

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1.2 Перечень основной литературы:

1. Бочаров Ю.Н. Техника высоких напряжений [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю.Н. Бочаров, С.М. Дудкин, В.В. Титков. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2013. — 265 с. — 978-5-7422-3998-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/43976.html>

5.1.3 Перечень дополнительной литературы:

1. .Щеглов, Н. В. Современные виды изоляции. Часть 2. Изоляция высоковольтных вводов [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н. В. Щеглов. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2010. — 72 с. — 978-5-7782-1317-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45161.html>

5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Техника высоких напряжений».
2. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Техника высоких напряжений».
3. Методические указания по выполнению контрольной работы по дисциплине «Техника высоких напряжений».
4. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Техника высоких напряжений».

5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению контрольной работы
по дисциплине «ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Содержание

№ п/п		Стр.
	Введение	
1.	Цель, задачи и реализуемые компетенции дисциплины	
2.	Формулировка задания и ее объем	
3.	Общие требования к написанию и оформлению работы	
4.	Рекомендации по выполнению задания	
5.	План-график выполнения задания	
6.	Критерии оценивания работы	
7.	Порядок защиты работы	
8.	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	
8.1	Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины	
8.2	Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	
8.3	Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины	

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Введение

Одним из основных видов занятий по курсу дисциплины «Техника высоких напряжений» является выполнение контрольной работы. Предлагаемые в методическом указании задания охватывают весь основной материал курса и соответствуют утвержденной программе.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

1. Цель, задачи и реализуемые компетенции дисциплины

Основными целями дисциплины являются: формирование у студентов стройной и устойчивой системы знаний о фундаментальных закономерностях зажигания и развития электрических разрядов в диэлектрических средах, механизмах пробоя диэлектриков при воздействии сильных электрических полей, видах изоляции высоковольтного оборудования и методах контроля ее состояния, способах получения и измерения высоких напряжений, природе возникновения перенапряжений и способов защиты от них.

В результате освоения данной дисциплины обеспечивается достижение целей основной образовательной программы «Электроэнергетика и электротехника»; приобретенные знания, умения и навыки позволят подготовить выпускника:

– способного к расчету, анализу и проектированию электроэнергетических элементов, объектов и систем с использованием современных средств автоматизации проектных разработок;

– научно-исследовательской деятельности, в том числе в междисциплинарных областях, связанной с математическим моделированием процессов в электроэнергетических системах и объектах, проведением экспериментальных исследований и анализом их результатов;

– к самостоятельному обучению и освоению новых знаний и умений для реализации своей профессиональной карьеры.

При выполнении контрольной работы реализуются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения	ИД-3 _{ПК-1} Обосновывает выбор параметров электрооборудования систем электроснабжения, учитывая технические ограничения	Знает основные физические явления, механизмы воздействия электромагнитных полей высокого напряжения на изоляцию в различных условиях эксплуатации. Умеет обосновывать выбор параметров электрооборудования систем электроснабжения объектов, учитывая технические ограничения и условия эксплуатации.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

		Владеет навыками выбора параметров электрооборудования систем электропитания объектов, учитывая технические ограничения и условия эксплуатации.
--	--	---

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**
 Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
 Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
 Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

2. Формулировка задания и ее объем

Задание №1

Высоковольтная линия электропередач (ВЛ) с номинальным напряжением U и волновым сопротивлением $Z_{\text{пр}} = 300$ Ом расположена в зоне грозовой деятельности.

Импульсная прочность изоляции ВЛ равна $U_{\text{и}}$, высота металлической опоры и высота подвеса провода равна h , стрела провеса провода равна f , индуктивность единицы длины опоры $L_0 = 0,5 \cdot 10^{-6}$ Гн/м, импульсное сопротивление заземления опоры $R_3 = 10$ Ом.

Требуется определить величину перенапряжения на ВЛ, кратность перенапряжения и вероятность перекрытия изоляции во время разряда молнии с амплитудой I_m и длительностью нарастания (фронта) косоугольной волны тока равной $\tau_f = 10^{-6}$ с:

- при ударе молнии в опору;
- при ударе молнии в провод;
- при ударе молнии на расстоянии «а» от ВЛ.

Значения всех переменных параметров для соответствующих вариантов приведены в табл. 1.1 и 1.2.

Таблица 1.1 – Исходные данные к расчету задачи №1

Показатели	Вариант (предпоследняя цифра шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Напряжение линии, U , кВ	10	35	110	35	10	110	10	35	110	10
Импульсная прочность изоляции линии $U_{\text{и}}$, кВ	120	3501	650	350	120	650	120	350	650	120
Высота подвеса провода h , м	10	12	16	14	11	18	10	15	18	11
Стрела провеса провода f , м	1,5	2	3	2,5	2	4	1,8	3,5	4,5	1,8
Амплитуда тока молнии I_m , кА	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Расстояние от места удара молнии до ВЛ «а», м	5	7,5	10	12	13	14	15	18	19	20

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Задание №2

Для защиты объекта с шириной «а», длиной «в» и высотой «h» от прямых ударов молнии с амплитудой I_m и временем нарастания фронта $\tau_f=10-6$ с установлен одиночный молниеотвод. Глубина нижнего конца фундамента молниеотвода от поверхности земли $h_{\phi}=3,2$ м, ширина фундамента $a_{\phi}=0,8$ м, удельное сопротивление земли ρ , Ом·м. Схема расположения молниеотвода и защищаемого объекта приведена на рис. 2.1.

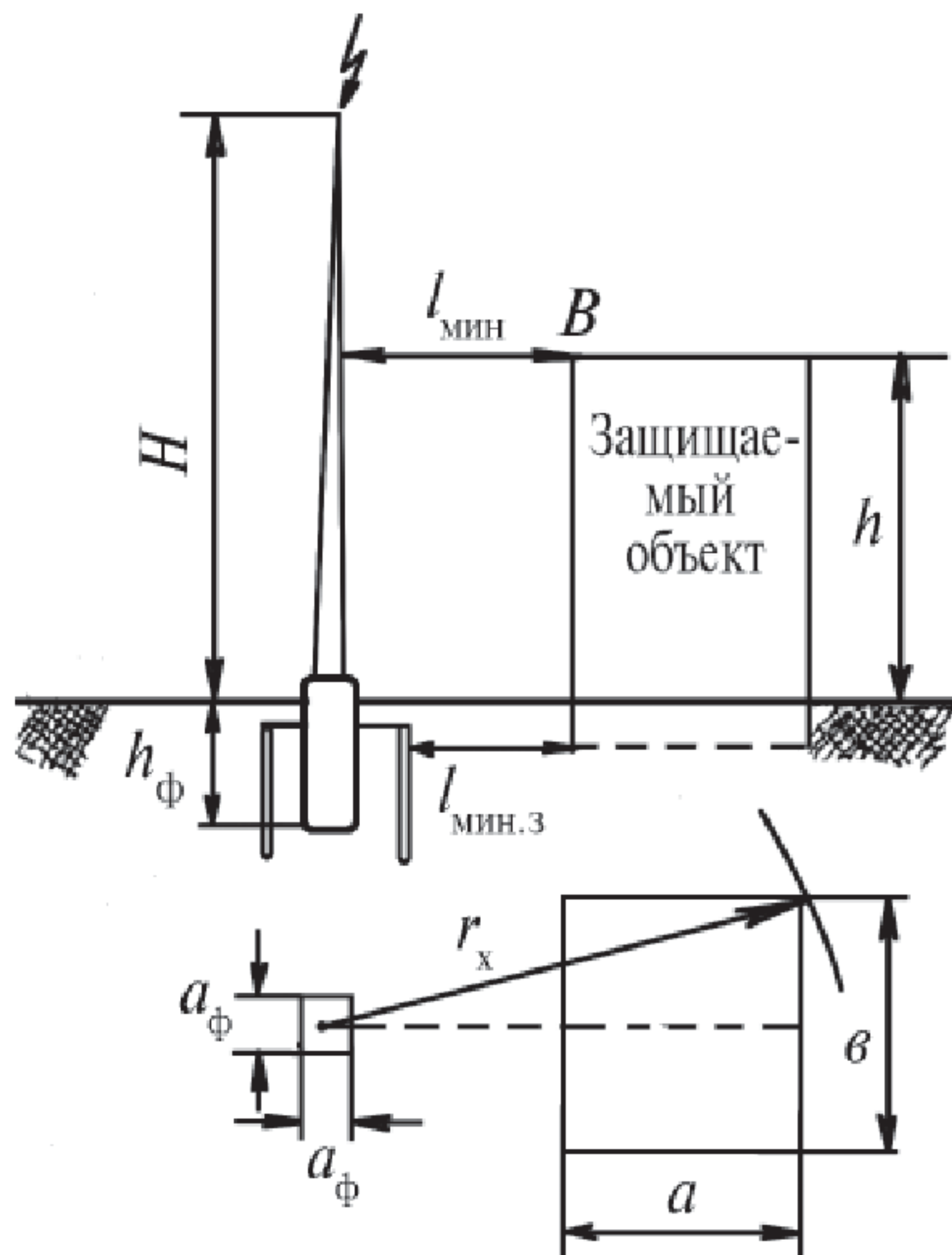


Рисунок 2 – Схема расположения молниеотвода и защищаемого объекта

1. Рассчитать устройство заземления молниеотвода, состоящее из естественного заземлителя (фундамента молниеотвода) и искусственного заземлителя из условий, что допустимое импульсное сопротивление устройства заземления R_z не должно превышать 10 Ом. Начертить эскиз контура заземления совместно с защищаемым объектом.

2. Рассчитать минимально допустимые расстояния от молниеотвода до защищаемого объекта, радиус зоны защиты r_x на высоте объекта h и высоту молниеотвода H . На эскизе показать сечение зоны защиты стержневого молниеотвода. Значения соответствующих временных параметров для различных вариантов задания приведены в табл. 2.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 200000043E9A55B952203E7BA30000000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

3. В расчетно-пояснительной записке привести условие задачи исходные данные выбранного варианта. Нарисовать схему расположения молниеотвода и защищаемого объекта.

4. Рассчитать импульсное сопротивление фундамента молниеотвода. Импульсный коэффициент для сопротивления фундамента вне зависимости от сопротивления грунта принять $\delta_{\text{иф}} = 0,8$, а глубина нижнего конца фундамента $t = h_{\text{ф}}$.

5. Рассчитать необходимое импульсное сопротивление искусственного заземлителя.

6. Рассчитать импульсное сопротивление, состоящее из двух горизонтальных полос и по неравенству сделать вывод о достаточности этого сопротивления.

7. Если неравенство не выполняется, изменяя количество или длину труб продолжить расчет импульсного сопротивления искусственного заземлителя до тех пор, пока не будет выполняться неравенство (2.9).

8. Рассчитать минимально допустимые расстояния от молниеотвода до защищаемого объекта радиус зоны защиты r_x на высоте объекта h по формуле и высоту молниеотвода H по формуле. При расчете по формуле принять, что $L_0 = 1 \cdot 10^{-6}$ Гн/м, $\alpha_{\text{ср}}$ вычислить.

9. Начертить эскиз контура заземления совместно с защищаемым объектом.

10. На эскизе показать сечение зоны защиты стержневого молниеотвода и взаимное расположение защищаемого объекта и искусственных заземлителей.

