодность	0,091	75	100	0,75	0,068
Простота изготовления	0,073	50	100	0,5	0,036
Пожаробезопасность	0,091	50	100	0,5	0,045
Простота обслуживания	0,073	60	100	0,75	0,055
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>					
Цена	0,073	75	100	0,75	0,055
Предполагаемый срок эксплуатации	0,073	90	100	0,9	0,065
Затраты на послепродажное обслуживание	0,055	65	100	0,65	0,035
Финансирование научной разработки	0,073	60	100	0,6	0,044
Конкурентоспособность продукта	0,073	70	100	0,7	0,051
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>915</b>	<b>1300</b>		<b>0.72</b>

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i,$$

где  $P_{cp}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

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

$B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

Значение  $P_{cp}$  позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя  $P_{cp}$  получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

По результатам оценки качества и перспективности значения показателя  $P_{cp}$  получилось равным 71, что говорит о том, что перспективность спроектированного ввода выше среднего значения, а значит необходимо инвестировать средства в данную разработку и определять пути ее дальнейшего улучшения.

#### **3.1.4 SWOT-анализ**

SWOT-анализ – метод планирования, который заключается в том, чтобы выявить факторы внутренней и внешней среды организации, и делении их на 4-ре категории: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы). SWOT анализ проводится в несколько этапов. Первый – описание сильных и слабых сторон проекта, а также обнаружение возможностей и угроз для реализации проекта. Матрица SWOT представлена в таблице 4

Таблица 15 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны:</p> <p>C1. Минимальный вред окружающей среде</p> <p>C2. Оборудование высокого качества</p> <p>C3. Большой срок службы;</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1. Необходимость в большом помещении.</p> <p>Сл2. Большой срок поставок комплектующего</p> <p>Сл3. Требуется опыт работы и знания по эксплуатации вводов;</p>
<p>Возможности:</p> <p>V1. Привлечение новых энергопредприятий, в связи с большим спектром услуг по испытанию оборудования.</p> <p>V2. Замена более дорогостоящего и устаревшего оборудования(комплектующего);</p> <p>V3. Повышение спроса</p>	<p>За счет установления стоимости испытания оборудования ниже стоимости испытания другой компании, привлечение большей части предприятий. Новое оборудование позволит увеличить спрос, т.к. новое оборудование более точное и надежное.</p>	<p>Выкуп помещения, либо долгосрочная аренда. Для сохранности энергооборудования потребуется время для обучения персонала пользования вводов.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Возможная, дополнительная государственная сертификация;</p> <p>У2. Экономическая ситуация в стране, способствующая замедлению замены высоковольтного оборудования;</p> <p>У3. Отсутствие финансирования</p>	<p>Удовлетворение желаний потребителя может привести к дополнительной государственной сертификации, по которой шкаф может получить дополнительные средства на совершенствование старых технологий. Обладая долгим сроком службы, новым оборудованием и оптимальными ценами на испытания, установка конкурентоспособна.</p>	<p>Увеличение цены на оборудование возможно при нестабильной экономической обстановке в стране.</p>

Второй этап – обнаружение соответствий сильных и слабых сторон разработанного проекта условиям окружающей среды. Этап нужен для

выявления необходимости стратегических изменений (таблица 4). Знак «+» - сильное соответствие сильных сторон возможностям, «-» - слабое соответствие, «0» - в случае сомнений.

Таблица 16 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		C1	C2	C3
	B1	+	+	+
	B2	0	+	0
	B3	+	+	+
Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		СЛ 1	СЛ 2	СЛ 3
	B1	+	-	-
	B2	-	-	-
	B3	+	+	+
Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		C1	C2	C3
	У1	-	-	-
	У2	-	-	-
	У3	-	-	-
Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		СЛ 1	СЛ 2	СЛ 3
	У1	+	+	+
	У2	+	+	+
	У3	+	+	+

В результате проведения SWOT-анализа разработана маркетинговая стратегия, которая дает возможность для данного проекта более правильно

спроектировать объект, уменьшить срок окупаемости и эффективно провести экономический расчет, чтобы учесть все непредвиденные расходы вследствие потенциальных внешних угроз.

### **3.1.5 Определение возможных альтернатив проведений научных исследований**

При любом проектировании всегда есть несколько методов или вариантов достижения цели, т.е. несколько альтернатив. Выше были описаны методы, позволяющие выявить и предложить возможные альтернативы проведения исследования и доработки результатов. Приведенные в предыдущих пунктах методы в основном ориентированы на совершенствование результатов научного проектирования, находящегося на стадии разработки. Обычно, используя морфологический подход, можно предложить не менее трех основных вариантов совершенствования разработки или основных направлений научного исследования. Морфологический подход заключается в исследовании всех выявленных альтернатив, которые вытекают из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования. Такой подход охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, которые при простом переборе могли быть упущены. С помощью комбинации вариантов получают большое количество различных решений, многие из которых представляют практический интерес. Научно-технический прогресс не стоит на месте и развивается очень стремительно. Из этого следует, что разрабатываемые сейчас технические проекты скоро могут стать не актуальными. В связи с этим, разработку новых проектов нужно осуществлять с учетом их дальнейшего развития. Это означает, что системы электроснабжения, разрабатываемые в наше время, должны уметь приспосабливаться к условиям новой среды, т.е. быть динамичными. Поэтому необходимо определить дальнейшие пути развития или модификации разрабатываемой системы электроснабжения данного предприятия. Удобнее всего рассматривать имеющиеся варианты в виде морфологической матрицы, приведенной в таблице 17

