



**Министерство образования и науки РФ
Рубцовский индустриальный институт
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова»**

О.П. Балашов

Техника высоких напряжений

Методические указания к лабораторным работам
для студентов направления «Электроэнергетика и электротехника»
очной формы обучения

Рубцовск 2015

УДК 621.31

Балашов О.П. Техника высоких напряжений: Методические указания к лабораторным работам для студентов направления «Электроэнергетика и электротехника» очной формы обучения / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2015. - 25 с.

Изложены цели, методика и порядок выполнения работ лабораторного практикума по дисциплине «Техника высоких напряжений». Методические указания содержат описания шести лабораторных работ, тематически охватывающих в той или иной степени основные разделы соответствующего лекционного курса по дисциплине.

Рассмотрены и одобрены
на заседании кафедры
электроэнергетики РИИ.
Протокол № 12 от 18.11.2015г.

Рецензент: к. п. н., доцент

В.И. Бахмат

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Лабораторная работа №1.....	5
Лабораторная работа №2.....	9
Лабораторная работа №3.....	12
Лабораторная работа №4.....	16
Лабораторная работа №5.....	20
Лабораторная работа №6.....	23

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания по лабораторным работам составлены в соответствии с программой курса “Техника высоких напряжений”. В описании каждой работы содержится цель работы, порядок проведения работы, содержание отчета, контрольные вопросы и рекомендуемая литература.

Целью лабораторных занятий является более глубокое усвоение теоретических вопросов путем экспериментальной проверки основных положений курса. Кроме того, эти занятия способствуют выработке навыков проведения исследований и анализа протекающих процессов в изоляции высоковольтных электроустановок.

Во время выполнения лабораторных работ студенты должны строго выполнять правила внутреннего распорядка и соблюдать учебную дисциплину. Лица, нарушающие дисциплину, могут быть отстранены от выполнения работ.

Лабораторные работы выполняются в виртуальной среде с использованием программы Microsoft Excel. Все лабораторные работы выполняются фронтальным методом, после того, как соответствующий материал изучен на лекциях. В каждой работе исследуются наиболее важные принципиальные вопросы соответствующего раздела курса, в большинстве работ содержатся также задания и вопросы, направленные на углубленное изучение материала и на развитие творческих способностей студентов.

Каждый студент должен самостоятельно подготовиться к выполнению лабораторных работ. Предварительная подготовка состоит в изучении описания лабораторной работы и соответствующего теоретического материала по конспекту и учебным пособиям, а также в подготовке протокола работы, содержащего название и цель работы; схемы экспериментов и таблицы для записи результатов.

Перед началом выполнения каждой работы проводится проверка готовности студентов. В случае неподготовленности студента он может быть не допущен к выполнению работы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЯДОВ В ВОЗДУХЕ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ НАПРЯЖЕНИИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Знакомство с основными понятиями и теоретическими сведениями о разрядах в воздухе, методом определения пробивного напряжения. Получение навыков самостоятельного определения разрядного напряжения для различных промежутков в зависимости от расстояния между электродами с построением графиков.

2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Ознакомиться с основными понятиями и теоретическими сведениями о разрядах в воздухе при переменном напряжении [1-3].

2.2. Ознакомиться со схемой экспериментальной установки (рисунок 1) и собрать ее.

2.3. Собрать один из четырех вариантов схемы:

2.3.1. Электроды шар – шар. Принять диаметр шара 12,5 см.

2.3.2. Электроды стержень – стержень.

2.3.3. Электроды стержень – плоскость.

2.3.4. Электроды - коронирующие кольца.