Таблица 2 – Исходные данные для расчета задачи №2

Показатели	Вариант (предпоследняя цифра шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Амплитуда тока молнии $I_m, \text{кА}$	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Удельное сопротивление грунта $\rho, \text{Ом}\cdot\text{м}$	100	200	500	200	100	200	500	200	100	500
Ширина объекта $a, \text{м}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8
Длина объекта $b, \text{м}$	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
Высота объекта $h, \text{м}$	12	11	10	9,5	9,0	10,5	12,5	11,5	8,5	8,0

Задание №3

Определить число изоляторов в поддерживающей гирлянде промежуточной опоры по удельной нормированной длине пути утечки. ЛЭП проходит на высоте менее 1000 м над уровнем моря. остальные необходимые данные и варианты заданий приведены в табл.3

Документ подписан электронной подписью	
Сертификат:	2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023	

Таблица 3 – Исходные данные для расчета задачи №3

Показатели	Вариант (предпоследняя цифра шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номинальное напряжение линии, кВ	110	220	330	500	750	110	220	330	500	750
Тип опоры	ж/б	ж/б	ж/б	мет	мет	ж/б	ж/б	ж/б	мет	мет
Степень загрязнения атмосферы	1	2	3	4	4	4	3	2	1	2
Тип изолятора	ПС70Е	ПС120Б	ПС160Д	ПС210В	ПС300В	ПС70Е	ПС70Е	ПС120Б	ПС160Д	ПС160Д
Диаметр тарелки D, мм	255	255	280	300	320	255	255	255	280	280
Строительная высота H, мм	127	146	170	195	195	146	146	146	170	170
Длина пути утечки $L_{и}$, мм	303	320	370	370	390	303	320	370	370	390

Задание №4

Внутренняя изоляция высоковольтного оборудования состоит из двух слоев, имеющих в установившемся режиме соответственно сопротивление утечки R_1 , R_2 и емкости слоев C_1 и C_2 .

Требуется по характеру изменения тока абсорбции и значению сопротивления изоляции в исходном состоянии изоляции и при уменьшении сопротивления первого слоя в 100 раз ($0,01R_1$) дать заключение о качестве изоляции и определить допустимость степени увлажнения.

Тангенс угла диэлектрических потерь при температуре $T_0 = 20^\circ\text{C}$ равен — $\text{tg}\delta_0$; коэффициент, характеризующий температурную зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от температуры, равен — α .

Требуется рассчитать и построить графики зависимости тангенса диэлектрических потерь и мощности потерь в диэлектрике при изменении температуры от 20°C до 100°C и приложении переменного напряжения $U = 10$ кВ с частотой 50 Гц. Значения всех переменных параметров для соответствующих вариантов приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Исходные данные для расчета задачи №4

Показатели	Вариант (предпоследняя цифра шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R_1, 10^6, \text{Ом}$	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
$C_1, 10^{-6}, \text{Ф}$	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,6	2,4	2,2	2,0	1,8
$R_2, 10^6, \text{Ом}$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
$C_2, 10^{-6}, \text{Ф}$	36	34	30	32	28	26	24	22	20	18
$\text{tg}\delta_0, 10^{-3}$	4,0	3,8	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,6	2,4	2,2
$\alpha, 10^{-3}, ^\circ\text{C}^{-1}$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

3. Общие требования к написанию и оформлению работы

Основные требования к работе

При выполнении и оформлении контрольной по ГОСТу надо учитывать общие требования, которые предъявляются к работе:

- студент должен придерживаться заданной тематики;
- запрещено менять тему самостоятельно без обращения к преподавателю;
- при оформлении работы нужно учитывать нормы и ГОСТы;
- контрольная выполняется на основании не менее семи источников, выбранных автором;
- работа должна быть авторской, в ней должны содержаться собственные выводы студента;
- текст контрольной должен иметь объем не менее 7 листов.

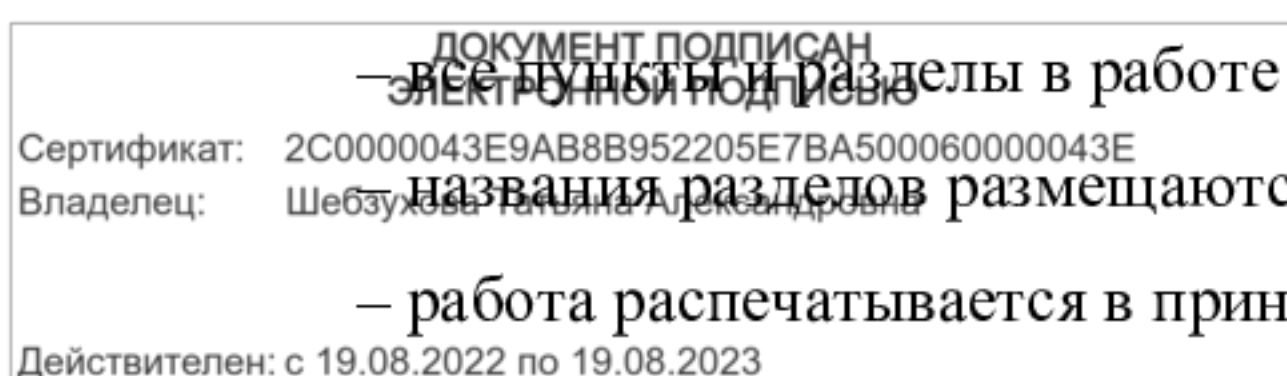
Оформление по ГОСТу текста контрольной

Когда работа выполнена, ее необходимо привести в соответствующий вид согласно ГОСТам:

- контрольную набирают в Word или другом текстовом редакторе с аналогичным функционалом;
- при наборе нужно использовать шрифт Times New Roman;
- интервал между строк — полуторный;
- размер шрифта — 14;
- текст выравнивается по ширине;
- в тексте делают красные строки с отступом в 12,5 мм;
- нижнее и верхнее поля страницы должны иметь отступ в 20 мм;
- слева отступ составляет 30 мм, справа — 15 мм;
- контрольная всегда нумеруется с первого листа, но на титульном листе номер не ставят;
- номер страницы в работе всегда выставляется в верхнем правом углу;
- заголовки работы оформляются жирным шрифтом;
- в конце заголовков точка не предусмотрена;
- заголовки набираются прописными буквами;

- все пункты и разделы в работе должны быть пронумерованы арабскими цифрами;
- названия разделов размещаются посередине строки, подразделы — с левого края;

- работа распечатывается в принтере на листах А4;



– текст должен располагаться только на одной стороне листа.

Работа имеет такую структуру:

1. Титульный лист;
2. Оглавление и введение;
3. Основной текст и расчет контрольной;
4. Заключительная часть работы;
5. Перечень использованной литературы и источников;
6. Дополнения и приложения.

Если в работе есть приложения, о них надо упоминать в оглавлении.

Ссылки нумеруются арабскими цифрами, при этом учитывают структуру работы (разделы и подразделы).

4. Рекомендации по выполнению задания

Указание к решению задачи №1

Молния представляет собой электрический разряд между облаком и землей или между облаками.

На начальной стадии, называемой лидерной, канал разряда молнии развивается ступенчато. Ступени следуют друг за другом с интервалом $30 \div 50$ мкс. Во время каждой ступени канал удлиняется на $5 \div 100$ м. Канал лидера окружен обширной зоной ионизации. Зона ионизации лидера имеет избыточный заряд того же знака, что и облако. Заряды облака и лидера индуктируют на поверхности земли и на расположенных на ней объектах заряды другого знака.

Когда канал лидера соединяется с землей или объектом, расположенным на земле, начинается главная стадия разряда. Во время этой стадии происходит нейтрализация зарядов, образовавшихся во время развития лидера. Процесс распространяется в направлении от земли к облаку со скоростью достигающей половины скорости распространения света и сопровождается сильным свечением канала молнии. Канал разряда, разогретый за очень короткое время до температуры $(20 \div 30)10^3$ °K, быстро расширяется, что вызывает распространение в окружающем воздухе ударной волны, вырождающейся в звуковую и воспринимаемой как гром.

Ток в канале молнии за несколько микросекунд достигает амплитуды $2 \div 250$ кА, а затем за время $25 \div 150$ мкс спадает до половины максимального значения.

Более подробные сведения о механизме развития молнии и молниезащиты можно найти в рекомендованной литературе [1; 2; 3; 4].

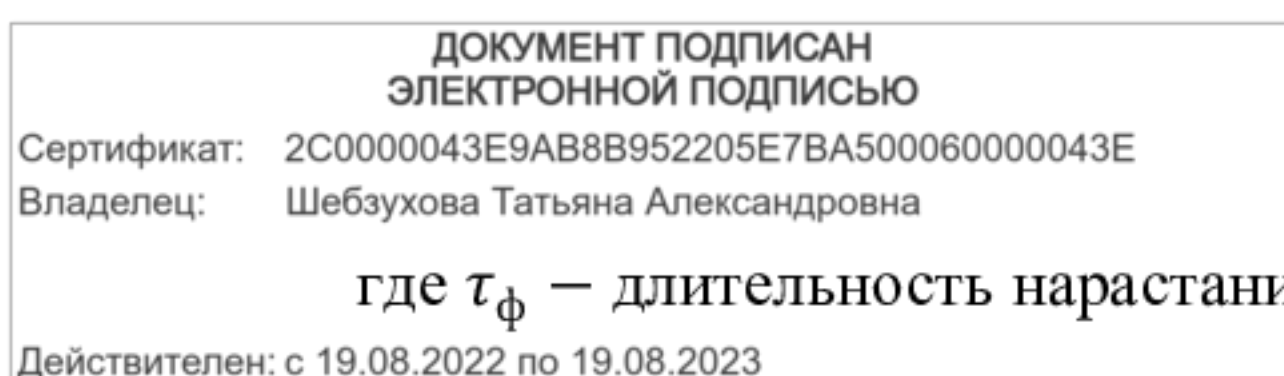
При расчетах перенапряжений и молниезащиты принимается во внимание, что волновое сопротивление канала молнии составляет более 1000 Ом и влияние сопротивлений заземлений с $R_z \leq 50$ Ом на амплитуду молнии можно не учитывать, т.е. рассматривать молнию как источник тока.

С точки зрения воздействия на изоляцию ВЛ кроме амплитуды тока молнии I_m важное значение имеет крутизна фронта тока молнии, поскольку она определяет индуктивное падение напряжения в проводниках и индуктированные напряжения в магнитно-связанных цепях.

При расчетах перенапряжений для удобства используют среднюю крутизну:

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{I_m}{\tau_{\text{ф}}}$$

где $\tau_{\text{ф}}$ — длительность нарастания (фронта) тока главного разряда



молнии.

Величина перенапряжения на вершине опоры при прямом ударе молнии в опору равна сумме падений напряжения на импульсном сопротивлении заземления и индуктивности опоры:

$$U_{\text{оп}} = R_z I_m + L_0 h \alpha_{\text{ср}}$$

где R_z – импульсное сопротивление опоры;

I_m – амплитуда тока молнии;

L_0 – удельная индуктивность опоры;

h – высота опоры.

Под таким же напряжением окажется и изоляция проводов линии электропередачи.

