

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г.ШУХОВА»**  
(БГТУ им. В. Г. Шухова)

СОГЛАСОВАНО

Директор института  
магистратуры

канд.экон.наук, доцент  И.В. Космачева

« 30 »  2023 г.

УТВЕРЖДАЮ

Директор института энергетики, информационных  
технологий и управляющих систем

канд.техн.наук, доцент  А.В. Белоусов

« 30 »  2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ**

направление подготовки

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

профиль подготовки

Электроэнергетические системы и сети

Квалификация

магистр

Форма обучения

очная

Институт энергетики, информационных технологий и управляющих систем

Кафедра электроэнергетики и автоматики

Белгород – 2023

Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – Магистратура по направлению подготовки 13.04.02, утвержденного приказом Минобрнауки России от 28 февраля 2018г. №147;
- учебного плана, утвержденного ученым советом БГТУ им. В.Г. Шухова в 2023 году.

Составитель: канд. техн. наук, доцент \_\_\_\_\_ (О. И. Кирилина)

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры электроэнергетики и автоматике

« 17 » апреля 2023 г., протокол № 11

Заведующий кафедрой: канд. техн. наук, доцент \_\_\_\_\_ (А. В. Белоусов)

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой электроэнергетики и автоматике

Заведующий кафедрой: канд. техн. наук, доцент \_\_\_\_\_ (А. В. Белоусов)

« 17 » апреля 2023 г.

Рабочая программа одобрена методической комиссией института энергетики, информационных технологий и управляющих систем

« 29 » мая 2023 г., протокол № 9

Председатель: канд. техн. наук, доцент \_\_\_\_\_ (А. Н. Семернин)

# 1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Категория (группа) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине
Профессиональная Проектная	ПК-3. Способен определять и поддерживать режимы работы объектов электроэнергетики, с учетом энерго- и ресурсосбережения и требований электробезопасности	ПК-3.2. Применяет методы и средства для обеспечения безопасных режимов работы оборудования электроэнергетических сетей на основе инструментального анализа их состояния с помощью стационарных и перемещаемых беспилотной авиатехникой измерительных приборов	<p><b>Знания</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основ теории растекания токов в земле при замыканиях в сетях с различными режимами нейтрали;</li> <li>– требований, предъявляемых к электрическим характеристикам и конструкции заземляющих устройств;</li> <li>– основ нормирования электрических и конструктивных параметров заземляющих устройств;</li> <li>– электрофизических особенностей характеристик различных грунтов;</li> <li>– требований нормативных документов, предъявляемых к уровню электробезопасности;</li> <li>– общих сведений, понятий, основных терминов и определений теории электробезопасности в системах энергетики;</li> </ul> <p><b>Умения</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– учитывать особенности проектирования заземляющих устройств основных групп электроустановок, т.е. электроустановок напряжением выше 1 кВ сетей с эффективно заземленной и изолированной нейтралью;</li> <li>– разрабатывать мероприятия, способствующие повышению надежности и электробезопасности в электроустановках и на территориях промышленных предприятий;</li> </ul> <p><b>Навыки</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– анализа с точки зрения обеспечения электробезопасности ситуации, складывающейся при эксплуатации систем электроснабжения, и разработки мероприятий по ее обеспечению;</li> <li>– осуществления эксплуатационного контроля параметров заземляющих устройств;</li> <li>– производства расчетов заземляющих устройств в неоднородных структурах грунта</li> </ul>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

**1. Компетенция ПК-3.** Способен определять и поддерживать режимы работы объектов электроэнергетики, с учетом энерго- и ресурсосбережения и требований электробезопасности

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами

Стадия	Наименования дисциплины
1	Энергосберегающие технологии в электроэнергетических системах
2	Производственная научно-исследовательская работа
3	Производственная преддипломная практика
4	Методы и средства обеспечения электробезопасности
5	Электромагнитная совместимость в электроэнергетических системах
6	Расчет режимов электроэнергетических систем
7	Основы оперативного обслуживания электроустановок электроэнергетических систем
8	Оперативно-диспетчерское управление в энергетических системах
9	Провалы и перенапряжения в электрических сетях
10	Производственная технологическая практика

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зач. единиц, 144 часов.

Форма промежуточной аттестации - дифзачет (3 семестр)

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 6
Общая трудоемкость дисциплины, час	144	144
<b>Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:</b>	<b>71</b>	<b>71</b>
лекции	34	34
лабораторные	—	—
практические	34	34
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации	3	3
<b>Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в том числе:</b>	<b>73</b>	<b>73</b>
Курсовой проект	—	—
Курсовая работа	—	—
Расчетно-графическое задание	18	18
Индивидуальное домашнее задание		
Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)	55	55
Диф.зачет	—	—

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Наименование тем, их содержание и объем

#### Курс 2 Семестр 1

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1. Электрофизические характеристики грунтов					
1.1	Геоэлектрический разрез земли. Температурные изменения и изменения удельного сопротивления земли по глубине. Деятельный и аккумуляционный слои земли. Характерные геоэлектрические разрезы земли и методы получения информации о нем. Обоснование расчетного исходного сезона при решении вопросов обеспечения электробезопасности в электроустановках. Принцип замены реального геоэлектрического разреза земли однородной эквивалентной структурой	4	4	—	10
2. Основы теории растекания токов в земле					
2.1	Поле точечного источника в однородной земле. Поля шарового, вертикального и горизонтального заземлителей в однородном грунте. Влияние неоднородности грунта на растекание токов от заземлителя. Поле точечного, вертикального и горизонтального заземлителей. Поле сложного заземляющего устройства (ЗУ). Методы пробного электрода и вертикального электрического зондирования земли	4	4	—	10
3. Практические методы расчета ЗУ					
3.1	Метод средних наведенных потенциалов в расчетах заземляющих устройств. Проблема расчета параметров ЗУ с учетом неоднородности земли. Электропроводимость железобетонных фундаментов. Расчет поверхностных сеточных заземлителей. Расчет вертикальных заземляющих устройств. Скважинные заземлители. Озерные заземлители. Расчет комбинированных заземляющих устройств. Расчет естественной заземляющей сети промышленного предприятия, цеха, здания. Расчет ЗУ автономной подстанции. расчет ЗУ главной понизительной подстанции (ГПП), вписанной в ситуационный план промпредприятия	4	6	—	10
4. Обеспечение электробезопасности на территории промышленных предприятий и понижающих подстанций и воздушных линий электропередач (ЛЭП)					
4.1	Нормирование уровня электробезопасности в электроустановках. Обеспечение электробезопасности персонала в производственных помещениях и на территории ГПП. Расчет потенциала, выносимого от ГПП надземными металлическими коммуникациями. Методика снижения выносимого потенциала. Расчет токораспределения в сложной заземляющей сети. Обоснование расчетного тока однофазного короткого замыкания на землю при оценке уровня электробезопасности в электроустановках с развитой заземляющей сетью	4	6	—	10
4.2	Типовые ЗУ опор ЛЭП. Нормирование параметров ЗУ опор ЛЭП. Искусственные заземлители опор ЛЭП и методы их сооружения. Железобетонные опоры как естественные заземлители и особенности расчета сопротивления растеканию железобетонных оснований опор. Расчет стационарного сопротивления в однородном и неоднородном грунтах. Расчет импульсного сопротивления искусственных заземлителей. Определение термической стойкости заземляющих устройств опор	6	6	—	11
5. Эксплуатационный контроль параметров заземляющих устройств					
5.1	Типовое оборудование, используемое для оценки параметров ЗУ и оценки уровня электробезопасности. Измерение сопротивлений растеканию автономных заземлителей и сложных заземляющих устройств	4	4	—	10