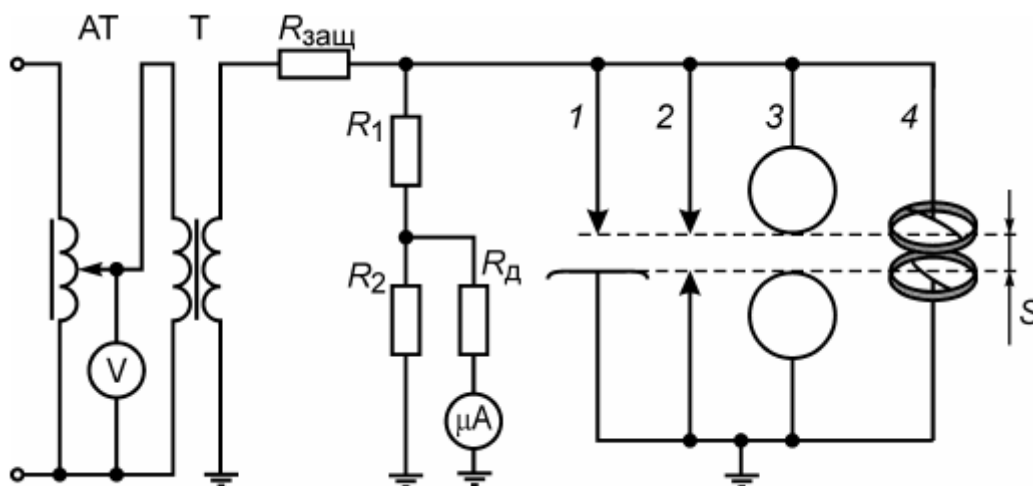


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

АТ – автотрансформатор; Т – высоковольтный трансформатор; $R_{зaщ}$ – защитное сопротивление; R_1 , R_2 – высоковольтный омический делитель; $R_д$ – добавочное сопротивление; V – вольтметр; μA – микроамперметр; 1–4 – испытываемые электроды

2.4. При повышении напряжения для различных расстояний S между электродами зафиксировать пробивное напряжение U_p . Для каждого расстояния S провести не менее 6 измерений, результаты занести в таблицу отчета.

Рассчитать средние значения разрядного напряжения U_{cp} и напряженности поля E_{cp} для каждого расстояния S .

2.5. Провести измерения для электродов острие – острие, шар – шар, коронирующие кольца.

2.6. Рассчитать разрядные напряжения и напряженность поля для электродов острие – плоскость, острие – острие, шар – шар.

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

3.1. Вычислить среднее значение для каждой серии экспериментов $U_{p\text{ ср}}$.

3.2. Вычислить среднюю напряженность электрического поля, при которой происходит пробой межэлектродного промежутка для всех серий экспериментов E_{cp} .

3.3. По формулам 1–3 вычислить пробивные напряжения для соответствующих значений расстояний между электродами S .

Для электродной системы острие – плоскость:

$$U_p = (7 + 3,36 \cdot S) \delta, \text{ кВ.} \quad (1)$$

Для электродной системы острие – острие:

$$U_p = (14 + 3,16 \cdot S) \delta, \text{ кВ.} \quad (2)$$

Для электродной системы шар – шар:

$$U_p = \frac{27,2 \cdot \delta \cdot S \left(1 + \frac{0,54}{\sqrt{R \cdot \delta}} \right)}{0,25 \left[\frac{S}{R} + 1 + \sqrt{\left(\frac{S}{R} + 1 \right)^2 + 8} \right]}, \text{ кВ,} \quad (3)$$

где S – расстояние между электродами, см;

R – радиус шара, см;

δ – относительная плотность воздуха.

$$\delta = \frac{P \cdot T_0}{P_0 \cdot T}, \quad (4)$$

где P_0, T_0 – нормальные атмосферные условия.

По опытным и расчетным данным построить зависимости $U_p = f(S)$ для различных электродных систем.

3.4. По опытным и расчетным данным построить зависимости $E_{cp} = f(S)$.

3.5. Проанализировать и объяснить зависимости $U_p = f(S)$ и $E_{cp} = f(S)$.

3.6. Объяснить расхождение между опытными и расчетными данными.

3.7. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица 1

Результаты определения разрядного напряжения и напряженности поля

Форма электродов	S, см	Экспериментальные данные						U _{р ср} , кВ	$E_{cp} = \frac{U_{p\text{ ср}}}{S}$, кВ/см
		U _р , кВ							
		1	2	3	4	5	6		
Шар-шар									
Острие-плоскость									
Острие-острие									
Коронирующие кольца									

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

4.1. Для каких целей вводится поправка на относительную плотность воздуха?

4.2. Почему в однородном поле отсутствует коронная форма разряда?

4.3. Какие параметры электродной системы влияют на максимальную и среднюю напряженность электрического поля?

4.4. Как классифицируется и чем определяется степень неоднородности электрического поля?

4.5. Чем отличается пробивное напряжение от электрической прочности?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бочаров, Ю.Н. Техника высоких напряжений: учебное пособие / Ю.Н. Бочаров, С.М. Дудкин, В.В. Титков ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. - СПб : Издательство Политехнического университета, 2013. - 265 с. : схем., ил., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-

7422-3998-7 ;[Электронный ресурс]. - URL:
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=363032>

2. Перенапряжение и молниезащита: водный транспорт : учебное пособие / Н.Н. Лизалек, О.А. Князева, К.С. Мочалин и др. ; под ред. С.В. Горелов, В.П. Горелов. - 5-е изд. - М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 360 с. : ил., схем., табл. - Библиогр.: с. 290-291. - ISBN 978-5-4475-5858-1; [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=364598>

3. Балашов О.П. Техника высоких напряжений: Учебное пособие для студентов специальности 140400 всех форм обучения /Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2012. 70с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБОЯ ЖИДКИХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Знакомство с основными понятиями и теоретическими сведениями о пробое жидких диэлектриков. Проведение испытаний трансформаторного масла на пробой. Исследование зависимости электрической прочности трансформаторного масла от содержания воды и температуры. Определение электрической прочности жидких диэлектриков.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Ознакомиться с основными понятиями и теоретическими сведениями о пробое жидких диэлектриков [1, 2].