При ударе молнии в провод линии электропередач ток молнии растекается по пораженному проводу в обе стороны, поэтому амплитуда волны перенапряжения на проводах определяется по формуле:

$$U_{\text{пр}} = \frac{I_m * Z_{\text{пр}}}{2}$$

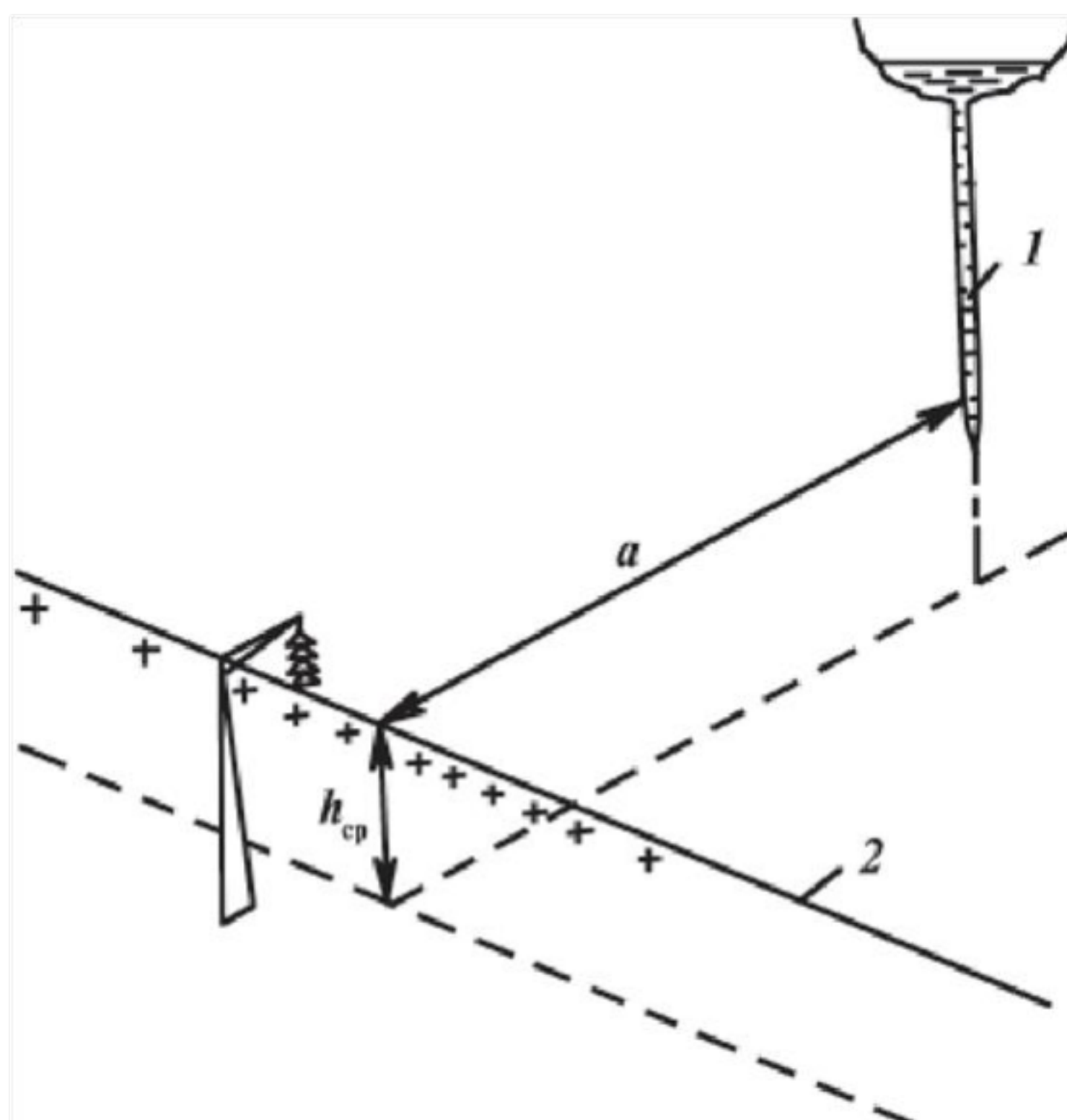


Рисунок 1 – Схема расположения ВЛЭП

Рассмотрим в упрощенной форме, как возникает электрическая составляющая индуктированного перенапряжения (рис. 1). При развитии лидерного канала молнии 1 вблизи

ВЛ заряды канала молнии связывают (наводят) на проводах 2 заряды противоположного

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шабоухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

знака (явление электрической индукции). Во время главного разряда, т.е. когда молния достигает земли, заряды лидера молнии нейтрализуются, при рис. 1 К объявлению образования этом связанные на проводе индуктированных перенапряжений:

Заряды освобождаются, что 1 — упрощенный вид канала лидера молнии; 2 — условный вид проводов

Сопровождается повыше- линии электропередач; (–) — заряды в нем потенциала провода канале лидера отрицательной полярности; и образованием импульса (+) — наведенные заряды положительной полярности на проводах напряжения, распространяющегося по проводу в обе стороны.

Максимальное значения $U_{из}$ прямо пропорционально амплитуде тока и средней высоте подвеса провода ($h_{ср}$) и обратно пропорционально кратчайшему расстоянию « a » от провода до точки удара молнии.

$$U_{из} = \frac{k_{э} * I_{м} * h_{ср}}{a}$$

где $k_{э}$ — коэффициент пропорциональности, имеющий размерность сопротивления и уменьшающийся при возрастании скорости главного разряда молнии.

Средняя высота подвеса провода на опорах ВЛ определяется по формуле:

$$h_{ср} = \frac{h - 2f}{3},$$

где h — высота подвеса провода на опорах ВЛ;

f — стрела провеса провода.

Изменение магнитного поля при главном разряде приводит к возникновению магнитной составляющей индуктированного напряжения в петле «опора-гирлянда изоляторов — провод-земля».

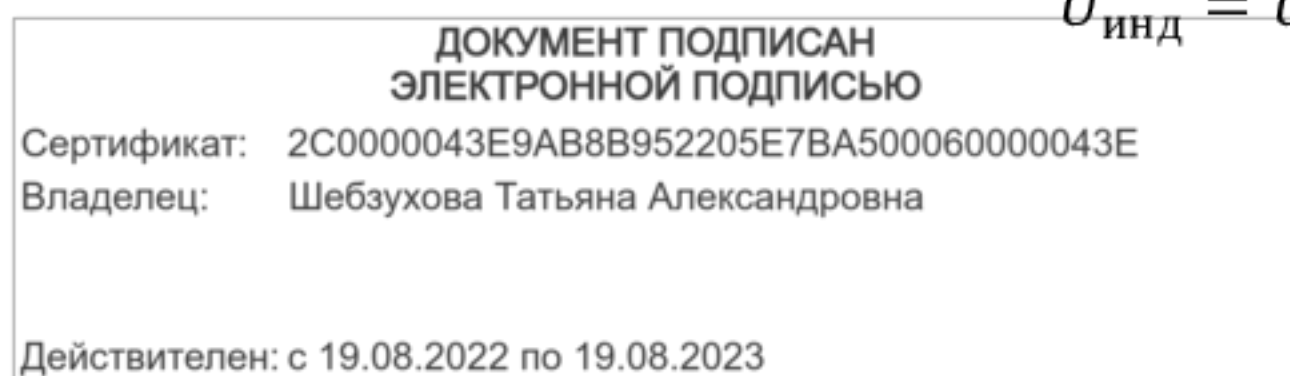
Максимальное значение $U_{им}$ также прямо пропорционально амплитуде тока и средней высоте подвеса провода, и обратно пропорционально кратчайшему расстоянию « a » от провода до точки удара молнии, но имеет свой коэффициент пропорциональности $k_{м}$.

$$U_{им} = \frac{k_{м} * I_{м} * h_{ср}}{a},$$

где $k_{м}$ — коэффициент пропорциональности, имеющий размерность сопротивления и увеличивающийся при возрастании скорости главного разряда молнии.

Максимальное значение индуктированного напряжения равно:

$$U_{инд} = U_{из} + U_{им} = \frac{30h_{ср}I_{м}}{a},$$



Значения перенапряжений, полученных по формулам (1.2), (1.3), (1.7) оценочные, поскольку не учитывают многие факторы, влияющие на величину перенапряжения. Например, не учитывается, что индуктированные перенапряжения возникают также и при ударах молнии в провода (тросы) и опоры и, накладываясь на перенапряжения прямого удара, увеличивают разность потенциалов на изоляции, что второе слагаемое в формуле (1.2) имеет существенное значение только в пределах фронта тока молнии.

Учет этих и других факторов значительно усложнил бы расчет перенапряжений.

Кратность перенапряжения изоляции линии определяется как отношение величины перенапряжения к амплитудному значению фазного напряжения линии:

$$\frac{U_n}{U_\phi} = \frac{U_n \sqrt{3}}{U \sqrt{2}}$$

где U_n - максимальное значение перенапряжения в зависимости от места удара молнии;

U - действующее (эффективное) значение номинального (междуфазного) напряжения ВЛ.

Для оценки вероятности перекрытия изоляции необходимо сравнивать рассчитанные значения перенапряжения ($U_{оп}$), ($U_{пр}$), ($U_{инд}$) с заданной импульсной прочностью изоляции ($U_{и}$). Перекрытие изоляции произойдет если:

$$U_{оп} = R_3 I_m + L_0 h \alpha_{ср} \geq U_{и},$$

$$U_{пр} = \frac{I_m * Z_{пр}}{2} \geq U_{и},$$

$$U_{инд} = \frac{30 h_{ср} I_m}{a} \geq U_{и}.$$

Как видим, перекрытие изоляции определяется амплитудой тока молнии и местом удара молнии.

Минимальная амплитуда молнии I_3 , при которой происходит перекрытие изоляции, при ударе молнии:

- В опору - $P_{пер.оп} = P(I_3) = \exp\left(-0.04 \frac{U_{и}}{R_3}\right)$
- В провод - $P_{пер.пр} = P(I_3) = \exp\left(-0.04 \frac{U_{и}}{\left(\frac{Z_{пр}}{2}\right)}\right)$
- На расстоянии « a » - $P_{пер.инд} = P(I_3) = \exp\left(-0.04 \frac{a * U_{и}}{30 h_{ср}}\right)$

Указание к решению задачи №2

Защита от прямых ударов молнии осуществляется с помощью молниеотводов.

Молниеотвод представляет собой возвышающееся над защищаемым объектом устройство, через которое ток молнии, минуя защищаемый объект, отводится в землю. Молниеотвод состоит из молниеприемника, непосредственно воспринимающего на себя удар молнии, токоотвода и заземлителя.

Молниеотводы по типу молниеприемника разделяются на стержневые и тросовые. Стержневые молниеотводы выполняются в виде вертикально установленных стержней (мачт), соединенных с заземлителем.

Токоотводом служат металлические или железобетонные опоры или стальные провода сечением не менее 50 мм^2 , активное сопротивление которых составляет доли ома, а индуктивность зависит прежде всего от его длины. Удельная индуктивность токоотводов L_o зависит от конструкции молниеотвода и изменяется в диапазоне $(0,4 \div 1,7)10^{-6} \text{ Гн/м}$.

Заземлители делятся на естественные и искусственные. В качестве естественных заземлителей стержневых молниеотводов используются их железобетонные фундаменты. Для искусственных заземлителей используются вертикальные и горизонтальные электроды (заземлители). Для горизонтальных заземлителей используется стальная или медная полоса с площадью поперечного сечения более 100 мм^2 для стали и 50 мм^2 для меди или многопроволочный медный канат с поперечным сечением не менее 35 мм^2 . В качестве вертикальных заземлителей применяются стальные трубы, стержни и профильная сталь.

Заземлитель характеризуется значением сопротивления, которое окружающая земля оказывает стекающему с него току. Сопротивление заземлителя зависит от его геометрических размеров и удельного сопротивления грунта ρ , в котором он находится.