	понижительных подстанций. Измерение сопротивления растеканию заземляющих устройств опор с грозозащитным тросом и без него. Измерение распределения потенциала вблизи опоры. Измерение токов, отсасывающихся в естественную заземляющую сеть предприятия				
<b>6. Эксплуатационный контроль параметров объектов электроэнергетики с помощью БПЛА</b>					
	Влияние своевременной инспекции за состоянием объектов электроэнергетики на уровень электробезопасности в электроустановках (контроль состояния грозозащитных тросов на линиях электропередачи; молниеприемников и заземляющей сетки на крыше зданий электроустановок; ограничителей перенапряжения и пр.). БПЛА - как отдельные способы эксплуатации и диагностики электроэнергетического хозяйства (установка оборудования, маневренность, способность приближаться к опасным для жизни человека объектам). Оснащение энергетиков мультикоптерами для решения локальных задач в ходе очередных и внеплановых осмотров, а также при выполнении аварийно-восстановительных работ на труднодоступных участках (сильнопересяченная, заболоченная местность и т. д.)). Особенности и преимущества использования БПЛА при планировании, строительстве заземляющих устройств. Оптический и тепловизионный мониторинг для выявления токов утечки по поверхности изоляторов. Организация аварийно-спасательных работ. Контроль коррозии деталей опор, оголения и ржавления арматуры, выявление деформации опор и дефектов их антикоррозийной защиты. Отслеживание загрязнений изоляторов промышленными уносами (с указанием цвета изоляторов), загрязнение изоляторов птицами. Мойка изоляторов ЛЭП с помощью БПЛА. Обзор применения БПЛА в электроэнергетике за рубежом;	8	4		12
<b>ВСЕГО:</b>		34	34	–	73

#### 4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов	К-во часов СРС
1	<b>Электрофизические характеристики грунтов</b>	Методы получения информации о геоэлектрическом разрезе земли. Принцип замены реального геоэлектрического разреза земли однородной эквивалентной структурой	4	2
2	<b>Основы теории растекания токов в земле</b>	Методы пробного электрода и вертикального электрического зондирования земли	4	2
3	<b>Практические методы расчета ЗУ</b>	Метод средних наведенных потенциалов в расчетах заземляющих устройств. Проблема расчета параметров ЗУ с учетом неоднородности земли. Расчет поверхностных сеточных заземлителей. Расчет вертикальных заземляющих устройств. Расчет комбинированных заземляющих устройств.	10	3

		Расчет естественной заземляющей сети промышленного предприятия, цеха, здания. Расчет ЗУ автономной подстанции. расчет ЗУ главной понизительной подстанции (ГПП), вписанной в ситуационный план промпредприятия		
4	<b>Обеспечение электробезопасности на территории промышленных предприятий и понижающих подстанций и воздушных линий электропередач (ЛЭП)</b>	Расчет потенциала, выносимого от ГПП надземными металлическими коммуникациями. Расчет токораспределения в сложной заземляющей сети. Расчет тока однофазного короткого замыкания на землю при оценке уровня электробезопасности в электроустановках с развитой заземляющей сетью	6	2
		Изучение типовых ЗУ опор ЛЭП. Железобетонные опоры как естественные заземлители и особенности расчета сопротивления растеканию железобетонных оснований опор. Расчет стационарного сопротивления в однородном и неоднородном грунтах. Расчет импульсного сопротивления искусственных заземлителей. Определение термической стойкости заземляющих устройств опор	6	2
5	<b>Эксплуатационный контроль параметров заземляющих устройств</b>	Изучение типового оборудования, используемого для оценки параметров ЗУ и оценки уровня электробезопасности. Изучение принципов измерения сопротивлений растеканию автономных заземлителей и сложных заземляющих устройств понизительных подстанций. Изучение принципов измерения токов, отсасывающихся в естественную заземляющую сеть предприятия	4	2
6	<b>Эксплуатационный контроль параметров объектов электроэнергетики с помощью БПЛА</b>	Особенности и преимущества использования БПЛА при планировании, строительстве заземляющих устройств. Оптический и тепловизионный мониторинг для выявления токов утечки по поверхности изоляторов. Организация аварийно-спасательных работ. Контроль коррозии деталей опор, оголения и ржавления арматуры, выявление деформации опор и дефектов их антикоррозийной защиты. Отслеживание загрязнений изоляторов промышленными уносами (с указанием цвета изоляторов), загрязнение изоляторов птицами. Мойка изоляторов ЛЭП с помощью БПЛА. Обзор применения БПЛА В электроэнергетике за рубежом;	4	4
<b>ИТОГО:</b>			<b>34</b>	<b>17</b>



### 4.3. Содержание лабораторных занятий

Лабораторные занятия учебным планом не предусмотрены

### 4.4. Содержание расчетно-графического задания

Задание: Определить напряжение прикосновения и напряжение на заземляющем устройстве понизительной подстанции, расположенной на территории с многослойной структурой грунта, вписанной в генплан промышленного предприятия (ГПП глубокого ввода). Оценить опасность выноса потенциала с территории электроустановки надземными коммуникациями

Исходные данные:

Таблица 1.

Площади зданий и сооружений, размещаемых на территории предприятия

№	$S_1,$ $a \times b,$ $m^2$	$S_2,$ $a \times b,$ $m^2$	$S_3,$ $a \times b,$ $m^2$	$S_4,$ $a \times b,$ $m^2$	$S_5,$ $a \times b,$ $m^2$	$S_6,$ $a \times b,$ $m^2$	$S_7,$ $a \times b,$ $m^2$	$S_8,$ $a \times b,$ $m^2$	$S_9,$ $a \times b,$ $m^2$	$S_{10}$ $a \times b,$ $m^2$
1	60×140	30×40	50×100	75×110	165×30	80×120	30×90	90×95	60×124	40×80
2	30×40	60×140	30×94	75×110	45×70	70×100	45×70	90×95	25×90	60×140
3	60×60	80×90	50×100	30×94	70×100	60×60	30×90	60×124	40×80	45×70
4	25×90	30×94	75×110	75×110	45×70	30×90	80×90	30×90	60×124	30×90
5	80×90	60×140	30×94	50×100	30×90	90×95	90×95	60×60	40×80	45×70
6	30×40	75×110	30×90	75×110	70×100	50×100	60×124	80×90	60×140	30×90
7	25×90	30×90	30×40	30×94	90×95	60×124	50×100	40×80	80×90	45×70
8	30×90	75×110	45×70	90×95	70×100	60×124	40×80	25×90	60×140	80×90
9	30×90	75×110	30×40	75×110	30×94	40×80	30×94	60×140	80×90	30×90
10	75×110	40×80	90×95	30×94	75×110	70×100	50×100	45×70	25×90	80×90
11	30×90	30×40	75×110	60×60	60×124	50×100	30×94	75×110	70×100	45×70
12	60×60	80×90	50×100	30×94	70×100	60×60	30×90	60×124	40×80	40×80
13	25×90	30×94	75×110	75×110	45×70	30×90	80×90	30×90	60×124	30×90
14	25×90	30×90	30×40	30×94	90×95	60×124	50×100	40×80	80×90	45×70
15	30×90	75×110	45×70	90×95	70×100	60×124	40×80	25×90	60×140	80×90

Площадь территории предприятия —  $S_{\text{ПР}} = 300 \times 600 = 180000 \text{ м}^2$ .

Данные геоэлектрического разреза земли:

Вариант задания		
1 - 5	$\rho_1 = 175 \text{ Ом}\cdot\text{м};$ $\rho_2 = 1300 \text{ Ом}\cdot\text{м};$ $\rho_3 = 880 \text{ Ом}\cdot\text{м};$ $\rho_4 = 1295 \text{ Ом}\cdot\text{м};$	$h_1 = 1,5 \text{ м};$ $h_2 = 80 \text{ м};$ $h_3 = 150 \text{ м};$ $h_4 = 700 \text{ м};$



	$\rho_5 = 300 \text{ Ом}\cdot\text{м};$	$h_5 = 900 \text{ м.}$
6 – 10	$\rho_1 = 180 \text{ Ом}\cdot\text{м};$ $\rho_2 = 1300 \text{ Ом}\cdot\text{м};$ $\rho_3 = 900 \text{ Ом}\cdot\text{м};$ $\rho_4 = 1300 \text{ Ом}\cdot\text{м};$ $\rho_5 = 300 \text{ Ом}\cdot\text{м};$	$h_1 = 1,4 \text{ м};$ $h_2 = 80 \text{ м};$ $h_3 = 148 \text{ м};$ $h_4 = 700 \text{ м};$ $h_5 = 860 \text{ м.}$
11 – 15	$\rho_1 = 185 \text{ Ом}\cdot\text{м};$ $\rho_2 = 1300 \text{ Ом}\cdot\text{м};$ $\rho_3 = 910 \text{ Ом}\cdot\text{м};$ $\rho_4 = 1300 \text{ Ом}\cdot\text{м};$ $\rho_5 = 300 \text{ Ом}\cdot\text{м};$	$h_1 = 1,6 \text{ м};$ $h_2 = 82 \text{ м};$ $h_3 = 150 \text{ м};$ $h_4 = 700 \text{ м};$ $h_5 = 900 \text{ м.}$

Ток замыкания на землю  $I^{(1)} = 8\text{-}17 \text{ кА.}$

## 1. Расчет заземляющей сети понизительной подстанции промпредприятия

Заземляющий контур понизительной подстанции, вписанной в генплан промышленного предприятия, всегда имеет металлическую связь с естественным заземлением промпредприятия. Это дает основание ЗУ подстанции и естественное заземление промпредприятия рассматривать как единую заземляющую систему.