2.2. Ознакомиться с работой виртуальной лабораторной установки.

2.3. Провести испытание трансформаторного масла на пробой:

2.3.1. Выбрать трансформаторное масло из меню программы («диэлектрик») и вид испытания.

2.3.2. Увеличить напряжение до пробивного значения и занести его величину в таблицу 1. Провести шесть пробоев масла.

2.3.3. Определить среднее значение пробивного напряжения. Это значение напряжения принять в качестве «пробивного».

2.3.4. Рассчитать электрическую прочность масла по среднему значению пробивного напряжения.

Таблица 1

Испытание трансформаторного масла на пробой

$U_{пр1},$ кВ	$U_{пр2},$ кВ	$U_{пр3},$ кВ	$U_{пр4},$ кВ	$U_{пр5},$ кВ	$U_{пр6},$ кВ	$U_{пр ср},$ кВ	$E_{пр},$ кВ/мм

2.4. Определить зависимость электрической прочности трансформаторного масла от содержания воды:

2.4.1. Выбрать трансформаторное масло из меню программы («диэлектрик») и вид испытания.

2.4.2. Задаться количеством воды в масле (в % от объема масла) и занести данные в таблицу 2.

2.4.3. Увеличить напряжение до пробивного значения и занести его величину в таблицу 2. Провести пять испытаний масла на пробой при различном содержании воды.

2.4.4. Рассчитать электрическую прочность диэлектрика по среднему значению пробивного напряжения.

Таблица 2

Влияние содержания воды на электрическую прочность

H ₂ O, %	U _{пр1} , кВ	U _{пр2} , кВ	U _{пр3} , кВ	U _{пр4} , кВ	U _{пр5} , кВ	U _{пр6} , кВ	U _{пр.ср} , кВ	E _{пр} , кВ/мм

2.5. Определить зависимость электрической прочности трансформаторного масла от температуры:

2.5.1. Выбрать трансформаторное масло из меню программы («диэлектрик») и вид испытания.

2.5.2. Задаться температурой нагрева масла и занести данные в таблицу 3.

2.5.3. Увеличить напряжение до пробивного значения и занести его величину в таблицу 3. Провести пять испытаний масла на пробой при различной температуре нагрева масла.

2.5.4. Рассчитать электрическую прочность диэлектрика по среднему значению пробивного напряжения.

Таблица 3

Влияние температуры на электрическую прочность масла

t, °C	U _{пр1} , кВ	U _{пр2} , кВ	U _{пр3} , кВ	U _{пр4} , кВ	U _{пр5} , кВ	U _{пр6} , кВ	U _{пр.ср} , кВ	E _{пр} , кВ/мм

2.6. Определить электрическую прочность жидких диэлектриков:

2.6.1. Выбрать название жидкого диэлектрика из меню программы и вид испытания.

2.6.2. Увеличить напряжение до пробивного значения и занести его величину в таблицу 4. Провести шесть пробоев жидкого диэлектрика.

2.6.3. Определить среднее значение пробивного напряжения. Это значение напряжения и принимается в качестве «пробивного».

2.6.4. Рассчитать электрическую прочность жидкого диэлектрика по среднему значению пробивного напряжения, данные занести в таблицу 4.

2.6.5. Провести испытания на пробой не менее чем трех жидких диэлектриков согласно пунктам 2.6.1 – 2.6.4.

Испытание жидких диэлектриков на пробой

Материал диэлектрика	$U_{пр1},$ кВ	$U_{пр2},$ кВ	$U_{пр3},$ кВ	$U_{пр4},$ кВ	$U_{пр5},$ кВ	$U_{пр6},$ кВ	$U_{пр.ср},$ кВ	$E_{пр},$ кВ/мм

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

3.1. Цель работы и порядок выполнения работы.

3.2. Построить график зависимости электрической прочности трансформаторного масла от содержания воды.

3.3. Построить график зависимости электрической прочности трансформаторного масла от температуры.

3.4. Сделать вывод о возможности использования трансформаторного масла в электрооборудовании.

3.5. Ответить на контрольные вопросы.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

4.1. Что такое электрическая прочность диэлектрика?

4.2. Почему электрическая прочность жидких диэлектриков больше электрической прочности газов?