Таблица 17 – Альтернативы проведения НТИ

	1	2	3
А: Тип бумаги	КОН-I	КОН-II	СКОН
Б: Вид масла	Масло конденсаторное	Парафин	Совол
В: Материал корпуса	Полиэтилен	Полистирол	Фторпласт
Г: Тип изоляции	Бумажно-масляная	Бумажно-пленочная	Пленочная

Выбор наиболее желательных функционально конкретных решений осуществляется с позиции его функционального содержания и ресурсосбережения. Для созданной морфологической матрицы выделим три наиболее перспективных пути развития разрабатываемой схемы снабжения, а именно:

1. А1Б2В1Г1
2. А3Б2В3Г1
3. А1Б2В2Г1

Морфологическая матрица позволяет наглядно рассмотреть перспективы развития, возможность расширения производственных решений, введение модификаций и усовершенствование разрабатываемой схемы. Наиболее приемлемым является третий вариант, так как сочетает в себе небольшую стоимость, простоту монтажа и надежность.

### **3.2 Планирование научно-исследовательских работ**

#### **3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования**

Планирование комплекса предполагаемых работ производится в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;

- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. Порядок этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования Основные этапы Разработка технического задания	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
	6	Электрический расчет	Инженер
	7	Механический расчет	Инженер
	8	Расчет тепловой устойчивости ввода	Инженер
	9	Выбор маслорасширителя	Инженер
	10	Описание конструирования ввода	Инженер
Обобщение и оценка результатов	11	Анализ и оценка эффективности полученных результатов	Инженер
Разработка технической документации и проектирование	12	Построение сборочного чертежа	Инженер
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	13	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

### 3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Основную часть стоимости разработки занимают трудовые затраты, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого



из участников научного исследования.

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

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

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

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

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

Продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$  определяется исходя из ожидаемой трудоемкости работ. Это объясняется необходимостью для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i},$$

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

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

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

### 3.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

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

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

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:

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

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

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

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

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 119} = 1,482;$$

$$k_{\text{кал}} = 1,22 \text{ для руководителя.}$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  округляем до целого числа. Все рассчитанные значения сводим в таблицу.

Таблица 19 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{\text{min}}$ чел-дни		$t_{\text{max}}$ чел-дни		$t_{\text{ожг}}$ чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	3		7		5		5		6	
Подбор и изучение материалов по теме		4		8		6		6		9
Выбор направления исследований		4		9		6		6		9

Календарное планирование работ по теме	8		11		9		9		11	
Проведение теоретических расчетов и обоснований		5		12		8		8		12
Электрический расчет		7		13		9		9		13
Механический расчет		3		5		4		4		6
Расчет тепловой устойчивости ввода		10		17		13		13		19
Выбор маслорасширителя		5		8		6		6		9
Описание конструирования ввода		3		6		4		4		6
Оценка эффективности полученных результатов	6		11		8		8		10	
Построение сборочного чертежа		6		11		8		8		12
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)		4		7		5		5		7

Пример расчета (составление и утверждение технического задания), для остальных работ расчет проводится аналогично:

$$T_k = T_p \cdot k_{\text{кал}} = 5 \cdot 1,22 = 6,1 \approx 6 \text{ дней.}$$

На основе таблицы построим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. Полученный график представлен в виде таблицы 5.

Таблица 20- Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T <sub>кi</sub> , кал.д н.	Продолжительность выполнения работ													
				февр.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	5	■													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	8	■	■												
3	Выбор направления исследований	Инженер	6		■												
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	8		■	■											
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	9			■	■										
6	Электрический расчет	Инженер	12			■	■	■									
7	Механический расчет	Инженер	3					■									
8	Расчет тепловой устойчивости конденсатора	Инженер	17					■	■	■							
9	Удельные характеристики конденсатора	Инженер	5							■							
10	Описание конструирования ввода	Инженер	3								■						
11	Анализ полученных результатов	Руководитель, инженер	5								■	■					
12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, инженер	8									■	■	■			
13	Построение сборочного чертежа	Инженер	12										■	■	■		
14	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер	14													■	■

■ – руководитель; ■ – инженер.

График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования.

Таким образом, видим, что длительность работ в календарных днях руководителя составляет 26 дней, инженера – 102 дня. Планирование работ по НИОКР проведено рационально, поскольку до защиты ВКР остается время в запасе около 7 дней.

### 3.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Планируя бюджет НТИ, мы должны обеспечить полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. При расчете и формировании бюджета НТИ будет использоваться следующая группировка затрат по статьям:

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

#### 3.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта.

Материальные затраты указаны в таблице 21.