Расчет ЗУ подстанций, сооружаемых на территории промпредприятия, рекомендуется производить в следующей последовательности.

1) Определение коэффициента заполнения ситуационного плана промышленного предприятия зданиями и сооружениями

$$\lambda = \frac{\sum_{k=1}^{k=n} S_K}{S_n}, \quad (1)$$

где  $\sum_{k=1}^{k=n} S_K$  – суммарная площадь на территории генплана, занятая производственными зданиями и сооружениями;  $S_n = a \times b$  – площадь генплана промышленного предприятия.

Как правило,  $\lambda \geq 0,4$ , тогда результирующее сопротивление растеканию фундаментов производственных зданий и сооружений приближается к сопротивлению эквивалентной пластины, вписанной в генплан предприятия.

Сопротивление такой пластины равно

$$R_{II} = 0,47 \cdot \alpha \cdot \frac{\rho_{\text{э}}}{a_{\text{э}}}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – контурный коэффициент, равный отношению сопротивления

растеканию всех фундаментов промпредприятия к сопротивлению эквивалентной пластины, его величина определяется по графику (рис. 1);  $a_{\text{э}} = \sqrt{S_n}$  – сторона эквивалентного квадрата генплана предприятия;  $\rho_{\text{э}}$  – эквивалентное удельное сопротивление однородной структуры земли в районе действующего промышленного предприятия.

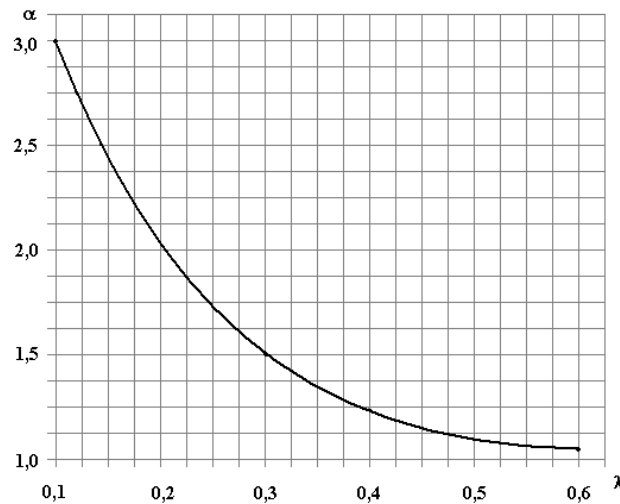


Рис. 1. Зависимость контурного коэффициента промплощадки от степени её застройки промышленными зданиями ( $\lambda$ ).

## 2) Расчет параметров эквивалентного геоэлектрического разреза земли реальной многослойной структуры

Результатом предпроектных изысканий должна являться информация о геоэлектрическом разрезе грунта на территории сооружения подстанции и в потенциально опасных точках на поверхности земли по трассам надземных коммуникаций, а именно: сведения об удельном сопротивлении ( $\rho$ , Ом·м) и мощности слоев земли ( $h$ , м).

Расчет параметров эквивалентного геоэлектрического разреза земли для реальной многослойной структуры производится в зависимости от конструктивных особенностей заземляющего устройства и сводится в основном к определению эквивалентного удельного сопротивления грунта.

Эквивалентное удельное сопротивление земли для поверхностных сеточных, пластинчатых горизонтальных электродов заземляющих устройств определяется согласно [3, 6] по формуле

$$\rho_{\text{э}} = \rho_2 \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2, \quad (3)$$

где  $\rho_2$  – удельное сопротивление второго слоя земли;  $\kappa_1, \kappa_2$  – коэффициенты, зависящие от параметров геоэлектрического разреза земли и характерного размера заземляющего устройства.

Значения коэффициентов  $\kappa_1, \kappa_2$  принимаются согласно табл. 1.

Таблица 1

Структура	$\kappa_1$	$\kappa_2$
$\rho_2 > \rho_1$ $\rho_3 < \rho_2$	$\kappa_1 = \frac{1}{1 + \frac{h_1}{a} \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1}}$	$\kappa_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{a}{h_0} \cdot \frac{\kappa_{12}}{\kappa'_{23}}}}$
$\rho_2 > \rho_1$ $\rho_3 > \rho_2$	$\kappa_1 = \frac{1}{1 + \frac{h_1}{a} \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1}}$	$\kappa_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{a}{h_0} \cdot \frac{\kappa'_{23}}{\kappa_{12}}}}$
$\rho_2 < \rho_1$ $\rho_3 < \rho_2$	$\hat{\epsilon}_1 = 1 + th \left( \frac{2h_1}{a} \right) \cdot \frac{\rho_1}{\rho_2}$	$\kappa_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + \left( th \frac{a}{h_0} \right) \cdot \frac{\rho_{3(\text{э})}}{\rho_2}}}$

В таблице имеется ряд обозначений величин:

$h_0 = h_1 + h_2$ ,  $m$  – мощность первых двух слоев;

$a$ ,  $m$  – характерный размер заземлителя, принимаемый равным  $a_3$ ;

$\kappa_{12}$ ,  $\kappa'_{23}$  – коэффициенты, определяемые из следующих соотношений:

$$\kappa_{12} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}; \quad \kappa'_{23} = \frac{\rho_{3(\text{э})} - \rho_2}{\rho_{3(\text{э})} + \rho_2}; \quad (4)$$

$\rho_{3(\text{э})}$ ,  $Om \cdot m$  – эквивалентное удельное сопротивление слоев земли, простирающихся ниже второго слоя,

$$\rho_{3(\text{э})} = \sqrt{\sum_{i=3}^{i=\infty} \rho_i h_i / \sum_{i=3}^{i=\infty} \frac{h_i}{\rho_i}}, \quad (5)$$

где  $\rho_i$ ,  $h_i$  – соответственно удельное сопротивление и мощность  $i$ -го слоя земли.

## 2. Оценка условий электробезопасности на заземляющей сети промпредприятия

Оценка условий электробезопасности на территории ОРУ подстанции осуществляется следующим образом:

Напряжение на заземляющей сети промпредприятия равно

$$U_0 = I_3 \cdot R_{\Pi}, \quad (6)$$

где  $I_3$  – ток, стекающий в землю с ЗУ;  $R_{\Pi}$  – сопротивление эквивалентной пластины ЗУ.

Если потенциал  $U_0$  на заземляющей сети предприятия меньше допустимой величины, то условия электробезопасности обеспечиваются в любой точке на территории подстанции, предприятия и в местах подхода к

промышленному комплексу надземных коммуникаций;

Если потенциал  $U_0$  на заземляющей сети предприятия больше допустимой величины, то необходимо оценить величину напряжения до прикосновения на территории ОРУ. При выполнении сеточного контура в соответствии с требованиями ПУЭ коэффициент прикосновения на территории ОРУ  $\alpha = 0,08 - 0,1$ . Поэтому

$$U_{\text{пр}} = \alpha \cdot I_3 R_{\text{п}}. \quad (7)$$

Если величина  $U_{\text{пр}}$  превышает нормируемую, следует расстояние между поперечными полосами сеточного контура снизить до 4-5 м. Это дает основание принять величину коэффициента прикосновения  $\alpha = 0,05 - 0,06$ , а, следовательно, существенно снизить напряжение до прикосновения.

ЗУ проектируемой подстанции будет удовлетворять требованиям электробезопасности, если на территории ОРУ обеспечиваются условия  $U_{\text{пр}} \leq U_{\text{пр.доп}}$  ( $U_{\text{пр.доп}} = 400 \text{ В}$  при времени срабатывания защиты  $t_{\text{с.з}} = 0,5 \text{ с}$ ,  $U_{\text{пр.доп}} = 880 \text{ В}$  при времени срабатывания защиты  $t_{\text{с.з}} = 0,2 \text{ с}$ ), а потенциал на заземляющем устройстве удовлетворяет требованиям ПУЭ гл. 1.7.50, согласно которой напряжение на ЗУ при стекании с него тока замыкания на землю не должно превышать 10 кВ. Напряжение выше 10 кВ допускается на ЗУ, с которых исключен вынос потенциалов за пределы зданий и внешних ограждений электроустановки. При напряжениях на ЗУ более 5 кВ и до 10 кВ должны быть предусмотрены меры по защите изоляции отходящих кабелей связи и телемеханики и по предотвращению выноса опасных потенциалов за пределы электроустановки.