4.3. Область применения трансформаторного масла и его назначение.

4.4. Характеристики трансформаторного масла.

4.5. Наиболее перспективные жидкие диэлектрики.

4.6. Виды примесей в трансформаторном масле и их влияние на электрическую прочность масла.

4.7. Что понимают под регенерацией масла?

4.8. Что оказывает влияние на старение масла?

4.9. Способы очистки трансформаторного масла.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров, В.В. Техника высоких напряжений. Перенапряжения в устройствах электрической тяги. Профилактические испытания изоляции: учебное пособие / В.В. Егоров. - М. : Маршрут, 2004. - 188 с. - ISBN 589035-129-X; [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232709>

2. Балашов О.П. Техника высоких напряжений: Учебное пособие для студентов специальности 140400 всех форм обучения /Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2012. 70с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБОЯ ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Знакомство с основными понятиями и теоретическими сведениями о пробое твердых диэлектриков. Исследовать влияние неоднородности электрического поля и толщины диэлектрика на пробивное напряжение и электрическую прочность однородных и неоднородных диэлектриков. Исследовать влияние температуры нагрева диэлектрика на электрическую прочность. Определить электрическую прочность некоторых твердых диэлектриков.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Ознакомиться с основными понятиями и теоретическими сведениями о пробое твердых диэлектриков [1,2].

2.2. Ознакомиться с работой виртуальной лабораторной установки.

2.3. Исследовать влияние неоднородности электрического поля и толщины диэлектрика на пробивное напряжение и электрическую прочность однородных диэлектриков:

2.3.1. Выбрать однородное электрическое поле (плоские электроды).

2.3.2. Выбрать материал для испытуемого образца (указать название материала перед таблицей) и задать его толщину.

2.3.3. Увеличить напряжение, подводимое к образцу, до пробивного значения и занести его значение в таблицу 1. Провести пять испытаний образца одной толщины.

2.3.4. Изменить толщину образца и провести испытание на пробой согласно пункту 2.3.3 не менее чем для пяти значений толщины образца.

2.3.5. Рассчитать электрическую прочность диэлектрика по среднему значению пробивного напряжения.

Таблица 1

Значения пробивных напряжений в однородном поле однородного диэлектрика

h, мм	U _{пр1} , кВ	U _{пр2} , кВ	U _{пр3} , кВ	U _{пр4} , кВ	U _{пр5} , кВ	U _{пр. ср} , кВ	E _{пр} , кВ/мм

2.3.6. Выбрать неоднородное электрическое поле (электроды в виде конусов). Провести испытания на пробой того же материала согласно пунктам 2.3.2 – 2.3.5 и результаты занести в таблицу 2.

Таблица 2

Значения пробивных напряжений в неоднородном поле однородного диэлектрика

h, мм	U _{пр1} , кВ	U _{пр2} , кВ	U _{пр3} , кВ	U _{пр4} , кВ	U _{пр5} , кВ	U _{пр. ср} , кВ	E _{пр} , кВ/мм

2.4. Исследовать влияние неоднородности электрического поля и толщины диэлектрика на пробивное напряжение и электрическую прочность неоднородных диэлектриков:

2.4.1. Провести испытания на пробой неоднородного диэлектрика согласно пунктам 2.1 – 2.8 и результаты занести в таблицу 3 и в таблицу 4.

Таблица 3

Значения пробивных напряжений в однородном поле неоднородного диэлектрика

h, мм	U _{пр1} , кВ	U _{пр2} , кВ	U _{пр3} , кВ	U _{пр4} , кВ	U _{пр5} , кВ	U _{пр. ср} , кВ	E _{пр} , кВ/мм

Таблица 4

Значения пробивных напряжений в неоднородном поле неоднородного диэлектрика

h, мм	U _{пр1} , кВ	U _{пр2} , кВ	U _{пр3} , кВ	U _{пр4} , кВ	U _{пр5} , кВ	U _{пр. ср} , кВ	E _{пр} , кВ/мм

2.5. Исследовать влияние температуры нагрева диэлектрика на электрическую прочность:

2.5.1. Выбрать материал из списка выпадающего меню и занести его название в таблицу 5.

2.5.2. Задать температуру нагрева диэлектрика и после подачи напряжения на образец увеличить напряжение до пробивного значения. Данные занести в таблицу 5.

2.5.3. Выполнить пункт 2.5.2 не менее чем для пяти значений температуры нагрева диэлектрика.

2.5.4. Выполнить пункты 2.5.1 – 2.5.3 еще для трех материалов, указанных преподавателем. Результаты испытаний занести в таблицу 5.