Таблица 21. Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (З <sub>м</sub> ), руб.
Бумага	Пачка	1	310	310
Картридж для принтера	Шт	1	1900	1900
Блокнот А4 80 л.		1	70	70

Карандаш мех. HB	Шт	1	10	10
Ручка шар.	Шт	1	20	20
Степлер руч. INDEX		1	150	150
Папка-скоросшиватель		1	15	15
Итого:				2475

### 3.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе производится расчет основной заработной платы научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Месячный должностной оклад для руководителя:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 23264,86 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 45366,477 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад для инженера:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 14584,32 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 28439,424 \text{ руб.}$$

где  $Z_{mc}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{np}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет 0,2;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для города Томска);

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:  
 при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;  
 при отпуске в 24 раб. дней  $M=11,2$  месяца 5-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 22).

Таблица 22. Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней:		
• выходные дни	52	104
• праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
• отпуск	48	24
• невыходы по болезни	7	7
Действительный годовой фонд рабочего времени	245	217

Таким образом, для руководителя и инженера соответственно:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{45366,477 \cdot 10,4}{245} = 1925,76 \text{ руб.},$$

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{28439,424 \cdot 11,2}{217} = 1467,84 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

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

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

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

Для руководителя и инженера соответственно:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 1925,76 \cdot 14 = 26960,64 \text{ руб.},$$



$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 1467,84 \cdot 69 = 101283,03 \text{ руб.},$$

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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

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

Таблица 23 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_{р}$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	23264,86	0,3	0,2	1,3	45366,477	1925,76	26	50069,76
Инженер	14584,32	0,3	0,2	1,3	28439,424	1467,84	102	149719,68
<b>Итого <math>Z_{осн}</math>, руб</b>								199789,44

### 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:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн},$$

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

Тогда для руководителя и инженера соответственно:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,14 \cdot 50069,76 = 7009,76 \text{ руб.};$$

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,14 \cdot 149719,68 = 20960,76 \text{ руб.};$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы, равный 0,14.

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

Согласно по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) отчисления

во внебюджетные фонды являются обязательными от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

На 2022 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30.2%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 24.

Таблица 24 - Отчисления во внебюджетные фонды

<b>Исполнитель</b>	<b>Основная заработная плата, руб.</b>	<b>Дополнительная заработная плата, руб.</b>
Руководитель	50069,76	7009,76
Инженер	149719,68	20960,75
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302	
<b>Итого</b>		
Руководитель	17238,01	
Инженер	51545,49	

### 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:

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

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{нр} = (Z_m + Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб}) \cdot 0,16 = \\ = (73805,901 + 128243,67 + 17954,114 + 39619,6) \cdot 0,16 = 41539,725 \text{ руб.},$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%

### 3.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Основой для формирования бюджета затрат проекта является рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы. При формировании договора с заказчиком рассчитанная величина затрат защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 25.

Таблица 25 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1. Материальные затраты НИИ	2475	0,66
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	199789,44	53,59
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	27970,5216	7,50
4. Отчисления во внебюджетные фонды	68783,5084	18,45
5. Накладные расходы	73805,901	19,80
6. Бюджет затрат НИИ	372824,371	100

В результате проведения расчетов по основным статьям, составляющим бюджет научно-исследовательского проекта, была составлена итоговая таблица, где наглядно представлено, что сумма бюджета затрат НИИ составила 372824,371

рублей, причем наибольшая часть затрат приходится на выплату основной заработной платы исполнителям темы (53,59%).

### **3.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности исследования**

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Так как определение финансовой эффективности не представляется возможным в данном случае, произведем оценку ресурсоэффективности научной разработки.

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

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

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы 26.

В качестве возможных исполнений проекта условно были приняты: исполнение 1 – ввод с бумажно-масляной изоляцией (БМИ), исполнение 2 – ввод с бумажно-бакелитовой изоляцией (БПИ), исполнение 3 – ввод с маслобарьерной изоляцией (МБИ).

Таблица 26 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения  
проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп. БМИ	Исп.2 БПИ	Исп.3 МП И
Надежность работы	0,139	4	4	4
.Габаритные размеры	0,111	5	5	3
Уровень материалоемкости разработки	0,111	4	5	5
Технические характеристики	0,139	5	5	3
Ремонтопригодность	0,139	5	4	3
Простота изготовления	0,111	4	3	3
Пожаробезопасность	0,139	4	4	4
Простота обслуживания	0,111	4	4	5
ИТОГО	1	4,39	4,25	3,72

Сравнив значения интегральных показателей ресурсоэффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении ничуть не уступает остальным вариантам с позиции ресурсосбережения.

### 3.5 Вывод

В результате выполнения заданий данного раздела была произведена оценка конкурентоспособности, значение расчетного показателя выбранного варианта исполнения НТИ является наибольшим и составляет 4,29. Значение показателя перспективности ( $P_{cp}$ ) составляет 71 - это говорит о том, что перспективность НТИ выше среднего. По результатам расчетов было установлено, что длительность работ в календарных днях для руководителя составляет 26 дней, а для инженера 104 дня. Сумма бюджета затрат НТИ составила 372824,4 рублей. С точки зрения ресурсной эффективности, для решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи был выбран наиболее подходящий и выгодный вариант, так как именно он имеет наибольший интегральный показатель ресурсоэффективности (4,39).