## **2. Расчет напряжений до прикосновения по трассам надземных коммуникаций**

При ОКЗ на оборудование подстанции ток замыкания  $I^{(1)}$  к заземленным нейтралям системы (источника питания) возвращается через систему трубопроводов и металлоконструкций ( $I_T$ ) и обратный земляной провод (ОЗП) ( $I_{\text{озп}}$ ). Под обратным земляным проводом будем понимать зону распространения обратных токов ОКЗ в земле.

Определение величины потенциала, выносимого системой трубопроводов от ЗУ подстанции, сводится к расчету на них напряжений до прикосновения ( $U_{\text{д.пр}}$ ). Величина  $U_{\text{д.пр}}$  зависит от разности потенциалов между металлом трубы и точками на поверхности земли.

На поверхности земли величина продольной составляющей

напряженности электрического поля  $E$ , В/км, будет определяться удаленностью анализируемой точки ( $x$ ) от ЗУ, на котором произошло ОКЗ, удельным эквивалентным сопротивлением грунта ( $\rho_{\Sigma}$ ) и величиной тока ОКЗ по формуле

$$E_{(x)} = 0,05I_3 \left( 1 - j1,27 \ln \frac{80\sqrt{\rho_{\Sigma}}}{x} \right), \quad (8)$$

В качестве среднего значения  $\rho_{\Sigma}$  можно принимать продольное удельное сопротивление грунта, полученного в результате расчета по формуле

$$\rho_{\Sigma} = \rho \cdot l = \frac{1000}{\sum_{i=1}^{i=k} \frac{h_i}{\rho_i}}. \quad (9)$$

При суммировании значений  $\frac{h_i}{\rho_i}$  учитываются слои земли от поверхности и далее на глубину до 1000 м. В количественном отношении продольное удельное сопротивление земли выражается числом, незначительно отличающимся от  $\rho$  слоя, имеющего наименьшее удельное сопротивление (в качестве среднего значения  $\rho_{\Sigma}$  можно принимать величину  $\rho_{\Sigma} = \rho \cdot l = 400 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ).

Влияние ОЗП на распределение потенциала по поверхности земли следует учитывать и в случае, когда трубопровод связывает ЗУ подстанции (где произошло ОКЗ) с выносным заземлителем (см. рис. 2).

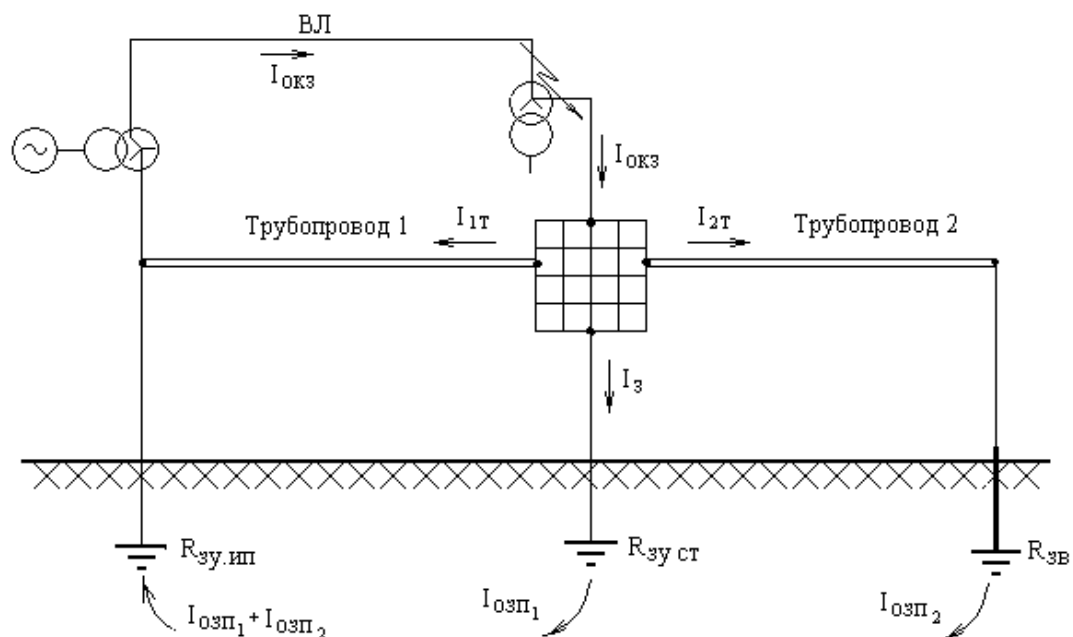


Рис. 2. Схема заземляющей сети промышленной ГПП.  $R_{зу.ип}$ ,  $R_{зу.ст}$ ,  $R_{зв}$  – сопротивления заземляющих устройств источника питания, подстанции и выносного заземлителя соответственно.

Согласно схеме рис. 2 ток с места ОКЗ частично стекает в землю с ЗУ, частично в трубопровод к источнику питания, а частично в трубопровод, являющийся проводником между ЗУ подстанции и выносным заземлителем.

Надземный трубопровод с током  $I_{2T}$ , соединяющий ЗУ подстанции с выносным заземлителем, является (см. рис. 2) прямым проводом для тока  $I_{ОЗП_2}$  в системе трубопровод-земля, а трубопровод 1 с током  $I_{1T}$ , соединяющий ЗУ подстанции с ЗУ источника питания – обратным для тока  $I_{ОКЗ}$ .

Напряженность электрического поля на поверхности земли по трассе трубопровода 2 может быть найдена из соотношения (10) при подстановке вместо тока  $I_3$  величины тока  $I_{2T}$  (максимальный потенциал будет иметь земля в месте ввода тока в землю, т.е. в районе выносного заземлителя. По мере приближения к ЗУ подстанции, на которой произошло ОКЗ, на величину потенциала на поверхности земли начинают оказывать влияние токи, стекающие с ЗУ подстанции).

Для оценки величины напряжения до прикосновения на трубопроводе необходимо знать изменение напряжения по трассе как на самом трубопроводе, так и на поверхности ОЗП. Если за точку отсчета принять ЗУ подстанции, где произошло ОКЗ, то падение напряжения на трубопроводе до точки, удаленной на расстояние  $x$ , будет равно

$$\Delta U_T = I_T \cdot x_{OT} \cdot x, \quad (10)$$

где  $I_T$  – ток в трубопроводе 2;  $x_{OT}$  – погонное продольное сопротивление трубопровода 2, Ом/км.

Падение напряжения на поверхности ОЗП, т. е. на поверхности земли вдоль трассы трубопровода

$$\Delta U_3 = E_x \cdot x. \quad (11)$$

Применительно к трубопроводу 1, относительная величина падений напряжения в земле и трубопроводе по трассе, где влияние ЗУ подстанции не сказывается, может быть найдена по выражению

$$\varphi^*(x) = \frac{\Delta U_3}{\Delta U_T} = \frac{E_{(x)}}{I_{1T} x_{OT}}, \quad (12)$$

где  $I_{1T}$  – ток в трубопроводе 1;  $x_{OT}$  – погонное продольное сопротивление трубопровода 1, Ом/км.

Максимальное значение напряжения до прикосновения на трубопроводе определяется по формуле

$$U_{д.пп} = U_0 \left( 1 - \varphi^*(x) \right), \quad (13)$$

где  $U_0$  напряжение на ЗУ подстанции.

По трассе трубопровода 2 ОЗП создается током, стекающим с выносного заземлителя, т. е. током  $I_{2T}$ . В этом случае величина напряжения до прикосновения по трассе трубопровода 2 будет определяться выражением

$$U_{д.пр} = \alpha \cdot U_0 \left( 1 - \phi^*(x) \right), \quad (14)$$

где  $\alpha$  – коэффициент до прикосновения, зависящий от числа свай в опоре трубопровода и расстояния между ними. Для пролетов длиной 10-160 м и числа свай в опоре 1–4 величина  $\alpha$  определяется по графическим зависимостям рис. 3;  $\phi^*(x)$  – потенциал на поверхности земли относительно напряжения на заземляющем устройстве  $U_0$ .