Таблица 5

Влияние температуры на электрическую прочность

Название материала № 1	t, °C					
	U _{пр} , кВ					
Название материала № 2	t, °C					
	U _{пр} , кВ					
Название материала № 3	t, °C					
	U _{пр} , кВ					
Название материала № 4	t, °C					
	U _{пр} , кВ					

2.6. Определить электрическую прочность твердых диэлектриков:

2.6.1. Выбрать материал из списка меню и занести его название в таблицу 6.

2.6.2. Произвести пять пробоев образца, заносая данные испытаний в таблицу 6.

2.6.3. Определить электрическую прочность еще двух диэлектриков. Результаты испытаний занести в таблицу 6.

Таблица 6

Измерение электрической прочности диэлектриков

Название материала	U _{пр1} , кВ	U _{пр2} , кВ	U _{пр3} , кВ	U _{пр4} , кВ	U _{пр5} , кВ	U _{пр ср} , кВ

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

3.1. Цель работы и порядок выполнения работы.

3.2. Построить в одних координатных осях графики зависимостей пробивного напряжения однородного диэлектрика от его толщины в однородном и неоднородном электрических полях.

3.3. Построить в одних координатных осях графики зависимостей пробивного напряжения неоднородного диэлектрика от его толщины в однородном и неоднородном электрических полях.

3.4. Построить зависимость пробивного напряжения диэлектриков от температуры.

3.5. Сделать вывод о влиянии характера электрического поля и температуры на напряжение пробоя твердого диэлектрика.

3.6. Ответить на контрольные вопросы.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

4.1. Что такое электрическая прочность диэлектрика?

4.2. Принцип деления твердых диэлектриков на однородные и неоднородные.

4.3. Основные виды пробоев твердых диэлектриков.

4.4. Влияние толщины диэлектрика на электрическую прочность при электрическом и тепловом пробоях.

4.5. Механизм теплового пробоя диэлектрика.

4.6. Какова зависимость электрической прочности от толщины для однородных и неоднородных диэлектриков?

4.7. Механизм электрического пробоя твердого диэлектрика.

4.8. Почему электрическая прочность твердых диэлектриков больше, чем у газов?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров, В.В. Техника высоких напряжений. Перенапряжения в устройствах электрической тяги. Профилактические испытания изоляции: учебное пособие / В.В. Егоров. - М. : Маршрут, 2004. - 188 с. - ISBN 589035-129-X; [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232709>

2. Балашов О.П. Техника высоких напряжений: Учебное пособие для студентов специальности 140400 всех форм обучения / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2012. 70с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА ПО ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО ДИЭЛЕКТРИКА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение разряда по поверхности твердого диэлектрика в зависимости от конфигурации электрического поля, расстояния между электродами и толщины диэлектрика.

2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Ознакомиться с основными понятиями и теоретическими сведениями об электрических разрядах по поверхности твердого диэлектрика [1-3].

2.2. Ознакомиться со схемой экспериментальной установки (рисунок 1), расположением ее элементов и объектов испытания.

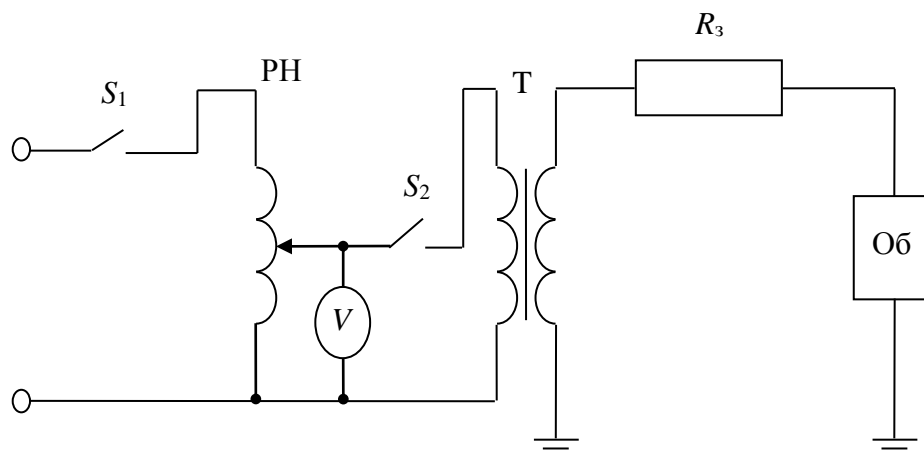


Рисунок 1. Принципиальная электрическая схема установки:
РН – регулятор напряжения, Т– высоковольтный трансформатор,
 R_3 – защитное сопротивление; S1, S2 – выключатели

2.3. Исследовать лист диэлектрика из стекла толщиной 3 мм, который располагается на изолирующих подставках (промежуток с преобладающей тангенциальной составляющей электрического поля). По центру диэлектрика находится высоковольтный электрод (ВЭ), а заземленный электрод (ЗЭ) расположить на расстоянии 3см от ВЭ.