## **4. Социальная ответственность**

### **Введение**

Социальная ответственность – это область ответственности организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду за счет этичного поведения, которое улучшает здоровье и благосостояние общества, соответствуя используемому законодательству, согласно международным нормам поведения.

Тема ВКР «Проектирование ввода трансформаторного типа наружной установки на класс напряжения 110 кВ». Вводы для трансформатора являются необходимым элементом конструкции. Они предназначаются для изоляции выводимых концов обмотки и последующего крепления устройства к различным дополнительным приборам и элементам.

Данный раздел посвящен анализу производственной среды, трудового процесса и разработке мер по обеспечению благоприятных условий труда при его выполнении.

При выполнении данной работы рабочими зонами являются: лаборатория на объекте 18м<sup>2</sup>, где происходит проектирование и исследование ввода трансформаторного типа. Здесь располагается несколько рабочих компьютеров со специализированными программами.

Экспериментальная установка находится в лаборатории 8-ого корпуса ТПУ.

### **4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

#### **4.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны)**

#### **правовые нормы трудового законодательства**

Основные положения по охране труда изложены в Трудовом кодексе Российской Федерации [15]. В этом документе указано, что охрана здоровья трудящихся, обеспечение безопасных условий труда, ликвидация профессиональных заболеваний и производственного травматизма являются

одной из главных забот государства.

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации, каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;

Согласно трудовому кодексу Российской Федерации, нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю, работодатель обязан вести учет времени, отработанного каждым работником. При пятидневной рабочей неделе продолжительность рабочего дня должна составлять не более 8 часов.

#### **4.1.2 Организационные вопросы обеспечения безопасности**

Большое значение в работе имеет организация рабочих мест сотрудников и создание благоприятных условий труда. Работа в лаборатории обычно отличается малой двигательной активностью, монотонностью, длительным нахождением в закрытом помещении. Всё это вызывает быструю утомляемость и отражается на результатах труда. Режим труда и отдыха



предусматривает соблюдение определенной длительности непрерывной работы на твердомере, ПК и перерывов, регламентированных с учетом продолжительности рабочей смены, видов и категории трудовой деятельности. Трудовая деятельность в лаборатории с ПК относится к категории А – первая категория тяжести [2].

Рабочее место в лаборатории должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78 [1]. Оно должно занимать площадь не менее 4,5 м<sup>2</sup>, высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м<sup>3</sup> на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 x 1000 кв. мм. Под столом должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина - 350 мм. Удаленность клавиатуры от края стола должна быть не более 300 мм, что обеспечит удобную опору для предплечий. Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея должно составлять 40 - 80 см. Так же рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул должен иметь дизайн, исключающий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте.

#### **4.2 Производственная безопасность**

Для идентификации опасных и вредных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [3].

В таблице 27 представлены нормативные документы, опасные и вредные факторы, а также указаны этапы работ, на которых они могут возникать.

Таблица 27. Вредные и опасные факторы

Факторы	Нормативные документы
Повышенный уровень электромагнитных излучений	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [4].
Отклонение показателей микроклимата	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [4].
Недостаточная освещенность рабочей зоны	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [4].
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	ГОСТ Р 12.1.019—2009 «Система стандартов безопасности труда Электробезопасность»[5].

Основным документом, определяющим условия труда на персональных ЭВМ, являются СП 2.4.3648-20 «Санитарноэпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи». В Правилах указаны основные требования к помещениям, микроклимату, шуму и вибрации, освещению помещений и рабочих мест, организации и оборудованию рабочих мест.

### **4.3 Анализ вредных и опасных факторов**

#### **4.3.1 Повышенный уровень электромагнитных излучений**

Контакт с электромагнитными излучениями представляет существенную опасность для человека, по сравнению с другими вредными факторами (повышенное зрительное напряжение, психологическая перегрузка, сохранение длительное время неизменной рабочей позы). В рассматриваемом случае источником электромагнитного излучения является компьютерная техника. Длительное воздействие интенсивных электромагнитных излучений промышленной частоты может вызывать повышенную утомляемость, появление сердечных болей, нарушение функций центральной нервной системы [5]. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250 нТл, и 25 нТл в диапазоне от 2 до 400 кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500 В [5].

Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250 нТл, и 25 нТл в диапазоне от 2 до 400 кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500 В [5]. В ходе работы использовалась ПЭВМ со следующими характеристиками: напряженность электромагнитного поля 2,5 В/м; поверхностный потенциал составляет 450 В.

Согласно ГОСТ 12.1.007-76. [9], конструкция ПЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от корпуса не более 0,1 мбэр/ч (100мкР/ч). Предел дозы облучения для работников ВЦ (операторы, программисты)

составляет 0,5 бэр/год.

Для снижения излучений необходимо выполнить следующее: сертифицировать ПЭВМ (ПК) и аттестовать рабочие места; применить экраны и фильтры; произвести организационно-технические мероприятия.

Нормы электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ приведены в табл. 2, в соответствии с [5].