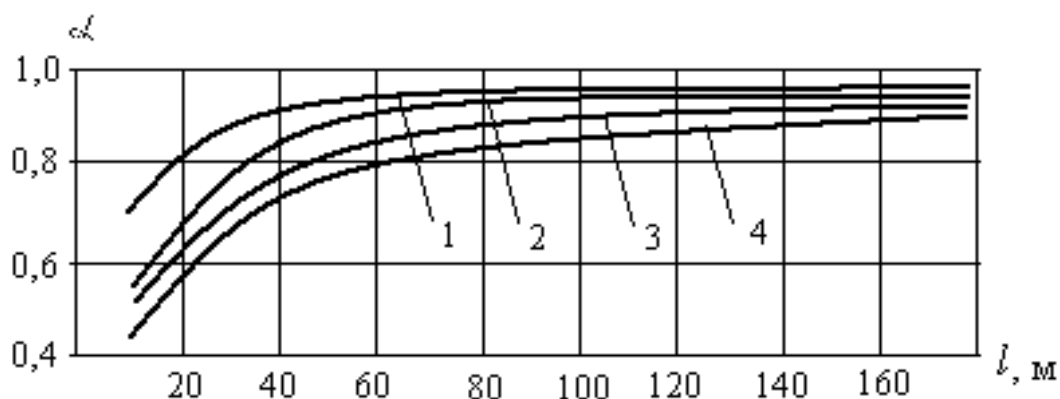


Рис. 3. Влияние длины пролета между опорами трубопровода  $l$  на коэффициент прикосновения  $\alpha$  для различного числа свай в опоре.

Для ориентировочного расчета распределения потенциала по трассе трубопровода 2 от поверхностных заземлителей пластинчатого типа можно воспользоваться обобщающей потенциальной кривой, изображенной на рис. 4. Эта кривая охватывает практически весь возможный диапазон геометрических размеров поверхностных пластинчатых заземлителей для характерных геоэлектрических разрезов в районах Крайнего Севера.



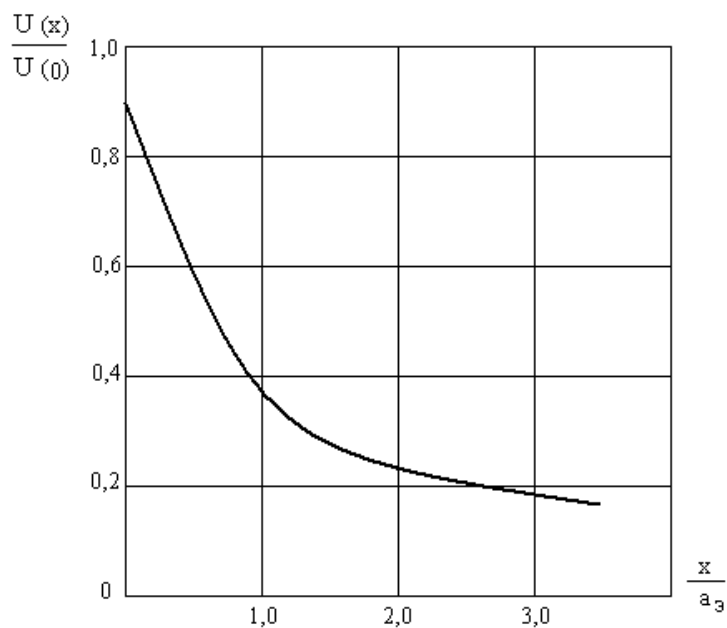


Рис. 4. Обобщающая зависимость изменения потенциала  $\phi(x) = U(x)/U_0$  на поверхности земли при удалении от края квадратной пластины  $(x/a_{\text{э}})$ , соответствующая летнему времени.

Потенциал в точке  $x$  на поверхности земли при стекании тока с вертикального электрода определяется выражением

$$U(x) = \frac{\rho_{\text{э(В)}}}{2\pi l} \ln \frac{\sqrt{r^2 + l^2} + l}{r} \quad (15)$$

Ограничение потенциала, выносимого трубопроводами за пределы ОРУ подстанции, возможно посредством протяженного заземлителя, уложенного на глубину 0,3-0,4 м вдоль трассы коммуникаций. Заземлитель такого типа называется противовесом. Связь противовеса с трубами осуществляется в его начале, конце и по всей трассе на расстоянии 100-200 м. Противовес укладывается на расстоянии 1-3 м от трассы трубопровода.

## 4.5. Содержание курсовой работы

Курсовая работа учебным планом не предусмотрена

## 5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 5.1. Реализация компетенций

#### 1 Компетенции:

**ПК-3.** Способен определять и поддерживать режимы работы объектов электроэнергетики, с учетом энерго- и ресурсосбережения и требований электробезопасности

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
ПК-3.2. Применяет методы и средства для обеспечения безопасных режимов работы оборудования электроэнергетических сетей и систем электроснабжения	дифзачет, выполнение заданий в рамках проведения практических занятий; тестирование по основным темам дисциплины

### 5.2. Типовые контрольные задания для аттестации

Аттестация осуществляется в конце третьего семестра, после завершения изучения дисциплины в форме дифзачета

#### Вопросы для подготовки к дифзачету

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Электрофизические характеристики грунтов (ПК-3.2)	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Что такое «геоэлектрический разрез земли»? для чего он необходим?</li><li>2. Каковы температурные изменения и изменения удельного сопротивления земли по глубине?</li><li>3. Как изменяется удельное сопротивление грунта в зависимости от атмосферных осадков?</li><li>4. Что такое «деятельный и аккумуляционный слой» земли?</li><li>5. Существуют ли характерные геоэлектрические разрезы земли и каковы методы получения информации о них?</li><li>6. Для чего необходимо обоснование расчетного исходного сезона при решении вопросов обеспечения электробезопасности в электроустановках.</li></ol>

		<p>7. В чем состоит принцип замены реального геоэлектрического разреза земли однородной эквивалентной структурой.</p>
2	<p>Основы теории растекания токов в земле (ПК-3.2)</p>	<p>1. Что представляет собой поле точечного источника в однородной земле?</p> <p>2. Что представляет собой поле шарового заземлителя в однородном грунте?</p> <p>3. Что представляет собой поле вертикального и горизонтального заземлителей в однородном грунте?</p> <p>4. Как влияет неоднородность грунта на картину растекания токов от заземлителя?</p> <p>5. Почему используют сложные заземляющие устройства? Как выглядит поле сложного заземляющего устройства?</p> <p>6. В чем суть метода пробного электрода?</p> <p>7. В чем суть метода вертикального электрического зондирования земли?</p>
3	<p>Практические методы расчета ЗУ (ПК-3.2)</p>	<p>1. В чем суть метода средних наведенных потенциалов в расчетах заземляющих устройств?</p> <p>2. В чем состоит проблема расчета параметров ЗУ с учетом неоднородности земли?</p> <p>3. Электропроводимость железобетонных фундаментов.</p> <p>4. В чем суть расчета поверхностных сеточных заземлителей, в частности, озерных заземлителей?</p> <p>5. В чем особенности расчета вертикальных заземляющих устройств.</p> <p>6. В чем особенности расчета комбинированных заземляющих устройств.</p> <p>7. Для чего необходим расчет естественной заземляющей сети промышленного предприятия, цеха, здания?</p>
4	<p>Обеспечение электробезопасности на территории промышленных предприятий и понижающих подстанций и воздушных линий электропередач (ЛЭП) (ПК-3.2)</p>	<p>1. В чем состоит суть расчета ЗУ автономной подстанции (ЗУ главной понизительной подстанции (ГПП), вписанной в ситуационный план промпредприятия);</p> <p>2. В чем состоит суть расчета потенциала, выносимого от ГПП надземными металлическими коммуникациями.</p> <p>3. Поясните известные вам методы снижения выносимого потенциала</p> <p>4. Что представляют собой типовые ЗУ опор ЛЭП?</p> <p>5. Нормируются ли параметры ЗУ опор ЛЭП?</p> <p>6. Что называют «искусственными заземлителями» опор ЛЭП и каковы методы их сооружения?</p> <p>7. Каким документом устанавливается нормирование уровня электробезопасности в электроустановках?</p> <p>8. Как обеспечивается электробезопасность персонала в производственных помещениях и на территории ГПП.</p> <p>9. Что такое «обоснование расчетного тока однофазного короткого замыкания на землю при оценке уровня электробезопасности в электроустановках с развитой заземляющей сетью»?</p>