2.4. Включить установку. Медленно повышать высокое напряжение.

2.5. Определить напряжение появления короны и полного перекрытия промежутков с преобладающей тангенциальной составляющей для 4–6 значений межэлектродного расстояния (в пределах от 3 см до 12 см) при воздействии переменного напряжения промышленной частоты. Результаты занести в таблицу 1.

2.6. Увеличить толщину стекла в 2–3 раза и проделать пункты 2.4–2.5. Результаты занести в таблицу 1.

Результаты измерений

№ п/п	l , см	d , мм	$U_{\text{короны}}$, кВ	$U_{\text{ск.р.}}$, кВ	$U_{\text{перекр.}}$, кВ	$U_{\text{перекр. расчет}}$, кВ	Примечание
1							$E_{\tau} > E_n$
2							
3							
4							
5							
6							
1							$E_{\tau} > E_n$
2							
3							
4							
5							
6							
1							$E_{\tau} < E_n$
2							
3							
4							
5							
6							
1							$E_{\tau} < E_n$
2							
3							
4							
5							
6							

2.7. Положить лист из стекла 3 мм на заземленную подложку (промежуток с преобладающей нормальной составляющей электрического поля). По центру диэлектрика установить высоковольтный электрод (ВЭ), заземленный электрод (ЗЭ) расположить на расстоянии 3 см от ВЭ.

2.8. Определить напряжение появления короны, скользящих разрядов и напряжения перекрытия для тех же значений межэлектродного расстояния (как в п. 2.5) при воздействии переменного напряжения в промежутке с преобладающей нормальной составляющей электрического поля.

2.9. Для изменения удельной поверхностной емкости необходимо изменять толщину диэлектрика в 2–3 раза. Прodelать все то же, что и в пунктах 2.7–2.8. Результаты занести в таблицу.

2.10. Построить графики $U_{\text{короны}} = f(l)$, $U_{\text{ск.р.}} = f(l)$, $U_{\text{перекр.}} = f(l)$, по результатам опытов.

2.11. Используя теоретический материал [1-3], рассчитать значения напряжения перекрытия для межэлектродных расстояний, использованных в эксперименте, и построить графики $U_{\text{перекр.расчет.}} = f(l)$.

2.12. Проанализировать полученные зависимости, сопоставить экспериментальные и расчетные данные и сделать выводы о характере разрядных процессов.

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

3.1. Цель работы и порядок выполнения работы.

3.2. Представить заполненную таблицу результатов измерений.

3.3. Представить в одних координатных осях графики зависимостей напряжения короны, скользящего разряда и перекрытия от различных значений межэлектродного расстояния при воздействии переменного напряжения в промежутке с преобладающей нормальной составляющей электрического поля.

3.4. Представить в одних координатных осях графики зависимостей напряжения короны, скользящего разряда и перекрытия от различных значений межэлектродного расстояния при воздействии переменного напряжения в промежутке с преобладающей тангенциальной составляющей электрического поля.

3.5. Представить выводы о характере разрядных процессов по поверхности твердого диэлектрика.

3.6. Ответить на контрольные вопросы.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

4.1. С чем связано искажение электрического поля при помещении диэлектрика в равномерное поле?

4.2. Какое влияние оказывает неплотное прилегание электродов на разрядное напряжение вдоль поверхности диэлектриков?

4.3. Для каких изоляционных конструкций характерно электрическое поле с преобладающей тангенциальной составляющей, для каких конструкций с нормальной?

4.4. Что делается в реальных условиях работы электроэнергетических систем для увеличения разрядных напряжений по поверхности изоляторов?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бочаров, Ю.Н. Техника высоких напряжений : учебное пособие / Ю.Н. Бочаров, С.М. Дудкин, В.В. Титков ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. - СПб : Издательство Политехнического

университета, 2013. - 265 с. : схем., ил., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7422-3998-7; [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=363032>

2. Перенапряжение и молниезащита: водный транспорт : учебное пособие / Н.Н. Лизалек, О.А. Князева, К.С. Мочалин и др. ; под ред. С.В. Горелов, В.П. Горелов. - 5-е изд. - М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 360 с. : ил., схем., табл. - Библиогр.: с. 290-291. - ISBN 978-5-4475-5858-1; [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=364598>

3. Балашов О.П. Техника высоких напряжений: Учебное пособие для студентов специальности 140400 всех форм обучения /Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2012. 70с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

ИССЛЕДОВАНИЕ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Знакомство с основными понятиями и теоретическими сведениями о молниезащите объектов. Исследование зоны защиты одиночного и двойного стержневого молниеотвода от геометрических размеров объекта.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Ознакомиться с основными понятиями и теоретическими сведениями о молниезащите объектов [1-3].

2.2. Ознакомиться с работой виртуальной лабораторной установки.

2.3. Определить ожидаемое количество поражений объекта молнией в год:

2.3.1. На основании исходных данных задать геометрические размеры объекта и среднегодового числа ударов молнии, определить количество поражений для объекта, находящегося в зоне Западной Сибири.

2.3.2. Записать данные полученного расчета.

2.4. Для выданного здания провести исследование зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода при изменении его высоты и выполнить анализ защиты предлагаемого объекта:

2.4.1. На основании исходных данных задать значение величины высоты молниеотвода и высоты защищаемого объекта, определить зону защиты, создаваемую молниеотводом. Выполнить расчет. Полученные значения геометрических размеров зоны занести в таблицу 1.

2.4.2. Изменить значение высоты молниеотвода и повторить расчет. Данные расчета записать в таблицу 1. Провести дополнительно четыре таких расчета.

2.4.3. Провести анализ зоны защиты молниеотвода и защищаемого объекта.

Таблица 1

Размеры зоны защиты для одиночного молниеотвода

Высота молниеотвода h , м	18	20	22	24	26
Высота h_x над землей, м					
Высота зоны защиты h_0 над землей, м					
Радиус зоны защиты r_0 на уровне земли, м					
Радиус зоны защиты r_x на высоте h_x над землей, м					

2.5. Для выданного здания провести исследование зоны защиты двухстержневого молниеотвода одинаковой высоты при изменении его высоты и выполнить анализ защиты предлагаемого объекта:

2.5.1. На основании исходных данных задать значение величины высоты молниеотвода и высоты защищаемого объекта, определить зону защиты, создаваемую молниеотводом. Выполнить расчет. Полученные значения геометрических размеров зоны занести в таблицу 2.

2.5.2. Изменить значение высоты молниеотвода и повторить расчет. Данные расчета записать в таблицу 2. Провести дополнительно четыре таких расчета.

2.5.3. Провести анализ зоны защиты молниеотводов и защищаемого объекта.

Таблица 2

Размеры зоны защиты для двухстержневого молниеотвода

Высота молниеотвода h , м	18	20	22	24	26
Расстояние между молниеотводами ℓ , м					
Высота h_x над землей, м					
Высота зоны защиты h_c над землей, м					
Ширина зоны защиты r_c на уровне земли, м					
Ширина зоны защиты r_{cx} на высоте h_x над землей, м					

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

3.1. Цель и порядок выполнения работы.

3.2. Представить один расчет молниезащиты для одиночного молниеотвода.

3.3. Представить один расчет молниезащиты для двухстержневого молниеотвода.

3.4. Сделать вывод о защите объекта стержневыми молниеотводами.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

4.1. Какая высота называется «высотой ориентировки молнии»; ее величина?

4.2. Какая зона называется «зоной защиты» одиночного молниеотвода?

4.3. Какая зона называется «зоной 100% поражения»?

4.4. Какое предельное расстояние между молниеотводами, образующими общую зону защиты?

4.5. Какими молниеотводами осуществляется защита ОРУ?

4.6. Где устанавливаются стержневые молниеотводы?

4.7. Какие молниеотводы соединяются с защитным ЗУ ОРУ?

4.8. Где применяются тросовые молниеотводы?

4.9. Чем характеризуется защитная зона тросового молниеотвода?

4.10. Из каких частей состоит стержневой молниеотвод?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бочаров, Ю.Н. Техника высоких напряжений : учебное пособие / Ю.Н. Бочаров, С.М. Дудкин, В.В. Титков ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. - СПб : Издательство Политехнического университета, 2013. - 265 с. : схем., ил., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7422-3998-7; [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=363032>

2. Перенапряжение и молниезащита: водный транспорт : учебное пособие / Н.Н. Лизалек, О.А. Князева, К.С. Мочалин и др. ; под ред. С.В. Горелов, В.П. Горелов. - 5-е изд. - М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 360 с. : ил., схем., табл. - Библиогр.: с. 290-291. - ISBN 978-5-4475-5858-1; [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=364598>

3. Балашов О.П. Техника высоких напряжений/ Часть II: Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 140400 «Электроэнергетика и электротехника», всех форм обучения /Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2013. 58 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Знакомство с основными понятиями и теоретическими сведениями о заземлении электроустановок. Исследование конфигурации заземляющего устройства от величины нормируемого сопротивления, климатической зоны и длины вертикального электрода.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Ознакомиться с основными понятиями и теоретическими сведениями о заземляющих устройствах [1, 2].