Таблица 28 – Допустимые уровни напряженности магнитного поля

Время пребывания	Допустимые уровни МП, Н [А/м] / В [мкТл]	
	Общее воздействие	Локальное воздействие
<1	1600/2000	6400/8000
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
8	80/100	800/1000

#### 4.3.2 Отклонение показателей микроклимата

Значимым физическим фактором является микроклимат рабочей зоны (температура, влажность и скорость движения воздуха).

Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха влияют на теплообмен и необходимо учитывать их комплексное воздействие. Нарушение теплообмена вызывает тепловую гипертермию, или перегрев [3].

Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха производственных помещений для работ, 67 производимых сидя и не требующих систематического физического напряжения (категория Ia), приведены в таблице 28 2, в соответствии СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [3].

Отопление лаборатории и корпуса в целом водяное с применением радиаторов, что обеспечивает постоянное и равномерное нагревание воздуха в холодное время года. В рабочем помещении имеется как естественная вентиляция, так и принудительная. Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения. В теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей.

Таблица 29 – Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	Ia (до 139)	23-25	22-26	60-40	0,1

Влажность в помещении 8 корпуса ТПУ составляет 40-60%. Более высокая влажность крайне нежелательна, потому что может плохо повлиять на технику и документы. Намного более распространена противоположная проблема: слишком сухой воздух. Увлажнитель воздуха как правило, это самый простой выход в случае, если влажность в кабинете не соответствует норме.

#### 4.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Источниками света могут быть как естественные, так и искусственные объекты. Естественным источником в помещении служит солнце, искусственными являются электрические лампочки. При длительной работе в условиях недостаточной освещенности и при нарушении других параметров световой среды зрительное восприятие снижается, развивается близорукость, болезнь глаз, появляются головные боли [2].

По нормативу СанПиН 1.2.3685-21 [4] освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего оборудования должна быть 300 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90° с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м, защитный угол светильников должен быть не менее 40°. Коэффициент запаса (Кз) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4. Коэффициент пульсации не должен превышать 5%.

#### 4.5 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека

ГОСТ 12.1.038-82 устанавливает предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека.

Во время нормального режима работы оборудования опасность поражения электрическим током практически отсутствует, однако существуют аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями.

Поражение человека током может произойти в следующих случаях: при прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ПЭВМ; при прикосновении к нетоковедущим частям, находящимся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции; при соприкосновении с полом и стенами, оказавшимися под напряжением; при возникновении короткого замыкания в электроприборе.

Основными мероприятиями по обеспечению электробезопасности являются [1]:

изолирование токоведущих частей, исключаящее возможное соприкосновение с ними; установки защитного заземления; наличие общего рубильника; своевременный осмотр технического оборудования, изоляции.

Значения напряжения прикосновения и силы тока, протекающего через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме работы электроустановки, не должны превышать значений, приведенных в таблице 30.

Таблица 30 – Предельно допустимые значения напряжения соприкосновения и силы тока [5]

Род и частота тока	Наибольшие допустимые значение	
	$U_{пр}$ , В	$I_h$ , мА
Переменный, 50 Гц	2	0,3
Переменный, 400 Гц	3	0,4
Постоянный	8	1,0

## **4.6 Обоснование мероприятий по защите от действия опасных и вредных факторов**

С целью профилактики неблагоприятного воздействия параметров микроклимата в холодный период времени года, все въездные и другие часто открывающиеся проемы оборудуются тамбурами или воздушными завесами. Если обогрев здания невозможен, применяют воздушное и лучистое отопление. При работе на открытом воздухе в холодный период работодатель устанавливает перерывы на обогрев работников в специально-оборудованных теплых помещениях, выдает работникам соответствующую спецодежду, обувь, рукавицы, обладающие теплозащитными свойствами и другие СИЗ.

Существенную роль в оздоровлении условий труда играют механизация и автоматизация технологических процессов, изменения в регламентации рабочего времени, в том числе установление перерывов в работе, сокращение рабочего дня, увеличение продолжительности отпуска. Особое место в профилактических мероприятиях при работе в холодный период времени года занимают организация производственного контроля за соблюдением температурного режима, проведения медицинских осмотров и прививок против гриппа.

Если напряженность электрического поля превышает предельно допустимые уровни, принимаются различные меры по ее снижению. На рабочем применяют экранирующие устройства. Для ограничения напряженности поля под ЛЭП используют заземленные тросы, установленные под высоковольтными проводами.

## **4.7 Экологическая безопасность**

### **4.7.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду**

При работе в лаборатории, от установочного стенда не выделяется и не выбрасывается в воду, атмосферу, вентиляцию или в рабочую зону какихлибо вредных веществ, газов, аэрозолей, дымов и т.д., превышающих допустимые уровни ПДК. Воздействие на литосферу будет характеризоваться утилизацией



твердых бытовых отходов (бумага, бракованные образцы и т.п.). Согласно методике проведения работ по комплексной утилизации вторичных драгоценных металлов из отработанных средств вычислительной техники [12]. Вычислительная техника содержит в себе компоненты, представляющие угрозу как для человека, так и для окружающей среды. В частности, наиболее опасными веществами являются: свинец, ртуть, никель, а также различные щёлочи. Эти вещества поражают нервную систему человека, а также вызывают химические слизистых оболочек и кожных покровов. Поэтому микропроцессорная техника, на основе которой выполнена защита, требует специальных мер по утилизации [11].