Для приближенного расчета сопротивления заземления одиночного стержневого молниеотвода или линейной опоры используются следующие формулы:

- Сопротивление железобетонного фундамента

$$R_{\phi} = 1,7 * \left(\frac{\rho}{2\pi t} \right) \ln \left(\frac{4t}{b} \right), \text{ где } t = h_{\phi}$$

- Сопротивление горизонтальной полосы

$$R_{\text{пи}} = \frac{\left[\left(\frac{\rho}{\pi l} \right) \ln \left(\frac{1,5l}{\sqrt{bt}} \right) \right] \delta_{\text{и}}}{\eta_{\text{и}} * n}$$

- Сопротивление вертикальной трубы или стержня

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

$$R_{TP} = \left(\frac{\rho}{2\pi l} \right) \cdot \ln \cdot \left(\frac{4l(2t + l)}{d(4t + l)} \right)$$

где l – длина трубы или полосы;
 t – глубина залегания полосы, верхнего конца вертикального электрода или нижнего конца фундамента;
 b — ширина полосы или фундамента;
 d — диаметр трубы или стержня.

Рассчитанные по формулам сопротивления заземлителей называют стационарными.

При прохождении через заземлитель импульса тока молнии сопротивление заземлителя отличается от рассчитанного по формулам, так как при этом вокруг заземлителя образуются зоны искрения, которые как бы увеличивают размеры электродов. С другой стороны, быстрое нарастание импульсного тока создает падение напряжения на индуктивности протяженного заземлителя, что ограничивает отвод тока с удаленных его частей.

Влияния этих и ряда других факторов учитывается импульсным коэффициентом $\delta_{\text{и}}$.

Если заземлитель состоит из n труб или полос, то его импульсное сопротивление равно

$$R_{\text{фи}} = \frac{\delta_{\text{и}} * R_{\text{ф}}}{\eta_{\text{и}} * n},$$

где $\eta_{\text{и}}$ –импульсный коэффициент использования заземлителя, учитывающий ухудшение условий растекания тока молнии вследствие взаимного экранирования электродов.

Импульсные коэффициенты даже для конкретного расположения и размеров электродов не являются величиной постоянной и зависят от амплитуды тока, удельного сопротивления и пробивной напряженности грунта.

Усредненные значения $\delta_{\text{и}}$ и $\eta_{\text{и}}$ для некоторых конструкций заземлителей приведены в табл. 1.

Расчет сопротивления заземлителя начинается с определения сопротивления железобетонного фундамента по формулам

Поскольку импульсное сопротивление фундамента, как правило, больше допустимого значения заземлителя ($R_{\text{з}} = 10 \text{ Ом}$), то возникает необходимость сооружения дополнительного (искусственного) заземлителя. Параллельное соединение сопротивления фундамента и искусственного заземлителя не должно превышать 10 Ом. Поэтому импульсное сопротивление искусственного заземлителя вычисляется по следующей формуле

$$R_{\text{ии}} = \frac{R_{\text{з}} R_{\text{фи}}}{R_{\text{фи}} - R_{\text{з}}}$$

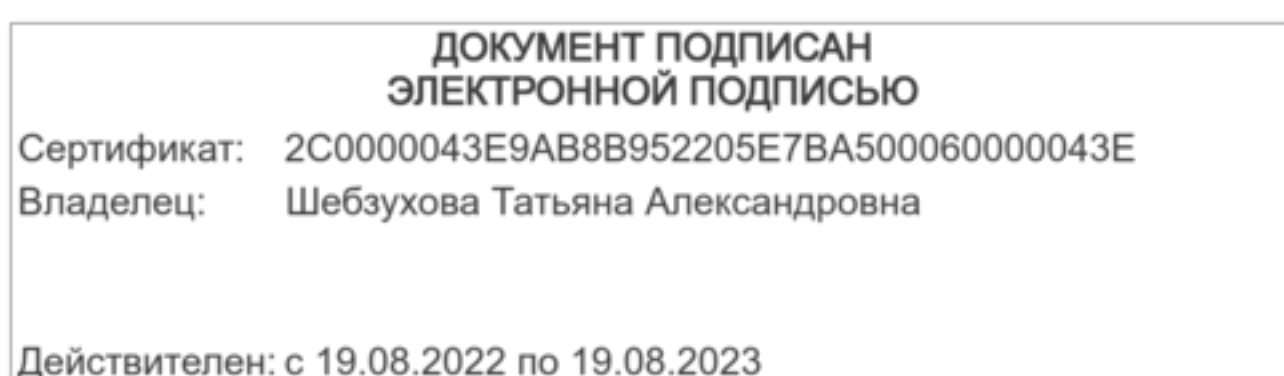


Таблица 1

Заземлитель	$\eta_{\text{и}}$	$\delta_{\text{и}}$ при удельном сопротивлении ρ , Ом·м		
		100 (глина, чернозем)	200 (суглинок)	500 (супесок)
Вертикальные стержни, соединенные полосой (расстояние между стержнями вдвое больше их длины) в количестве:	0,75			
2 – 4		0,5	0,45	0,3
8		0,7	0,55	0,4
15		0,8	0,7	0,55
Две горизонтальные полосы длиной по 5 м, расходящиеся в противоположные стороны от точки присоединения токоотвода	1,5	0,65	0,55	0,45

В качестве искусственного заземлителя в грунте с удельным сопротивлением $\rho = (100 \div 200)$ Ом·м следует выбрать наиболее простой искусственный заземлитель, состоящий из двух горизонтальных полос шириной 0,04 м и длиной по 5÷10 м, симметрично расходящихся от точки присоединения токоотвода и расположенных на глубине 0,5 м.

Импульсное сопротивление такого заземлителя вычисляется по формулам и равно

$$R_{\text{пи}} = \frac{\left[\left(\frac{\rho}{\pi l} \right) \ln \left(\frac{1.5l}{\sqrt{bt}} \right) \right] \delta_{\text{и}}}{\eta_{\text{и}} * n}$$

Значения коэффициентов $\delta_{\text{и}}$, $\eta_{\text{и}}$ выбирается по таблице 1.

Если импульсное сопротивление искусственного заземлителя в виде полос:

$$R_{\text{пи}} \leq R_{\text{ии}}$$

то общее импульсное сопротивление заземлителя

$$R_{\text{зи}} = \frac{R_{\text{фи}} \cdot R_{\text{пи}}}{R_{\text{фи}} + R_{\text{пи}}} \leq R_{\text{з}} = 10 \text{ Ом}$$

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Если неравенство не выполняется, то необходимо уменьшить импульсное сопротивление искусственного заземлителя. Для этого следует к горизонтальным полосам присоединить (с помощью сварки) вертикальные стержни в виде труб длиной $2 \div 3$ м с диаметром 0,05 см. Трубы к полосам присоединять на расстоянии вдвое больше их длины.

Импульсное сопротивление вертикальных труб равно

$$R_{\text{ТРИ}} = \frac{\left(\frac{\rho}{2\pi l} \right) \ln \left(\frac{4l(2t+l)}{d(4t+l)} \right) \cdot \delta_{\text{И}}}{\eta_{\text{И}} \cdot n}$$

Значения коэффициентов $\delta_{\text{И}}$, $\eta_{\text{И}}$ выбирается по табл. 1. Изменяя количество или длину труб необходимо добиться, чтобы параллельное соединение $R_{\text{ПИ}}$ и $R_{\text{ТРИ}}$ было меньше или равно $R_{\text{ИИ}}$. Тогда

$$R_{\text{ЗИ}} = \frac{R_{\text{ФИ}} \cdot R_{\text{ПИ}} \cdot R_{\text{ТРИ}}}{(R_{\text{ФИ}} R_{\text{ПИ}} + R_{\text{ФИ}} R_{\text{ТРИ}} + R_{\text{ТРИ}} R_{\text{ПИ}})} \leq R_{\text{З}} = 10 \text{ Ом}$$

Расчет импульсного сопротивления заземлителя по приведенной методике дает оценочный результат.

Но надо отметить, что сопротивление грунта величина переменная не только по глубине расположения элементов заземлителя, но оно изменяется в течение сезона грозовой деятельности в разной степени в разных районах страны.

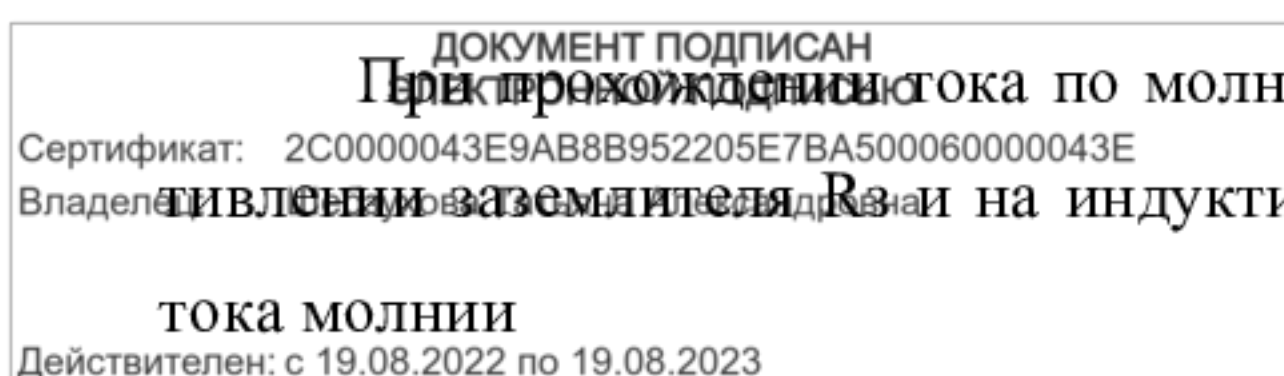
При измерениях удельного сопротивления грунта вводят так называемый сезонный коэффициент, который может изменяться от 1,4 до 2,6. Поэтому точные расчеты импульсных сопротивлений заземлителей на практике применяются редко.

Пространство вблизи молниеотвода, защищенное от попаданий молнии, называется его зоной защиты.

Зоны защиты молниеотводов установлены на основе лабораторных испытаний, и надежность их подтверждена многолетним опытом эксплуатации. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой $H \leq 30$ м представляет собой круговой конус с вершиной на высоте $0,9H$, сечение которого на высоте h_x имеет радиус r_x .

Для объектов высотой $h_x \leq 20$ м радиус r_x вычисляется по формуле

$$r_x = 1,5 \left(H - \frac{h_x}{0,92} \right)$$



$$\alpha_{cp} = \frac{I_M}{\tau_{\phi}}$$

Максимальный потенциал в точке молниеотвода на расстоянии $h_x = h$ от заземлителя, т.е. на высоте защищаемого объекта, наступает в момент максимума тока молнии

$$U_{hx} = R_3 I_M + L_o h \cdot \alpha_{cp}$$

где L_o — индуктивность единицы длины молниеотвода, зависящая от конструкции токоотвода.

Защищаемый объект должен полностью входить в зону защиты молниеотводов. Вместе с тем он должен располагаться на определенном расстоянии от них. Если это расстояние меньше допустимого, то при ударах молнии могут происходить перекрытия с частей молниеотвода на защищаемый объект. При установке отдельно стоящего стержневого молниеотвода должно соблюдаться безопасное расстояние по воздуху и в земле от молниеотвода и его заземлителей до элементов защищаемого объекта.