		<p>1. Что такое «стационарное сопротивление» в однородном и неоднородном грунтах?</p> <p>2. Что такое «импульсное сопротивление» искусственных заземлителей?</p> <p>3. Что такое «термическая стойкость» заземляющих устройств?</p>
5	Эксплуатационный контроль параметров заземляющих устройств (ПК-3.2)	<p>1. Перечислите типовое оборудование, используемое для оценки параметров ЗУ и оценки уровня электробезопасности.</p> <p>2. В чем состоит суть измерения сопротивлений растеканию автономных заземлителей и сложных заземляющих устройств понизительных подстанций?</p> <p>3. В чем состоит суть измерения сопротивления растеканию заземляющих устройств опор с грозозащитным тросом и без него?</p> <p>4. В чем состоит суть измерения распределения потенциала вблизи опоры.</p> <p>5. Каким образом и для чего производят измерение токов, отсасывающихся в естественную заземляющую сеть предприятия?</p> <p>6. Перечислите типовое оборудование, используемое для оценки параметров ЗУ и оценки уровня электробезопасности</p> <p>7. Каковы основы нормирования электрических и конструктивных параметров заземляющих устройств</p>
	Эксплуатационный контроль параметров объектов электроэнергетики с помощью БПЛА (ПК-3.2)	<p>1. В чем состоит влияние своевременной инспекции за состоянием объектов электроэнергетики на уровень электробезопасности в электроустановках</p> <p>2. С какой целью производят контроль состояния грозозащитных тросов на линиях электропередачи; молниеприемников и заземляющей сетки на крыше зданий электроустановок; ограничителей перенапряжения и пр.</p> <p>3. Как используют БПЛА в целях диагностики электроэнергетического хозяйства</p> <p>4. В чем состоят преимущества используют БПЛА в целях диагностики электроэнергетического хозяйства</p> <p>5. С какой целью необходимо оснащение энергетиков мультикоптерами.</p> <p>6. Для чего осуществляют оптический и тепловизионный мониторинг поверхности изоляторов</p> <p>7. Как на электробезопасность электроустановок влияет отслеживание загрязнения изоляторов промышленными уносами, загрязнение изоляторов птицами</p>

### 5.3. Перечень типовых вопросов для практических занятий

#### Примеры типовых и задач для практических занятий

##### Типовые задачи

**Задача 1.** Определить потенциал на поверхности земли в заданных точках в зоне растекания тока в земле с однородной структурой грунта и

сопротивление растеканию полусферического заземлителя на территории электроустановки напряжением 110 кВ (результат пояснить).

**Краткие теоретические положения.** При растекании тока в земле создается электрическое поле, а на поверхности образуется зона растекания тока (рис. 1). Потенциал заземлителя, с которого стекает ток, а также потенциал на поверхности земли зависят от электрической структуры земли, размеров и геометрических особенностей строения заземлителя.

Для полусферического электрода, в предположении, что второй электрод такой же формы удален в противоположном направлении на очень большое расстояние, картина электрического поля при стекании с него тока в однородной земле будет выглядеть, как показано на рисунке ниже, то есть линии тока (2) будут направлены по радиусам. Эквипотенциальные поверхности (т.е. поверхности равного потенциала) перпендикулярны к линиям тока и образуют концентрические полусферы 3.

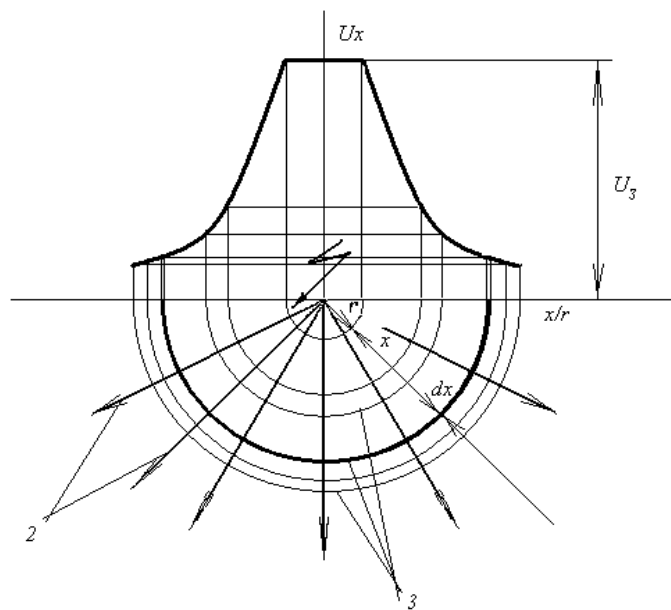


Рис. 1. Растекание тока в однородной земле

Плотность тока на единицу площади полусферической эквипотенциальной поверхности радиусом  $(r + x)$ ,  $A/m^2$  составит:

$$\delta_x = \frac{I}{2\pi(r+x)^2},$$

где  $r$  – радиус полусферического заземлителя;  $x$  – расстояние от края заземлителя до рассматриваемой точки.

Напряженность электрического поля,  $B/m$ , на расстоянии  $x$  от края заземлителя определяется по закону Ома в дифференциальной форме:

$$E_x = \rho \cdot \delta_x = \frac{I \cdot \rho}{2\pi(r+x)^2},$$

где  $\rho$ ,  $Om \cdot m$  – удельное электрическое сопротивление земли (между гранями куба со стороной 1 м  $\rho = RS/l$ ,  $Om \cdot m^2/m$  или  $Om \cdot m$ ).

Потенциал в зоне растекания тока равен линейному интегралу напряженности поля от  $(r + x)$  до бесконечно удаленной зоны, в которой потенциал равен нулю:

$$U_x = \int_{(r+x)}^{\infty} E_x dx = \int \frac{I \cdot \rho}{2\pi(r+x)^2} dx = \frac{I \cdot \rho}{2\pi(r+x)}.$$

Из этого выражения следует, что потенциал  $U_x$  тем меньше, чем больше линейный размер заземлителя  $r$  и расстояние от заземлителя  $x$ . При  $x \rightarrow \infty$  потенциал  $U_x \rightarrow 0$ . Теоретически зона земли, в которой отсутствует потенциал, находится в бесконечности. Практически зоной нулевого потенциала называется зона земли, в которой потенциал на ее поверхности мало заметен. Потенциал в рассматриваемой точке  $x$  тем меньше, чем больше относительное расстояние  $x/r$  от заземлителя.

Как правило, на расстоянии, равном одному диаметру полусферы ( $x = 2r$ ), потенциал на поверхности земли составляет 32% напряжения заземлителя. На расстоянии, равном семи-восьми диаметрам полусферы, потенциал на поверхности земли составит всего 6% напряжения заземлителя.

Сопротивление, которое оказывает току земля, окружающая электрод, называется сопротивлением растеканию. В практике употребляют условный термин – сопротивление заземлителя. Его не следует смешивать с собственным сопротивлением электрода, которое очень мало по сравнению с сопротивлением массы земли, окружающей электрод. Сопротивление заземлителя (сопротивление растеканию)  $R$ , Ом определяют как отношение напряжения заземлителя  $U_3$  к току  $I$ , стекающему с него в землю:

$$R = U_3 / I.$$

Сопротивление растеканию полусферического заземлителя

$$R = U_3 / I = I\rho / (2\pi \cdot r \cdot l) = \rho / (2\pi \cdot r).$$

№ варианта	Радиус полусферического заземлителя $r$ , м	Расстояние от края заземлителя до рассматриваемой точки $x$ , м	удельное электрическое сопротивление земли $\rho$ , Ом·м;	Величинаа тока, стекающего с заземлителя, I, кА
1	0,2	$2r, 4r, 8r$	1300	7,0
2	0,4	$2r, 3r, 7r$	900	8,0
3	0,6	$2r, 3r, 6r$	800	13,0
4	0,1	$2r, 5r, 9r$	750	10,0
5	0,3	$2r, 4r, 8r$	380	15,0
6	0,5	$2r, 3r, 7r$	1100	9,0
7	0,2	$2r, 3r, 6r$	470	7,5
8	0,4	$2r, 5r, 9r$	950	9,3
9	0,6	$2r, 3r, 6r$	1300	7,0
10	0,1	$2r, 5r, 9r$	900	8,0
11	0,3	$2r, 4r, 8r$	850	13,0
12	0,5	$2r, 3r, 7r$	750	10,0
13	0,2	$2r, 3r, 6r$	780	15,0
14	0,4	$2r, 4r, 8r$	1100	9,0
15	0,1	$2r, 3r, 7r$	570	7,5