#### **4.7.2 Мероприятия по защите окружающей среды**

В данный комплекс мероприятий входят: отделение металлических частей от неметаллических, отправка металлических компонентов на переплавку, переработка пластиковых и других неметаллических компонентов прибора.

Решения по обеспечению экологической безопасности литосферы – вывоз твердых бытовых отходов, с последующей переработкой, ГОСТ 17.4.3.04-85 [12].;

### **4.8 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

#### **4.8.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при исследовании объекта**

В лаборатории, где проводились эксперименты, возможен такой вид техногенной чрезвычайной ситуации, как пожар.

Помещение лаборатории по степени пожароопасности относится к классу В-4, так как в нем отсутствует выделение пыли и волокон во взвешенном состоянии.

#### **4.8.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка плана действий в случае ЧС**

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для устранения причин возникновения пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия [10]:

1. Использование только исправного оборудования;
2. Проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
3. Назначение ответственного за пожарную безопасность помещений;
4. Издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности
5. Отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
6. Курение в строго отведенном месте;
7. Содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Для локализации или ликвидации возгорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например, ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации,

порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к эвакуационному выходу [10].

#### **4.9 Вывод**

Целью раздела Социальная ответственность было рассмотрение характеристики объекта исследования и области его применения, и различных факторов, влияющих на рабочих, и окружающую среду.

В разделе производственная безопасность проведён анализ опасных и вредных факторов, оказывающих негативное действие на электромонтера и представлены меры по снижению влияющих вредных факторов.

В разделе экологическая безопасность произведён анализ воздействия объекта на атмосферу, литосферу и разработаны решения по обеспечению экологической безопасности.

В разделе безопасность в чрезвычайных ситуациях (ЧС) представлен перечень возможных ЧС на объекте, выбрана наиболее типичная ЧС для объекта, которой является пожар. Проведены разработки по превентивным мерам предупреждения ЧС.

Согласно ПУЭ по электробезопасности данное помещение попадает в категорию безопасных, персонал попадает под I группу допуска электробезопасности и Ia категорию тяжести труда. По взрывопожарности помещение имеет класс В-4, а по негативному воздействию на окружающую среду является объектом IV категории.

В заключение можно сказать, что при соблюдении всех необходимых мер безопасности, проектирование и эксплуатация ввода не представляют опасности для персонала и других установок, а также для окружающей среды.

## Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был произведен расчет высоковольтного ввода напряжения 110 кВ.

В электрическом расчете были определены: сухоразрядное расстояние, радиус токоведущего стержня, рассчитана бумажно-масляная изоляция, а именно длины ее обкладок, их толщина, емкости и радиальные напряженности в слоях изоляции и рассчитали размеры фарфоровой покрышки.

В результате механического расчета была рассчитана прочность на изгиб для выбранной конструкции ввода, а также был выполнен расчёт по допустимым параметрам.

Был произведен расчет тепловой устойчивости ввода, рассчитаны температуры обкладок при различных возможных температурах стержня, а именно близких к реальным, была найдена температура стержня, при которой возможна устойчивая работа ввода, она равна  $t_{cy} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Был выбран встроенный маслорасширитель и определены его размеры.

Далее было произведено конструирование ввода, нахождение необходимых, не найденных ранее, размеров для конструирования, выбор экрана, вывода на устройство ПИН и маслоотбор.

Были спланированы этапы работ, определена трудоемкость выполнения работ, а также разработан график проведения научного исследования. В итоге был сформирован бюджет затрат научно-исследовательского проекта.

Также было проанализировано рабочее место инженера проектировщика, а также негативное влияние на окружающую среду спроектированного высоковольтного ввода, на основании чего были определены меры по их устранению или ограничению воздействия.

Спроектированный трансформаторный ввод имеет технико-экономическую обоснованность и удовлетворяет требованиям эксплуатации и надежности.

## Список используемой литературы

1. Г.Е. Куртенков. Основы проектирования изоляции высоковольтного электрооборудования, Томск, 1999. -276с;
2. Куртенков Г. Е. Расчет вводов высокого напряжения и силовых конденсаторов, Томск, 1987. -75с;
3. Дмитриевский В.С. Расчет и конструирование электрической изоляции.-М.: Энергоиздат, 1981.- 392 с;
4. Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях.- Л.: Энергия, 1979.- 224 с;
5. Бажанов С.А. Техническое обслуживание и ремонт вводов и изоляторов высокого напряжения / С. А. Бажанов. - М.: Энергоатомиздат, 1984. – 238 с.:ил. - Библиогр.: с. 236;
6. ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».
7. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 №197- ФЗ (ред. от 03.07.2016).
8. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. М.: Стандартинформ, 2016.
9. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиеническими требованиями к микроклимату производственных помещений»; утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 13.06.2003 г.
10. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".
11. СП 2.4.3648-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи».
12. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197;
13. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»; утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31.10.1996 г.