Минимально допустимое расстояние по воздуху $l_{мин.в}$ от молниеотвода до защищаемого объекта рассчитывается с учетом допустимой напряженности электрического поля $E = 500 \text{ кВ/м}$, но не меньше 5 м.

$$l_{мин.в} = \frac{R_3 I_M + L_o h \cdot \alpha_{cp}}{500} \geq 5 \text{ м}$$

Максимальный потенциал в точке молниеотвода на уровне земли наступает также в момент максимума тока молнии и равен

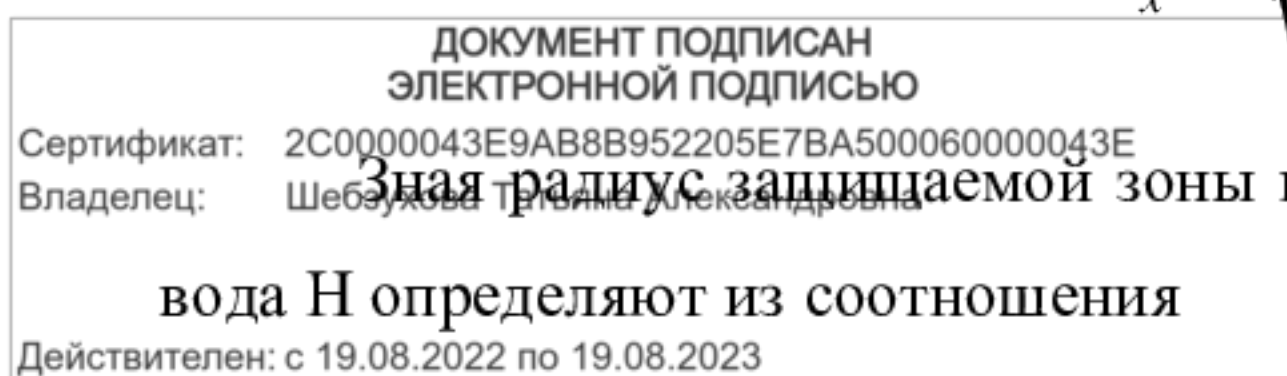
$$U_3 = R_3 I_M$$

Минимальное расстояние в земле $l_{мин.з}$ между заземлителем и ближайшей к нему точкой заземления защищаемого объекта рассчитывается с учетом допустимой напряженности электрического поля в земле $E = 300 \text{ кВ/м}$, но не меньше 3 м.

$$l_{мин.з} = \frac{R_3 I_M}{300} \geq 3 \text{ м}$$

Радиус защищаемой зоны молниеотвода на высоте защищаемого объекта h определяется, используя теорему Пифагора

$$r_x = \sqrt{(l_{мин.в} + a)^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2}$$



$$H = \left(\frac{r_x}{1,5} \right) + 1,09h$$

В электроэнергетике часто принимают расчетные значения тока молнии и средней крутизны его фронта, соответственно, 60 кА и 30 кА/мкс, а индуктивность единицы длины токоотвода $L_0 = 1,7$ мкГн/м.

$$l_{\text{мин.д}} = 0,12R_3 + 0,1h$$

$$l_{\text{мин.з}} = 0,2R_3$$

Отметим, что на практике иногда приходится по известным $l_{\text{мин.з}}$, $l_{\text{мин.в}}$ и h находить по вышеприведенным формулам величину сопротивления заземления, обеспечивающую безопасность сближения молниеотвода и защищаемого объекта.

Указание к решению задачи №3

Решить согласно ПУЭ.

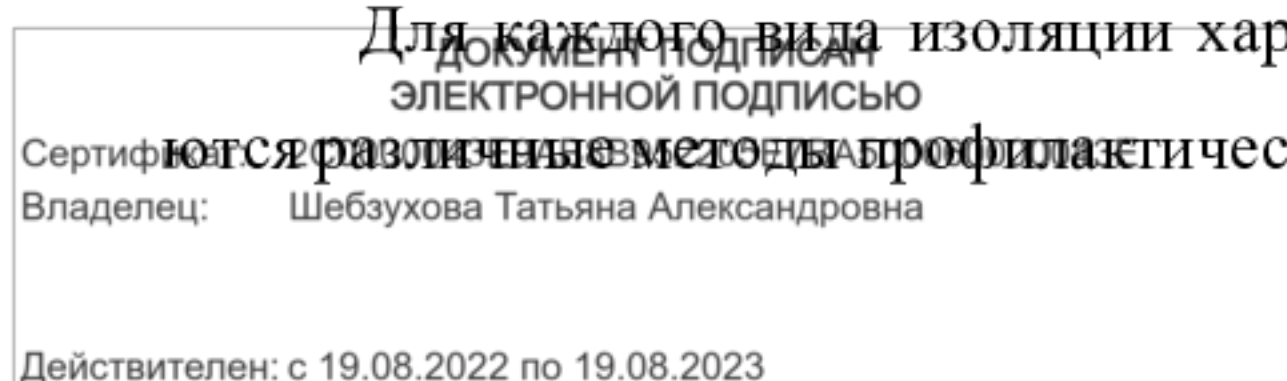
Указание к решению задачи №4

В процессе эксплуатации высоковольтного оборудования из-за перегрева, увлажнения, механических повреждений и пере напряжений происходит общее старение изоляции. В изоляции возникают распределенные и местные (сосредоточенные) дефекты. Постепенно развиваясь, эти дефекты способны настолько снизить пробивное или разрядное напряжение, что изоляция может не выдержать перенапряжений, время от времени появляющихся в электрических системах, или даже рабочего напряжения.

В большинстве случаев эти дефекты не могут быть обнаружены путем простого осмотра изоляции и для их выявления необходимы специальные методы испытаний, которые называются профилактическими.

Группа профилактических методов контроля изоляции, при которых используются по сравнению с рабочими малые напряжения и различные косвенные способы оценки характеристик изоляции называется неразрушающие испытания. Другую группу испытаний с использованием напряжения, повышенного по сравнению с рабочим и вызывающего ускоренное разрушение изоляции в дефектном месте, называют разрушающими испытаниями.

Для каждого вида изоляции характерны определенные виды дефектов и применяются различные методы профилактических испытаний. Периодичность и нормы испытаний



устанавливаются стандартами и ведомственными инструкциями для каждого вида электрооборудования.

Согласно существующим представлениям основной причиной старения внутренней изоляции при воздействии сильных электрических полей являются так называемые частичные разряды (ЧР). ЧР возникают в газовых включениях или прослойках жидкого диэлектрика. Скорость разрушения изоляции зависит от интенсивности ЧР. Регистрация интенсивности ЧР во время эксплуатации высоковольтного оборудования и в лабораторных условиях проводится с помощью электрических, оптических и ультразвуковых методов.

Проникновение в изоляцию из окружающей среды влаги, различных примесей и кислорода значительно ускоряют процессы старения изоляции.

При неразрушающих методах испытаний для оценки качества изоляции используются измерения характера изменения характеристик диэлектриков во времени, от частоты испытательного напряжения и от температуры.

В качестве внутренней изоляции высоковольтного оборудования очень часто применяются комбинации диэлектриков, сочетание которых позволяет получить наиболее благоприятные свойства изоляционной конструкции. В частности, очень большое распространение получила слоистая изоляция, в состав которой входят пропитанные маслами волокнистые материалы типа бумаги (кабели, конденсаторы, трансформаторы и др.).

Ухудшение качества слоистой изоляции в большинстве случаев происходит путем более или менее однородного изменения свойств одного из слоев, тогда как характеристика других слоев остаются практически неизменными. Это приводит к изменению неоднородности изоляции. По характеру этого изменения можно судить о состоянии изоляции.

В простейшем случае неоднородная изоляция состоит из двух слоев, каждый из которых характеризуется своей удельной проводимостью слоев γ и диэлектрической проницаемостью ϵ . Модель двухслойного диэлектрика представлена на рис. 2.

Для анализа процессов в модели двухслойной изоляции можно использовать схемы замещения, показанные на рис. 2. В схеме на рис. 3, а сопротивление утечки первого и второго слоев в установившемся режиме соответственно равны:

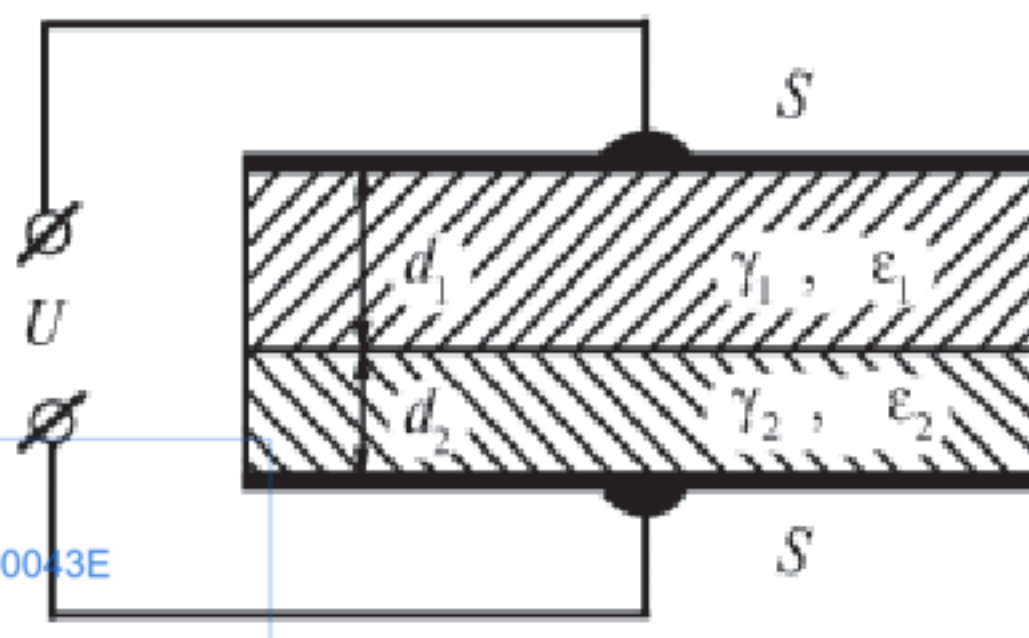


Рисунок 2 – Модель двухслойного диэлектрика

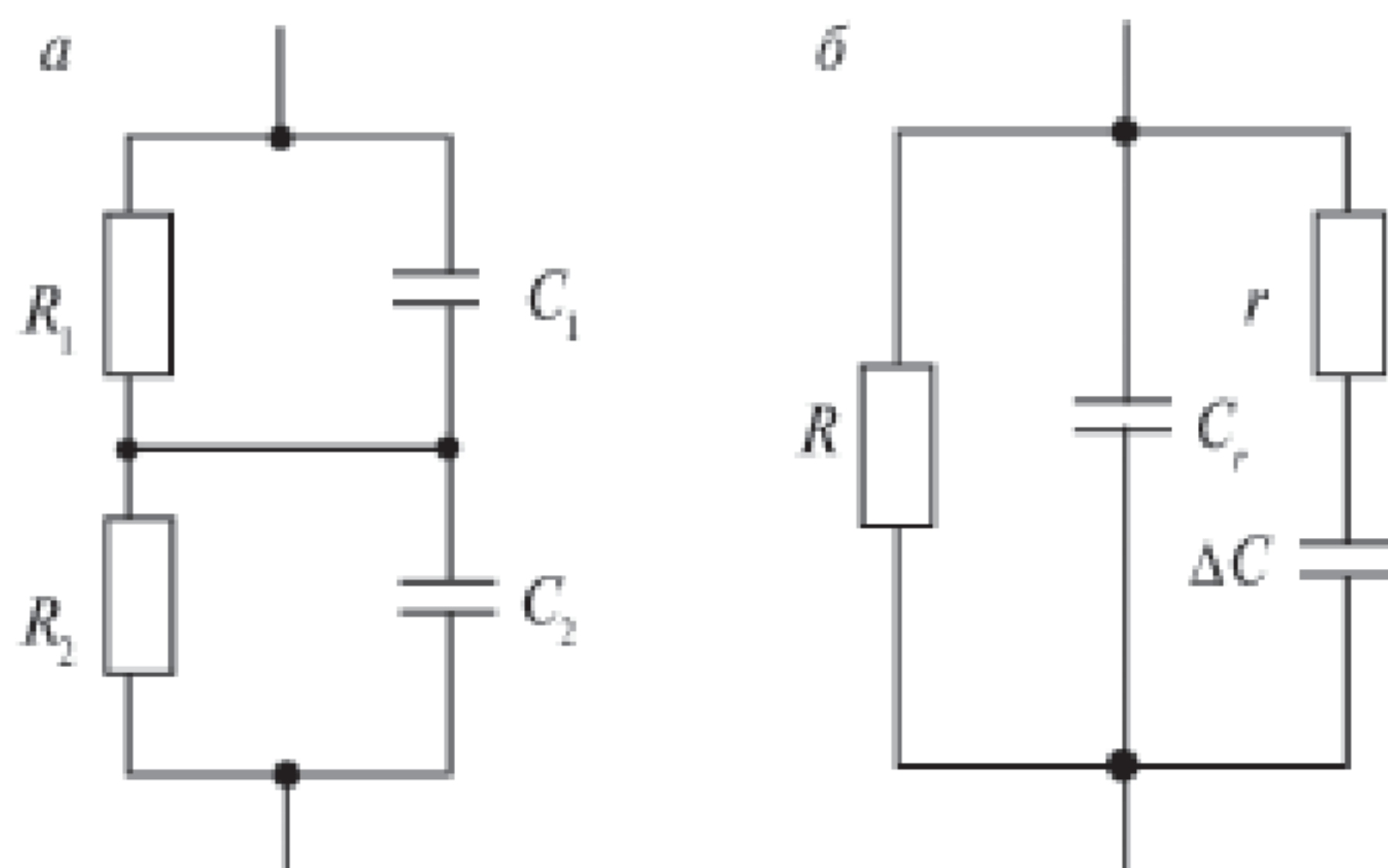


Рисунок 3 – Схема замещения двухслойного диэлектрика

При подключении диэлектрика к источнику с постоянным напряжением, кроме постоянного тока утечки из-за миграционной поляризации диэлектриков, в течение непродолжительного времени наблюдается так называемый ток абсорбции.

Со временем ток абсорбции спадает до нуля по экспоненциальному закону. В процессе старения изоляции, например увлажнении одного из слоев, ток абсорбции уменьшается. Это обстоятельство используется для контроля состояния изоляции.

5. План-график выполнения задания

Работа над контрольной работой может быть представлена в виде выполнения следующих этапов:

№ п/п	Наименование этапа	Сроки выполнения
Очная форма обучения		
1.	Получения задания	На первом практическом занятии
2.	Первичная консультация с преподавателем	На первом практическом занятии
3.	Работа с информационными источниками	В течении семестра
4.	Написание контрольной работы	В течении семестра
5.	Предоставление контрольной работы на кафедру	В течении семестра
6.	Защита контрольной работы	На последнем практическом занятии
Заочная форма обучения		
1.	Получения задания	На первом практическом занятии
2.	Первичная консультация с преподавателем	На первом практическом занятии
3.	Работа с информационными источниками	В течении сессии
4.	Написание контрольной работы	В течении сессии
5.	Предоставление контрольной работы на кафедру	В течении сессии
6.	Защита контрольной работы	На последнем практическом занятии

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

6. Критерии оценивания работы

В целях повышения качества выполняемых контрольных работ преподаватель руководствуется следующими критериями оценивания письменных работ студентов.

Оценка «зачтено (отлично)» выставляется, если студент:

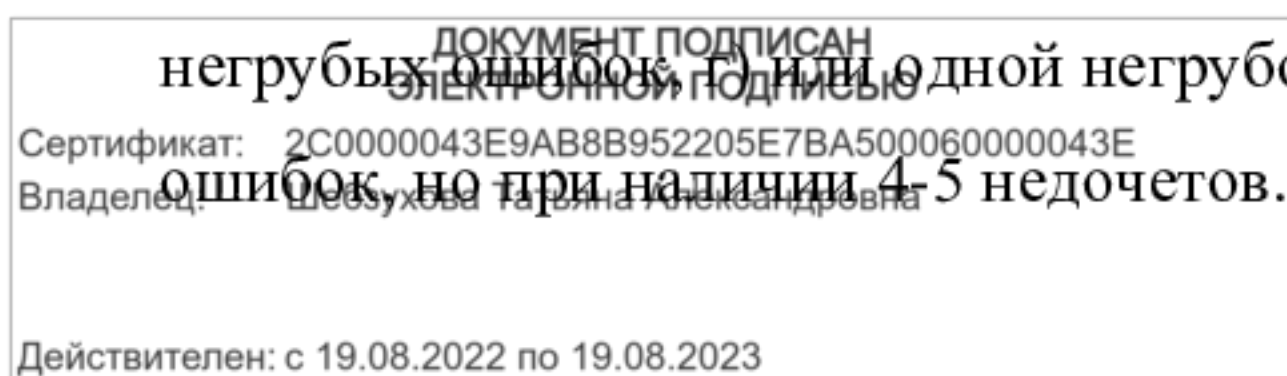
- представил расчетно-графическую работу в установленный срок и оформил ее в строгом соответствии с изложенными требованиями;
- использовал рекомендованную и дополнительную учебную и страноведческую литературу;
- при выполнении упражнений показал высокий уровень знания лексико-грамматического и страноведческого материала по заданной тематике, проявил творческий подход при ответе на вопросы, умение глубоко анализировать проблему и делать обобщающие выводы;
- выполнил работу грамотно с точки зрения поставленной задачи, т.е. без ошибок и недочетов или допустил не более одного недочета.

Оценка «зачтено (хорошо)» выставляется, если студент:

- представил расчетно-графическую работу в установленный срок и оформил ее в соответствии с изложенными требованиями;
- использовал рекомендованную и дополнительную литературу;
- при выполнении упражнений показал хороший уровень знания лексико-грамматического и страноведческого материала по заданной тематике, практически правильно сформулировал ответы на поставленные вопросы, представил общее знание информации по проблеме;
- выполнил работу полностью, но допустил в ней: а) не более одной негрубой ошибки и одного недочета б) или не более двух недочетов.

Оценка «зачтено (удовлетворительно)» выставляется, если студент:

- представил работу в установленный срок, при оформлении работы допустил незначительные отклонения от изложенных требований;
- показал достаточные знания по основным темам контрольной работы;
- использовал рекомендованную литературу;
- выполнил не менее половины работы или допустил в ней а) не более двух грубых ошибок, б) или не более одной грубой ошибки и одного недочета, в) или не более двух-трех негрубых ошибок, г) или одной негрубой ошибки и трех недочетов, д) или при отсутствии ошибок, но при наличии 4-5 недочетов.



Оценка «незачтено (неудовлетворительно)» выставляется:

– когда число ошибок и недочетов превосходит норму, при которой может быть выставлена оценка «зачтено (удовлетворительно)» или если правильно выполнено менее половины работы;

– если студент не приступал к выполнению работы или правильно выполнил не более 10 процентов всех заданий.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

7. Порядок защиты работы

Написанная студентом контрольная работа сдается на кафедру в срок для рецензирования. Студент защищает расчетно-графическую работу до экзамена (зачета) перед преподавателем. Без защиты КР студент к экзамену (зачету) не допускается.

Работа не допускается к защите, если она не носит самостоятельного характера, списана из литературных источников или у других авторов, если основные вопросы не раскрыты, изложены схематично, фрагментарно, в тексте содержатся ошибки, научный аппарат оформлен неправильно, текст написан небрежно.

В ходе защиты контрольной работы задача студента — показать углубленное понимание вопросов конкретной темы, хорошее владение материалом по теме.

Защита расчетно-графической работы может проходить в различных формах по усмотрению преподавателя:

- в форме индивидуальной беседы студента с руководителем по основным положениям работы;
- в форме индивидуальной защиты в присутствии всей группы студентов;
- в форме групповой защиты – одновременной защиты контрольной работы по одному направлению. В этом случае каждый следит за ходом рассуждений товарищей, дополняет, уточняет их, что, несомненно, усиливает работу мысли и способствует развитию экономического мышления.

Любая форма защиты контрольной работы учит отстаивать свою точку зрения, убедительно аргументировать ее, что способствует перерастанию знаний в убеждения.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

8.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

8.1.2 Перечень основной литературы:

1. Бочаров Ю.Н. Техника высоких напряжений [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю.Н. Бочаров, С.М. Дудкин, В.В. Титков. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2013. — 265 с. — 978-5-7422-3998-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/43976.html>

8.1.3 Перечень дополнительной литературы:

1. .Щеглов, Н. В. Современные виды изоляции. Часть 2. Изоляция высоковольтных вводов [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н. В. Щеглов. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2010. — 72 с. — 978-5-7782-1317-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45161.html>

8.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Техника высоких напряжений».

2. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Техника высоких напряжений».

3. Методические указания по выполнению контрольной работы по дисциплине «Техника высоких напряжений».

4. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Техника высоких напряжений».

8.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"

2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине «ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Содержание

Введение

- 1 Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Техника высоких напряжений»
- 2 План-график выполнения самостоятельной работы
- 3 Контрольные точки и виды отчетности по ним
- 4 Методические рекомендации по изучению теоретического материала
- 5 Методические указания по подготовке к контрольной работе
- 7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Введение

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Техника высоких напряжений»

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. В связи с этим, обучение в ВУЗе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

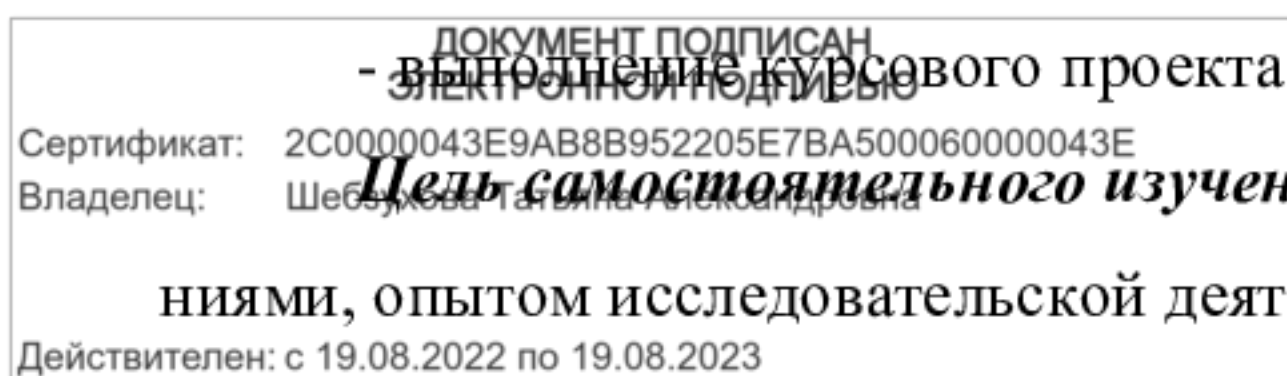
Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой специалиста и бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. В соответствии с рабочей программой дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы студента:

- самостоятельное изучение литературы;
- самостоятельное решение задач;

- выполнение курсового проекта.

Цель самостоятельного изучения литературы – самостоятельное овладение знаниями, опытом исследовательской деятельности.



Задачами самостоятельного изучения литературы являются:

- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов.

Цель самостоятельного решения задач - овладение профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю будущей деятельности.

Задачами самостоятельного решения задач являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Целью самостоятельного выполнения расчетно-графической работы по дисциплине является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности.

Задачами данного вида самостоятельной работы студента являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовой работы.