## Типовые вопросы

1. Что такое «геоэлектрический разрез земли»? для чего он необходим?
2. Каковы температурные изменения и изменения удельного сопротивления земли по глубине?
3. Как изменяется удельное сопротивление грунта в зависимости от атмосферных осадков?
4. Что такое «деятельный и аккумуляционный слой» земли?
5. Существуют ли характерные геоэлектрические разрезы земли и каковы методы получения информации о них?
6. Для чего необходимо обоснование расчетного исходного сезона при решении вопросов обеспечения электробезопасности в электроустановках.
1. В чем состоит принцип замены реального геоэлектрического разреза земли однородной эквивалентной структурой.
2. Что представляет собой поле точечного источника в однородной земле?
3. Что представляет собой поле шарового заземлителя в однородном грунте?
4. Что представляет собой поле вертикального и горизонтального заземлителей в однородном грунте?
5. Как влияет неоднородность грунта на картину растекания токов от заземлителя?
6. Почему используют сложные заземляющие устройства? Как выглядит поле сложного заземляющего устройства?
7. В чем суть метода пробного электрода?
8. В чем суть метода вертикального электрического зондирования земли?
9. В чем суть метода средних наведенных потенциалов в расчетах заземляющих устройств?
10. В чем состоит проблема расчета параметров ЗУ с учетом неоднородности земли?
11. Электропроводимость железобетонных фундаментов.
12. В чем суть расчета поверхностных сеточных заземлителей, в частности, озерных заземлителей?
13. В чем особенности расчета вертикальных заземляющих устройств.
14. В чем особенности расчета комбинированных заземляющих устройств.
15. Для чего необходим расчет естественной заземляющей сети промышленного предприятия, цеха, здания? В чем состоит суть расчета ЗУ автономной подстанции (ЗУ главной понизительной подстанции (ГПП), вписанной в ситуационный план промпредприятия);
16. В чем состоит суть расчета потенциала, выносимого от ГПП надземными металлическими коммуникациями.
17. Поясните известные вам методы снижения выносимого потенциала
18. Что представляют собой типовые ЗУ опор ЛЭП?
19. Нормируются ли параметры ЗУ опор ЛЭП?
20. Что называют «искусственными заземлителями» опор ЛЭП и каковы методы их сооружения?
21. Каким документом устанавливается нормирование уровня электробезопасности в электроустановках?
22. Как обеспечивается электробезопасность персонала в производственных помещениях и на территории ГПП.
23. Что такое «обоснование расчетного тока однофазного короткого замыкания на землю при оценке уровня электробезопасности в электроустановках с развитой заземляющей сетью»?
24. В чем состоит влияние своевременной инспекции за состоянием объектов электроэнергетики на уровень электробезопасности в электроустановках



25. С какой целью производят контроль состояния грозозащитных тросов на линиях электропередачи; молниеприемников и заземляющей сетки на крыше зданий электроустановок; ограничителей перенапряжения и пр.
26. Как используют БПЛА в целях диагностики электроэнергетического хозяйства
27. В чем состоят преимущества используют БПЛА в целях диагностики электроэнергетического хозяйства
28. С какой целью необходимо оснащение энергетиков мультикоптерами.
29. Для чего осуществляют оптический и тепловизионный мониторинг поверхности изоляторов
30. Как на электробезопасность электроустановок влияет отслеживание загрязнения изоляторов промышленными уносами, загрязнение изоляторов птицами

#### 5.4. Описание критериев оценивания компетенций и шкалы оценивания

При промежуточной аттестации в форме дифзачета (3 семестр) используется следующая шкала оценивания: 2 – неудовлетворительно, 3 – удовлетворительно, 4 – хорошо, 5 – отлично.

Оценка преподавателем выставляется интегрально с учётом всех показателей и критериев оценивания

При промежуточной аттестации в форме дифзачета:

Оценка сформированности компетенций по показателю Знания.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Знание терминов, определений, понятий	Не знает терминов и определений, основных аспектов действующих правовых и нормативных документов в области энергосбережения для оценки возможности применения теоретических и экспериментальных методов расчета потенциала энергоэффективности объектов профессиональной деятельности	Знает термины и определения, основных аспектов действующих правовых и нормативных документов в области энергосбережения для оценки возможности применения теоретических и экспериментальных методов расчета потенциала энергоэффективности объектов профессиональной деятельности, но допускает неточности формулировок	Знает технические термины и определения основных аспектов действующих правовых и нормативных документов в области энергосбережения для оценки возможности применения теоретических и экспериментальных методов расчета потенциала энергоэффективности объектов профессиональной деятельности,	Знает технические термины и определения основных аспектов действующих правовых и нормативных документов в области энергосбережения для оценки возможности применения теоретических и экспериментальных методов расчета потенциала энергоэффективности объектов профессиональной деятельности и может корректно сформулировать их самостоятельно

<p>Знание основных закономерностей, соотношений, принципов</p>	<p>Не знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методики расчета потерь при работе электроэнергетического оборудования;</li> <li>– методики проведения энергоаудита;</li> <li>– методики использования полученных результатов для расчета показателей энергетических потерь и разработки мероприятий по энергосбережению;</li> <li>– Принципов расчета искусственного освещения с целью применения более энергоэффективных осветительных установок для увеличения показателя энергосбережения</li> </ul>	<p>Знает, но допускает неточности при формулировке:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методики расчета потерь при работе электроэнергетического оборудования;</li> <li>– методики проведения энергоаудита;</li> <li>– методики использования полученных результатов для расчета показателей энергетических потерь и разработки мероприятий по энергосбережению;</li> <li>– Принципов расчета искусственного освещения с целью применения более энергоэффективных осветительных установок для увеличения показателя энергосбережения</li> </ul>	<p>Знает и способен интерпретировать основы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методики расчета потерь при работе электроэнергетического оборудования;</li> <li>– методики проведения энергоаудита;</li> <li>– методики использования полученных результатов для расчета показателей энергетических потерь и разработки мероприятий по энергосбережению;</li> <li>– Принципов расчета искусственного освещения с целью применения более энергоэффективных осветительных установок для увеличения показателя энергосбережения</li> </ul>	<p>Знает и способен самостоятельно объяснить применение:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методики расчета потерь при работе электроэнергетического оборудования;</li> <li>– методики проведения энергоаудита;</li> <li>– методики использования полученных результатов для расчета показателей энергетических потерь и разработки мероприятий по энергосбережению;</li> <li>– Принципов расчета искусственного освещения с целью применения более энергоэффективных осветительных установок для увеличения показателя энергосбережения</li> </ul>
--	--	---	--	--

Объем освоенного материала	Не знает значительной части материала дисциплины	Имеет поверхностные знания основного материала дисциплины, не усвоив его детали	Знает материал дисциплины в полном объеме	Обладает твердыми и полными знаниями материала дисциплины, владеет дополнительными знаниями
Полнота ответов на вопросы	Не дает ответы на большинство задаваемых вопросов	Дает неполные ответы на большинство вопросов	Дает полные ответы на большую часть заданных вопросов	Дает полные, развернутые ответы на все поставленные вопросы
Четкость изложения и интерпретации знаний	Излагает знания без логической последовательности	Излагает знания с нарушениями в логической последовательности	Излагает знания без нарушений в логической последовательности	Излагает знания в логической последовательности, самостоятельно их интерпретируя и анализируя
	Не иллюстрирует изложение поясняющими формулами, графиками, рисунками и примерами	Выполняет поясняющие формулы, графики и рисунки небрежно и с ошибками	Выполняет поясняющие формулы, рисунки и схемы корректно и правильно	Выполняет поясняющие рисунки и схемы точно и аккуратно, раскрывая полноту усвоенных знаний
	Не излагает или неверно излагает и интерпретирует знания	Допускает неточности в изложении и интерпретации знаний	Грамотно и по существу излагает знания	Грамотно и точно излагает знания, делает самостоятельные выводы

### Оценка сформированности компетенций по показателю Умения.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Полнота ответа на вопросы экзаменационного билета	Ответы на вопросы экз. билета даны не верно	Ответы даны не в полном объеме	Ответы на вопросы билета раскрыты полностью	Ответы выполнены полностью, рациональным способом
Качество ответа на вопросы экзаменационного билета	Имеются существенные ошибки при ответе на вопросы билета	Ответы выполнены с существенными неточностями, не носящими принципиальный характер	Ответы выполнены с небольшими неточностями	Ответы выполнены без ошибок
Самостоятельность подготовки ответа на вопросы экзаменационного билета	Не может подготовить ответы, в том числе и с дополнительной помощью	Может выполнить задание только с дополнительной помощью	Выполняет задание в основном самостоятельно	Самостоятельно выполняет задание
Умение сравнивать, сопоставлять и обобщать и делать выводы	Не умеет сравнивать, сопоставлять и обобщать, а также делать выводы при ответе на вопросы билета	Допускает ошибки при сопоставлении, обобщении и при формулировании выводов на заданные вопросы	Умеет сравнивать, сопоставлять и обобщать, но допускает небольшие неточности при формулировании выводов	Умеет сравнивать, сопоставлять и обобщать, а также делать верные выводы на задаваемые вопросы
Качество оформления ответа на вопросы экзаменационного билета	Ответы оформлено настолько неряшливо, что не поддаются проверке	Ответы оформлены неаккуратно, отсутствуют необходимые пояснения в виде графиков, схем и	Ответы оформлены аккуратно, с необходимыми пояснениями	Ответы оформлены аккуратно, с необходимыми пояснениями и ссылками на используемые

		формул		источники
Правильность применения теоретического материала	При объяснении теоретического материала допускаются грубые ошибки в технических терминах	Объясняя теоретический материал, допускает ошибки, не носящие принципиальный характер	Теоретический материал применен и интерпретирован в целом правильно, но с несущественными неточностями	Теоретический материал применен и интерпретирован правильно

### Оценка сформированности компетенций по показателю Навыки.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Выбор методики формирования ответов на вопросы билета	Неверно выбрана методика подготовки ответов	Методика формирования ответов выбрана в целом верно, но имеются незначительные неточности при описании расчетных зависимостей и графического материала	Методика выполнения ответов выбрана верно, но имеются недочеты, не относящиеся к основным расчетным зависимостям и графическому материалу	Выбрана верная или наиболее рациональная методика формирования ответов с применением графического и аналитического методов
Анализ результатов решения задачи	Не произведен анализ результатов решения задачи	Анализ результатов, полученных при решении задачи, выполняется только при помощи преподавателя	Допускаются незначительные неточности в ходе анализа результатов решения задачи	Произведен анализ результатов решения задачи и сделаны исчерпывающие выводы
Обоснование полученных результатов	Представляемые результаты не обоснованы	Имеются замечания к полученным результатам, отсутствует в достаточной степени их обоснование	Представляемые результаты обоснованы и в целом аргументированы, имеются ссылки на учебно-методическую литературу	Представляемые результаты обоснованы, четко аргументированы с указанием ссылок на нормативные, справочные и учебно-методические источники

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 1.1. Материально-техническое обеспечение

№	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	Учебная аудитория для проведения лекционных занятий	Лекционные занятия проводятся в аудитории 223 мех. корпуса. Аудитория оснащена презентационной техникой. Курс лекций обеспечивается комплектом электронных презентаций. В качестве материально-технического обеспечения дисциплины используются мультимедийные средства, ноутбук
2	Учебная аудитория для проведения практических занятий, лабораторных работ, консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации	Практические занятия – специализированный компьютерный класс М424, оснащенный презентационной техникой (проектор Acer Projector P1165) и персональными компьютерами (Intel Core i3-8100 CPU 3.60 ГГц/ Gigabyte Z370 HD3/ RAM 8192 Мб/ HDD 1 Тб/ NVIDIA GeForce GTX 750/ LOC 23,8"/ ASUS DRW-24D5MT/ Wi-Fi/ LAN100Mb/ CyberPower BS850E), подключенными к локальной сети университета с доступом в интернет
3	Читальный зал библиотеки для самостоятельной работы	Для самостоятельной работы студентов предусмотрен компьютерный класс, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета, а также участием в программах Microsoft Office 365 для образования (студенческий) (№ дог. E04002C51M) с возможностью бесплатной загрузки программного обеспечения Microsoft.

## 6. Перечень учебных изданий и учебно-методических материалов

### 6.1. Перечень основной литературы

1. Долин, П. А. Электробезопасность. Задачник : учеб. пособие / П. А. Долин, В. Т. Медведев, В. В. Корочков. - Москва : Гардарики, 2003. - 213 с. - ISBN 5-8297-0136-7 : 47.30 р.
2. Основы электробезопасности (теория и практика). - Нижний Новгород : Вента-2, 2004. - 120 с. - ISBN 5-89621-097-3 : 150.00 р.
3. Сибикин Ю.Д. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий: М.: Издательский центр «Академия», 2008.
4. ГОСТ 12.1.030 – 81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление и зануление.
5. Карякин Р.Н. Заземляющие устройства электроустановок. Справочник. Второе издание. М.; Энергосервис 2006 г.

6. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Виды защит, обеспечивающие безопасность эксплуатации электроустановок (в трех частях) СПб. «Электро Сервис» 2008

7. Карякин Р.Н. Устройство безопасных электроустановок. Справочник. М.: Энергосервис 2003г.

8. Монахов А.Ф. Защитные меры электробезопасности в электроустановках. Учебное пособие. М.; ЗАО «Энергосервис», 2008 г.

9. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. М. ЗАО «Энергосервис», 2006 г

10. Сенигов П.Н. Электробезопасность в системах электроснабжения [Текст]: Руководство по выполнению базовых экспериментов. – Челябинск: ИПЦ «Учебная техника», 2007. – 81

## **6.2. Перечень дополнительной литературы**

1. Бургсдорф В.В., Якобс А.И. Заземляющие устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 400 с.: ил.

2. Цирель Я.А. Заземляющие устройства воздушных линий электропередачи. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 160 с.: ил.

3. Коструба С.И. Измерения электрических параметров земли и заземляющих устройств. М.: «Энергия». 1972.

4. Электробезопасность на промышленных предприятиях: Справочник/ Р.В. Сабарно, А.Г. Степанов, А.В. Слонченко, Г.Д. Харламов. – К.: Техніка, 1985. – 288 с., с ил. Библиогр.: с. 284 – 286.

5. Солуянов Ю.И. Повышение эффективности защитных мер электробезопасности электроустановок промышленных предприятий: Учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. Ун-т, 2004 г.

6. Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию предприятий общественных зданий [Текст] / под ред. С. И. Гамазина, Б.И. Кудрина, С.А. Цырука. – М.: Изд-во Моск. энерг. ин-та, 2010. – 745 с. Режим доступа: [https://e.lanbook.com/book/72291#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/72291#book_name) – ЭБС «Лань»

## **6.3. Перечень интернет ресурсов**

1. Сайт Министерства энергетики Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru> – Заглавие с экрана.

2. Сайт ПАО «РОССЕТИ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rosseti.ru/> – Заглавие с экрана.

3. Сайт ПАО «РусГидро» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rushydro.ru/> - Заглавие с экрана.

4. ГОСТ 14254-96 (МЭК 529-89). Степени защиты, обеспечиваемые оболочками [Электронный ресурс]. – Москва: Изд-во стандартов, 1997. – URL [http://tehnorma.ru/gosttext/gost/gost\\_3230.htm](http://tehnorma.ru/gosttext/gost/gost_3230.htm) (дата обращения: 21.01.2015)

5. <http://www.forca.ru> – Электрические сети, оборудование электроустановок

6. СО 153-34.03.603-2003. Инструкция по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках [Текст]. – Москва, 2003. – 76 с.

7. <http://www.twirpx.com> – служба, обеспечивающая с помощью специализированного аппаратно-программного обеспечения хранение, накопление, передачу и обработку материалов Пользователей, представленной в электронном виде в публичный доступ. Интернет-библиотека, в которой собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам и отраслям знания



## 7. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ<sup>1</sup>

Рабочая программа утверждена на 2025 /2026 учебный год  
без изменений / с изменениями, дополнениями<sup>2</sup>

Протокол № 16 заседания кафедры от «01» 07 2025 г.

Заведующий кафедрой

подпись, ФИО

Директор института

подпись, ФИО

<sup>1</sup> Заполняется каждый учебный год на отдельных листах

<sup>2</sup> Нужно подчеркнуть