14. ГОСТ 12.1.007-76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.– М.: ИПК Издательство стандартов, 1976
15. ГОСТ Р 22.0.07-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров
16. ГОСТ 17.4.3.04-85 Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004
17. "Методика проведения работ по комплексной утилизации вторичных драгоценных металлов из отработанных средств вычислительной техники" подготовлена в соответствии с п.4 Протокола совещания у Заместителя Председателя Правительства Российской Федерации от 9 июля 1999 года N ИК-П8-5пр.
18. Влияние освещенности на организм человека [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://fbuz14.ru/portfolio-view/osveshenie>, свободный, дата обращения: 27.04.22 г.
19. Шум современных компьютерных систем охлаждения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.ixbt.com/cpu/shum1metod.shtml>, свободный, дата обращения: 18.05.22 г.
20. Электрическая часть станций и подстанций / Под редакцией Васильева А.А. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 576 с.: ил.

## Приложение А

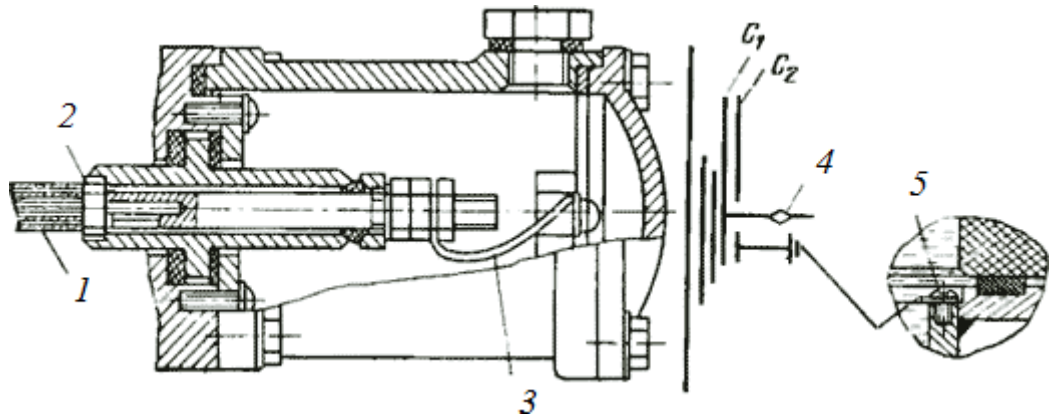


Рисунок 20 – Коробка ПИН маслонаполненного ввода 1 – Провод от уравнивающей обкладки; 2 – стопорная гайка; 3 – элемент заземления; 4 – вывод для измерения напряжения; 5 – винт внутреннего заземления последней обкладки ввода

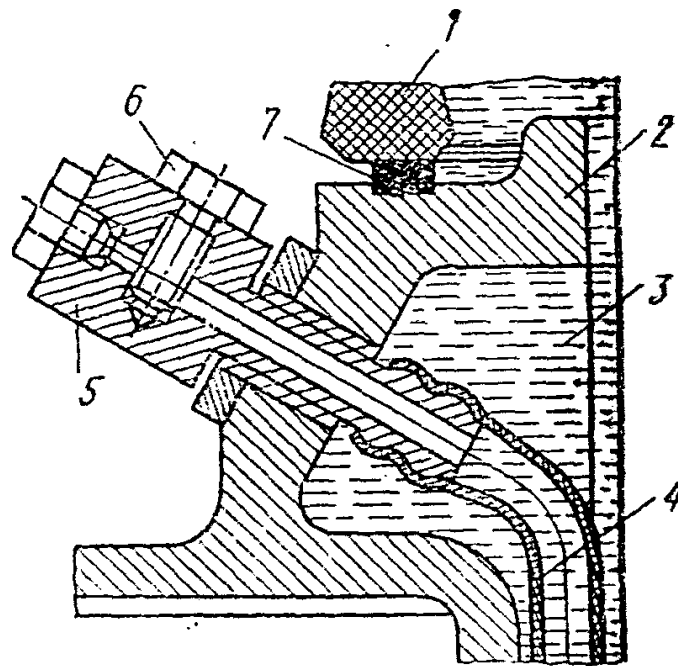


Рисунок 21 – Маслоотборное устройство ввода  
1 – фарфоровая крышка; 2 – соединительная втулка; 3 – изоляционное масло; 4 – поливинилхлоридная трубка; 5 – вывод маслоотбора; 6 – пробка; 7 – резиновая прокладка