В результате освоения дисциплины формируются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения	ИД-3 _{ПК-1} Обосновывает выбор параметров электрооборудования систем электроснабжения, учитывая технические ограничения	Знает основные физические явления, механизмы воздействия электромагнитных полей высокого напряжения на изоляцию в различных условиях эксплуатации. Умеет обосновывать выбор параметров электрооборудования систем электроснабжения объектов, учитывая технические ограничения и условия эксплуатации. Владеет навыками выбора параметров электрооборудования систем электроснабжения объектов, учитывая технические ограничения и условия эксплуатации.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

План-график выполнения самостоятельной работы

Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)	Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
			СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
Очная форма обучения					
5 семестр					
ПК-1 ИД-3 _{ПК-1}	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-9	Собеседование	20,16	2,24	22,4
	Подготовка к лекциям	Собеседование	1,215	0,135	1,35
	Подготовка к практическим занятиям	Письменный отчет о решении типовых, разноуровневых задач	2,43	0,27	2,7
	Подготовка к лабораторным работам	Собеседование	3,645	0,405	4,05
	Выполнение контрольной работы	Собеседование	9	1	10
Итого за 5 семестр:			36,45	4,05	40,5
Итого:			36,45	4,05	40,5
Заочная форма обучения					
5 семестр					
ПК-1 ИД-3 _{ПК-1}	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-9	Собеседование	54,18	6,02	60,2
	Подготовка к лекциям	Собеседование	0,27	0,03	0,3
	Подготовка к практическим занятиям	Письменный отчет о решении типовых, разноуровневых задач	0,54	0,06	0,6
	Подготовка к лабораторным работам	Собеседование	0,81	0,09	0,9
	Выполнение контрольной работы	Собеседование	9	1	10
Итого за 5 семестр:			64,8	7,2	72
Итого:			64,8	7,2	72

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Контрольные точки и виды отчетности по ним

№ п/п	Вид деятельности студентов	Сроки выполнения	Количество баллов
5 семестр			
1.	Практическое занятие № 2	6 неделя	25
2.	Лабораторное занятие № 6	10 неделя	15
3.	Практическое занятие № 8	16 неделя	15
	Итого за 5 семестр		55
	Итого		55

Максимально возможный балл за весь текущий контроль Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставаемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

Рейтинговая система успеваемости студентов не предусмотрена для заочной формы обучения.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023	

Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Самостоятельная работа студента начинается с внимательного ознакомления с содержанием учебного курса.

Изучение каждой темы следует начинать с внимательного ознакомления с набором вопросов. Они ориентируют студента, показывают, что он должен знать по данной теме. Вопросы темы как бы накладываются на соответствующую главу избранного учебника или учебного пособия. В итоге должно быть ясным, какие вопросы темы учебного курса и с какой глубиной раскрыты в конкретном учебном материале, а какие вообще опущены. Требуется творческое отношение и к самому содержанию дисциплины.

Вопросы, составляющие ее содержание, обладают разной степенью важности. Есть вопросы, выполняющие функцию логической связки содержания темы и всего курса, имеются вопросы описательного или разъяснительного характера, а также исторического экскурса в область изучаемой дисциплины. Все эти вопросы не составляют сути понятийного, концептуального содержания темы, но необходимы для целостного восприятия изучаемых проблем.

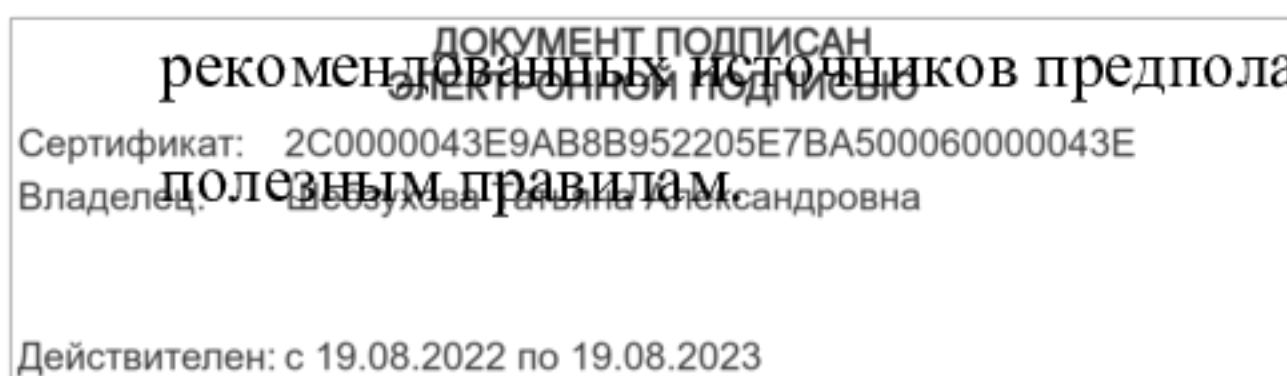
Изучаемая дисциплина имеет свой категориально-понятийный аппарат. Научные понятия — это та база, на которой строится каждая наука. Понятия — узловые, опорные пункты как научного, так и учебного познания, логические ступени движения в учебе от простого к сложному, от явления к сущности. Без ясного понимания понятий учеба крайне затрудняется, а содержание приобретенных знаний становится тусклым, расплывчатым.

Студент должен понимать, что самостоятельное овладение знаниями является главным, определяющим. Высшая школа создает для этого необходимые условия, помогает будущему высококвалифицированному специалисту овладеть технологией самостоятельного производства знаний.

В самостоятельной работе студентам приходится использовать литературу различных видов: первоисточники, монографии, научные сборники, хрестоматии, учебники, учебные пособия, журналы и др. Изучение курса предполагает знакомство студентов с большим объемом научной и учебной литературы, что, в свою очередь, порождает необходимость выработки у них рационально-критического подхода к изучаемым источникам.

Чтобы не «утонуть» в огромном объеме рекомендованных ему для изучения источников, студент, прежде всего, должен научиться правильно их читать. Правильное чтение

рекомендованных источников предполагает следование нескольким несложным, но весьма полезным правилам.



Предварительный просмотр книги включает ознакомление с титульным листом книги, аннотацией, предисловием, оглавлением. При ознакомлении с оглавлением необходимо выделить разделы, главы, параграфы, представляющие для вас интерес, бегло их просмотреть, найти места, относящиеся к теме (абзацы, страницы, параграфы), и познакомиться с ними в общих чертах.

Научные издания сопровождаются различными вспомогательными материалами — научным аппаратом, поэтому важно знать, из каких основных элементов он состоит, каковы его функции.

Знакомство с книгой лучше всего начинать с изучения аннотации — краткой характеристики книги, раскрывающей ее содержание, идейную, тематическую и жанровую направленность, сведения об авторе, назначение и другие особенности. Аннотация помогает составить предварительное мнение о книге.

Глубже понять содержание книги позволяют вступительная статья, в которой дается оценка содержания книги, затрагиваемой в ней проблематики, содержится информация о жизненной и творческой биографии автора, высказываются полемические замечания, разъясняются отдельные положения книги, даются комментарии и т.д. Вот почему знакомство с вступительной статьей представляется очень важным: оно помогает студенту сориентироваться в тексте работы, обратить внимание на ее наиболее ценные и важные разделы.

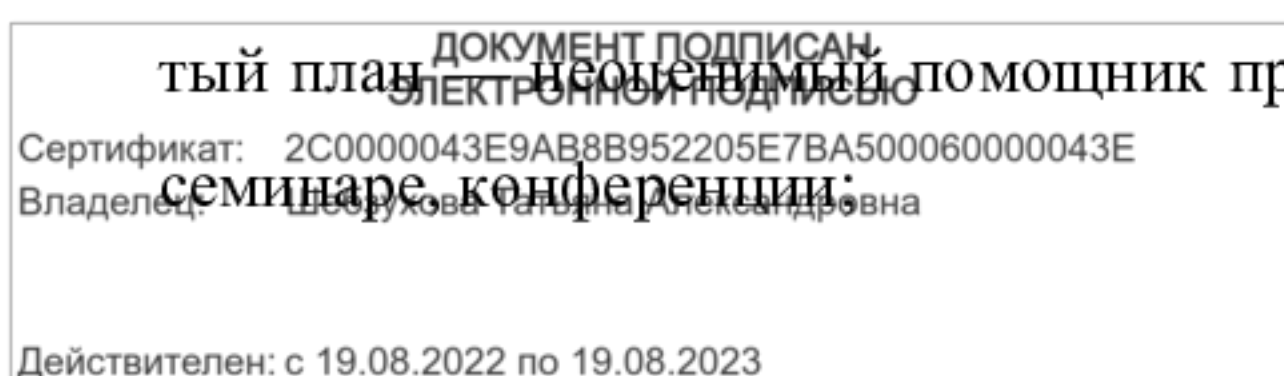
Той же цели содействует знакомство с оглавлением, предисловием, послесловием. Весьма полезными элементами научного аппарата являются сноски, комментарии, таблицы, графики, списки литературы. Они не только иллюстрируют отдельные положения книги или статьи, но и сами по себе являются дополнительным источником информации для читателя.

Если читателя заинтересовала какая-то высказанная автором мысль, не нашедшая подробного освещения в данном источнике, он может обратиться к тексту источника, упоминаемого в сноске, либо к источнику, который он может найти в списке литературы, рекомендованной автором для самостоятельного изучения.

Существует несколько форм ведения записей:

— план (простой и развернутый) — наиболее краткая форма записи прочитанного, представляющая собой перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. Развернутый план представляет собой более подробную запись прочитанного, с детализацией отдельных положений и выводов, с выпиской цитат, статистических данных и т.д. Разверну-

тый план — необходимый помощник при выступлении с докладом на конкретную тему на семинаре, конференции.



— тезисы — кратко сформулированные положения, основные положения книги, статьи. Как правило, тезисы составляются после предварительного знакомства с текстом источника, при его повторном прочтении. Они помогают запомнить и систематизировать информацию.

Составление конспектов

Большую роль в усвоении и повторении пройденного материала играет хороший конспект, содержащий основные идеи прочитанного в учебнике и услышанного в лекции. Конспект — это, по существу, набросок, развернутый план связного рассказа по основным вопросам темы.

В какой-то мере конспект рассчитан (в зависимости от индивидуальных особенностей студента) не только на интеллектуальную и эмоциональную, но и на зрительную память, причем текст конспекта нередко ассоциируется еще и с текстом учебника или записью лекции. Поэтому легче запоминается содержание конспектов, написанных разборчиво, с подчеркиванием или выделением разрядкой ключевых слов и фраз.

Самостоятельно изученные темы предоставляются преподавателю в форме конспекта, по которому происходит собеседование. Теоретические темы курса (отдельные вопросы), выносимые на самостоятельное изучение, представлены ниже.