2.2. Ознакомиться с работой виртуальной лабораторной установки.

2.3. Провести исследование заземляющего устройства при изменении нормируемого сопротивления:

2.3.1. На основании исходных данных задать значение величины нормируемого рабочего сопротивления заземления в меню программы, вид заземления и выполнить расчет. Полученное значение количества вертикальных электродов записать в таблицу 1.

2.3.2. Изменить значение величины нормируемого рабочего сопротивления заземления в меню программы («нормируемое сопротивление заземляющего устройства») и повторить расчет. Полученное значение количества вертикальных электродов записать в таблицу 1. Провести дополнительно четыре таких расчета.

Таблица 1

Исследование заземляющего устройства

Нормируемое сопротивление заземляющего устройства	1 Ом	2 Ом	3 Ом	4 Ом	5 Ом
Количество вертикальных электродов (N_B)					

2.4. Провести исследование заземляющего устройства при изменении климатической зоны расположения заземляющего устройства:

2.4.1. На основании исходных данных задать значение величины нормируемого рабочего сопротивления заземления в меню программы, вид заземления, климатической зоны («сезонный климатический коэффициент») и выполнить расчет. Полученное значение количества вертикальных электродов записать в таблицу 2.

2.4.2. Изменить значение климатической зоны в меню программы («сезонный климатический коэффициент») и повторить расчет. Полученное значение количества вертикальных электродов записать в таблицу 2. Провести дополнительно три таких расчета.

Таблица 2

Исследование заземляющего устройства

Климатическая зона	I	II	III	IV
Количество вертикальных электродов (N_B)				
Нормируемое сопротивление заземляющего устройства	1 Ом			

2.5. Провести исследование заземляющего устройства при изменении длины вертикального электрода заземляющего устройства:

2.5.1. На основании исходных данных задать значение величины нормируемого рабочего сопротивления заземления в меню программы («нормируемое сопротивление заземляющего устройства»), вид заземления («рабочее заземление»), длину вертикального заземлителя («вертикальный заземлитель») и выполнить расчет. Полученное значение количества вертикальных электродов записать в таблицу 3.

2.5.2. Изменить значение длины вертикального заземлителя в меню программы («вертикальный заземлитель») и повторить расчет. Полученное значение количества вертикальных электродов записать в таблицу 3. Провести дополнительно четыре таких расчета.

Таблица 3

Исследование заземляющего устройства

Длина вертикального заземлителя, м	2	2,5	3	4	5
Количество вертикальных электродов (N_B)					
Нормируемое сопротивление заземляющего устройства	1 Ом				

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

3.1. Цель и порядок выполнения работы.

3.2. Представить один из расчетов заземляющего устройства.

3.3. Построить график зависимости количества вертикальных электродов от величины нормируемого сопротивления.

3.4. Построить график зависимости количества вертикальных электродов от номера климатической зоны.

3.5. Построить график зависимости количества вертикальных электродов от длины вертикального электрода.

3.6. Сделать вывод о использовании заземляющих устройств для электроустановок.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

4.1. Что называется заземлением?

4.2. Виды заземлений и их назначение.

4.3. Из каких частей состоит ЗУ?

- 4.4. Какие бывают заземлители?
- 4.5. Что применяют в качестве искусственных заземлителей?
- 4.6. Что применяют в качестве естественных заземлителей?
- 4.7. Как определяется допустимое сопротивление ЗУ для:
- а) ЭУ выше 1000 В с эффективно заземленной нейтралью;
 - б) ЭУ выше 1000 В с изолированной нейтралью;
 - в) ЭУ до 1000 В?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перенапряжение и молниезащита: водный транспорт : учебное пособие / Н.Н. Лизалек, О.А. Князева, К.С. Мочалин и др. ; под ред. С.В. Горелов, В.П. Горелов. - 5-е изд. - М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 360 с. : ил., схем., табл. - Библиогр.: с. 290-291. - ISBN 978-5-4475-5858-1; [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=364598>

2. Балашов О.П. Техника высоких напряжений/ Часть II: Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 140400 «Электроэнергетика и электротехника», всех форм обучения /Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2013. 58 с.

Балашов Олег Петрович

ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Методические указания к лабораторным работам для студентов направления «Электроэнергетика и электротехника» очной формы обучения

Редактор Е.Ф. Изотова

Подписано к печати 20.11.15. Формат 60x84 /16.

Усл. печ. л. 1,56. Тираж 50 экз. Заказ 151541. Рег. № 171.

Отпечатано в РИО Рубцовского индустриального института
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6.