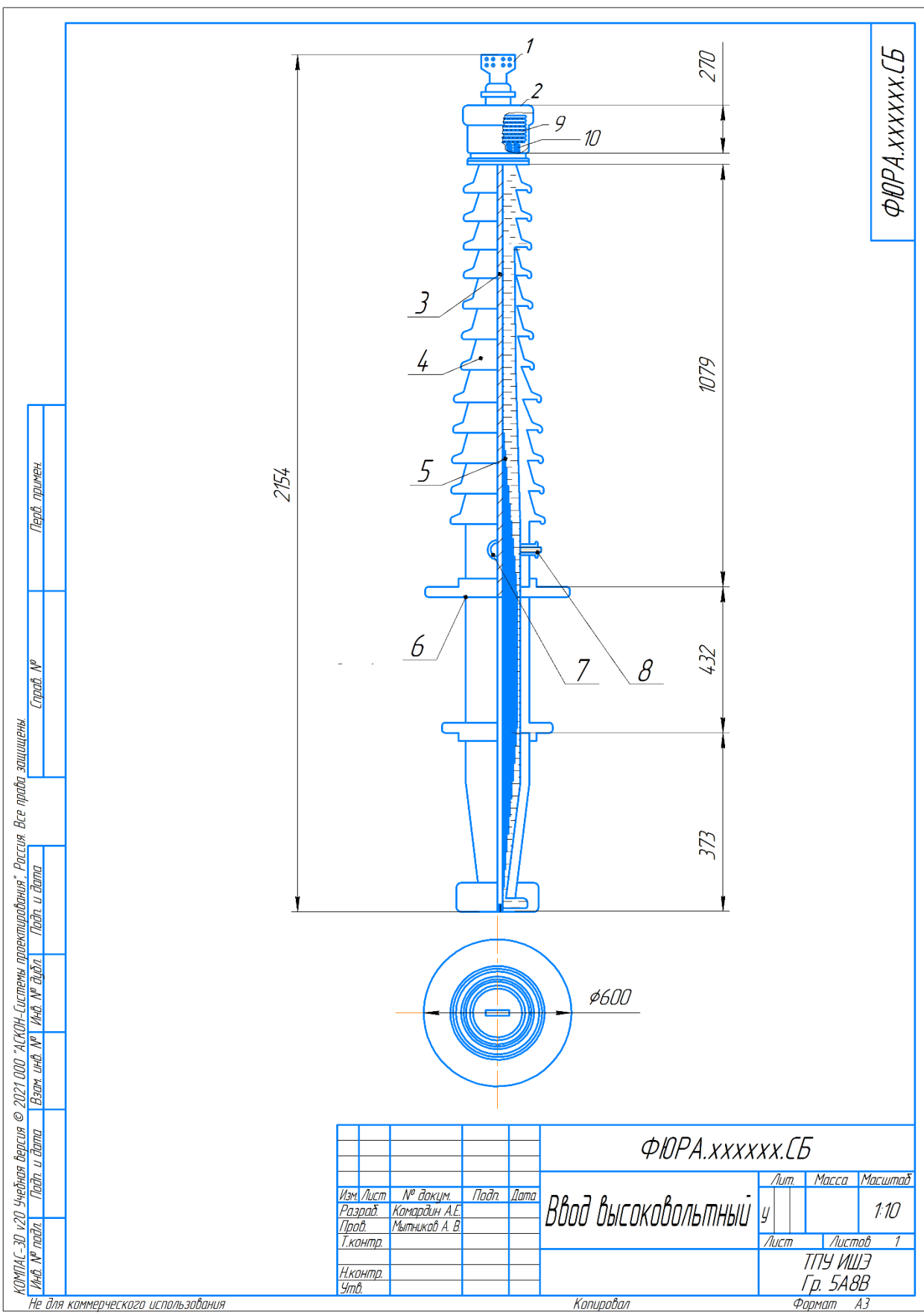
## Приложение Б

Перв. примен.		Формат	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
		Зона					
Справ. №				<i>Документация</i>			
		A4	ФЮРА.хххххх.ПЗ	Пояснительная записка	1		
Подп. и дата		A3	ФЮРА.хххххх.СБ	Сборочный чертеж	1		
					<i>Детали</i>		
			1	ФЮРА.хххххх.001	Контактная клемма	1	
			2	ФЮРА.хххххх.002	Защитный колпак	2	
			3	ФЮРА.хххххх.003	Токоведущий стержень	1	
			4	ФЮРА.хххххх.004	Фарфоровая крышка	2	
			5	ФЮРА.хххххх.005	Остов ввода	1	
			6	ФЮРА.хххххх.006	Средний фланец	1	
			7	ФЮРА.хххххх.007	Маслоотборное устройство	1	
			8	ФЮРА.хххххх.008	Вывод ПИН	1	
			9	ФЮРА.хххххх.009	Труба компенсатора	1	
	10	ФЮРА.хххххх.010	Компенсатор	1			
	11	ФЮРА.хххххх.011	Пружина	2			
Инв. № подл.		<b>ФЮРА.хххххх.СП</b>					
		Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Инв. № подл.		Разраб.	Комардин А.Е.				
		Пров.	Мытников А. В.				
Инв. № подл.		Н.контр.					
		Утв.					
<b>Ввод</b>				Лит.	Лист	Листов	
<b>высоковольтный</b>				у	1		
Копировал				ТПУ ИШЭ Гр. 5А8В			
Не для коммерческого использования				Формат А4			

КОМПАС-3D v20 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.



## Приложение В



ФЮРА.ххххххх.СБ

Перв. примен.	Справ. №	Взам. инв. №	Инв. № гудкл.
Полн. и дата	Полн. и дата	Полн. и дата	Полн. и дата

КММАС-30 v20 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены

Не для коммерческого использования

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.	Комардин А.Е.			
Проб.	Мытничков А.В.			
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

ФЮРА.ххххххх.СБ			
Ввод высоковольтный	Лит.	Масса	Масштаб
	у		1:10
	Лист	Листов	1
	ТПУ ИШЭ		
	Гр. 5А8В		
	Формат А3		

Копировал