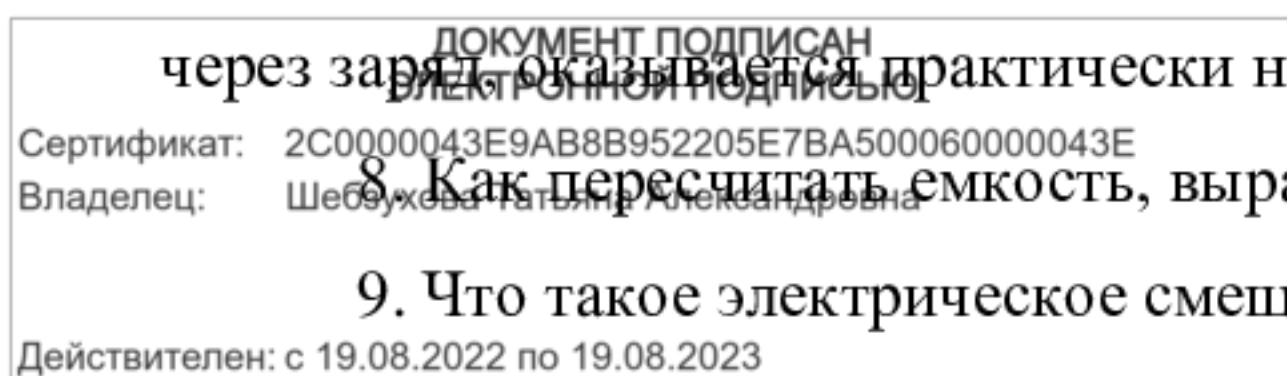
Типовые контрольные задания и иные материалы, характеризующие этапы формирования компетенций

Вопросы для собеседования

1. Почему проводящие тела имеют эквипотенциальные поверхности?
2. Перечислить известные способы графического и аналитического выражения напряженности электрического поля.
3. Как по заданному графику потенциала построить график напряженности электрического поля?
4. Как определить пределы линейного интеграла для расчета напряжения по напряженности электрического поля?
5. Как определить пределы линейного интеграла для расчета напряжения по напряженности электрического поля?
6. Какая форма условной поверхности, охватывающей заряд, будет наиболее рациональной при использовании теоремы Гаусса?
7. Почему зависимость, полученная для расчета напряженности электрического поля через заряд, оказывается практически непригодной?

8. Как пересчитать емкость, выраженную в фарадах, в пикофарады?

9. Что такое электрическое смещение?



10. Какова величина относительной диэлектрической проницаемости воды и проводников?

11. Что показывает и что характеризует величина относительной диэлектрической проницаемости?

12. В какой из двух сред при той же величине напряженности электрического поля будет больше электрическое смещение — в фарфоре или слюде?

13. От каких геометрических параметров и как зависит емкость плоского конденсатора?

14. В чем опасность воздушных включений между слоями многослойного конденсатора?

15. Какими параметрами следует задаться при расчете емкости плоского конденсатора?

16. Почему средняя пробивная напряженность электрического поля воздуха уменьшается при увеличении расстояния между электродами?

17. Как устраняется влияние краевого эффекта у плоских и цилиндрических электродов?

18. Как изменяется емкость плоского конденсатора при постепенном заполнении трансформаторным маслом воздушного промежутка между электродами?

19. Как регулировать напряженность электрического поля в слоях многослойного плоского конденсатора?

20. Как выглядят графики потенциала и напряженности электрического поля трехслойного плоского конденсатора, у которого средний слой пробит, а один из электродов заземлен?

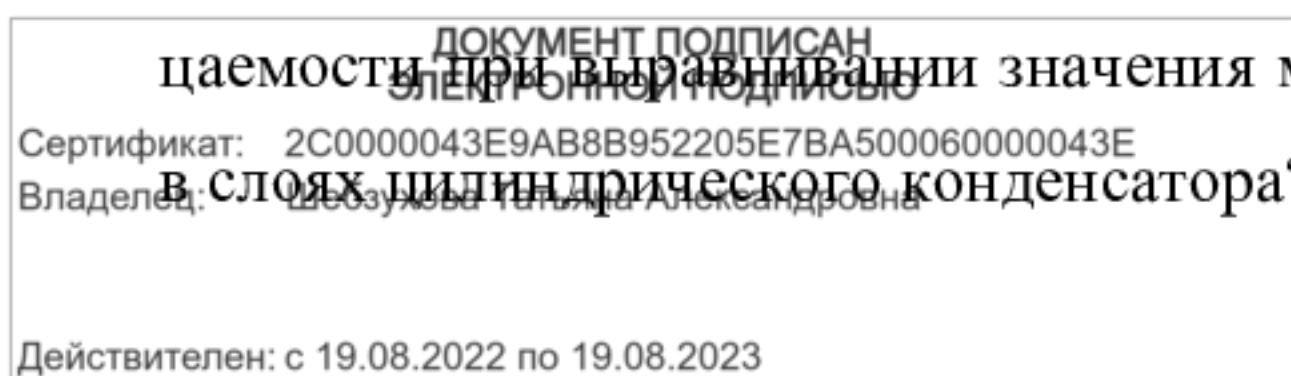
21. Опишите устройство цилиндрического конденсаторного ввода.

22. Какое соотношение соблюдается между напряженностями электрического поля на границе раздела двух смежных слоев?

23. По какому математическому закону изменяется напряженность электрического поля в однородном слое цилиндрического конденсатора?

24. Как располагают материалы с различными величинами диэлектрической проницаемости при выравнивании значения максимальной напряженности электрического поля в слоях цилиндрического конденсатора?

25. Как располагают материалы с различными величинами диэлектрической проницаемости при выравнивании значения максимальной напряженности электрического поля в слоях цилиндрического конденсатора?



26. Как изменяется емкость цилиндрического воздушного конденсатора при возникновении короны у центрального электрода?

27. Почему при расчете изоляции цилиндрического конденсатора по условиям ее оптимального использования иногда приходится центральный электрод изготавливать полым?

28. При каких соотношениях между радиусами цилиндрических электродов максимальная напряженность электрического поля минимальна?

29. Как можно объяснить увеличение неравномерности электрического поля шарового разрядника при заземлении одной из его сфер?

30. В каких пределах можно изменять расстояние между сферами шарового разрядника, сохраняя электрическое поле равномерным или близким к равномерному?

31. В чем заключается правило зеркального отображения?

32. На основании какого геометрического построения может быть найдено положение центров электрических осей двух заряженных цилиндров?

33. В чем заключается особенность выражения для потенциальных коэффициентов точек, принадлежащих поверхности нулевого потенциала?

34. На основании какого геометрического построения может быть найдено положение центров электрических осей двух заряженных цилиндров?

35. В чем заключается особенность выражения для потенциальных коэффициентов точек, принадлежащих поверхности нулевого потенциала?

36. Какое практическое применение имеет система из двух сфер?

37. Какие меры предосторожности и почему следует принять при работе монтеров на одной обесточенной цепи двухцепных линий электропередачи?

38. Поясните принцип осуществления «емкостного отбора» мощности от высоковольтной линии электропередачи?

39. Как изменится формула для рабочей емкости провода двухпроводной линии передачи при заземлении одного из проводов?

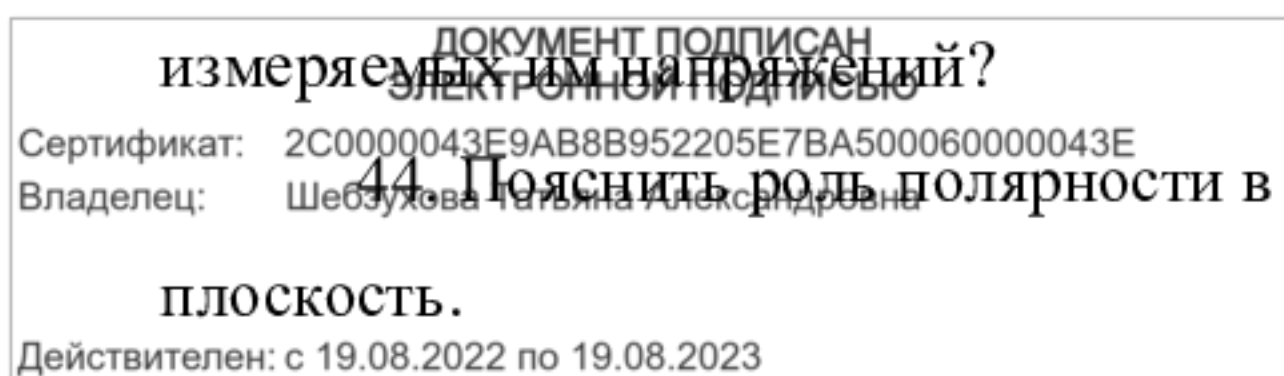
40. Что представляют собой коэффициенты объемной и поверхностной ионизации?

41. Какой разряд принято называть самостоятельным и каковы условия его возникновения?

42. Почему увеличение содержания влаги в газе повышает электрическую прочность газового промежутка

43. Каким соотношением связаны между собой диаметры сфер разрядника и пределы измеримых им напряжений?

44. Пояснить роль полярности в формировании разряда между электродами игла — ПЛОСКОСТЬ.



45. Почему при равных условиях промежуток стержень — стержень оказывается прочнее промежутка стержень — плоскость?
46. Какой характер имеет зависимость коэффициента объемной ионизации от давления газа?
47. Что характеризует собой коэффициент импульсной прочности?
48. Что характеризует собой коэффициент импульсной прочности?
49. Что такое электрический барьер и какова его роль в упрочнении газового промежутка?
50. Что следует понимать под критической длиной дуги и под критическим током дугового разряда?
51. Как влияет расположение электродов и их конструкция на условия самопогасания открытой дуги?
52. При каких условиях имеет место самопогасание открытой дуги переменного тока при однофазном замыкании на землю?
53. Какое влияние на восстановление прочности промежутка оказывает ширина щели, в которой горела дуга
54. Объясните разницу в понятиях: пробой, перекрытие и скользящий разряд. 90
55. Почему внешняя поверхность изоляторов для наружной установки делается ребристой?
56. Сформулируйте определение поверхностной емкости применительно к цилиндрическому изолятору.
57. Сформулируйте основные положения закона преломления вектора напряженности электрического поля.
58. Поясните, почему затруднено перекрытие изоляторов, имеющих развитую или вогнутую форму?
59. Как следует поставить опыт пробоя подвесного изолятора, если известно, что перекрытие по поверхности изолятора в воздухе наступает при напряжении, значительно меньшем пробивного?
60. Какое влияние на величину напряжения перекрытия может оказать покрытие полупроводящей глазурью поверхности изолятора?
61. Какое влияние оказывает влага на величину напряжения, при котором возникают скользящие разряды?

Методические указания по подготовке к контрольной работе

Контрольная работа – это самостоятельная письменная работа студента, которая должна показать не только его владение теоретическим материалом, но и продемонстрировать практические умения проводить расчеты.

Цели выполнения контрольной работы заключаются:

- закрепить и систематизировать теоретические знания и практические навыки студента;
- научить работать с литературой – изучать, анализировать информацию из научных источников;

При выполнении контрольной работы реализуются следующие компетенции:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения	ИД-3 _{ПК-1} Обосновывает выбор параметров электрооборудования систем электроснабжения, учитывая технические ограничения	Знает основные физические явления, механизмы воздействия электромагнитных полей высокого напряжения на изоляцию в различных условиях эксплуатации. Умеет обосновывать выбор параметров электрооборудования систем электроснабжения объектов, учитывая технические ограничения и условия эксплуатации. Владеет навыками выбора параметров электрооборудования систем электроснабжения объектов, учитывая технические ограничения и условия эксплуатации.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Перечень основной литературы:

1. Бочаров Ю.Н. Техника высоких напряжений [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю.Н. Бочаров, С.М. Дудкин, В.В. Титков. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2013. — 265 с. — 978-5-7422-3998-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/43976.html>

Перечень дополнительной литературы:

1. .Щеглов, Н. В. Современные виды изоляции. Часть 2. Изоляция высоковольтных вводов [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н. В. Щеглов. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2010. — 72 с. — 978-5-7782-1317-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45161.html>

Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Техника высоких напряжений».
2. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Техника высоких напряжений».
3. Методические указания по выполнению контрольной работы по дисциплине «Техника высоких напряжений».
4. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Техника высоких напряжений».

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks