

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

**Балахнинский филиал ННГУ**

---

**УТВЕРЖДЕНО**  
решением президиума  
Учёного совета ННГУ  
от «14» декабря 2021 г.  
протокол № 4.

**Рабочая программа дисциплины  
ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ**

Уровень высшего образования  
**БАКАЛАВРИАТ**

Направление подготовки  
**13.03.02. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

Направленность (профиль) образовательной программы  
**ЭЛЕКТРОРАДИОТЕХНИКА**

Квалификация

**БАКАЛАВР**

Формы обучения  
**ОЧНАЯ, ОЧНО-ЗАОЧНАЯ**

Балахна  
2022

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина относится к обязательной части ОПОП (Б1.О.26), ориентирована на подготовку выпускников к решению всех заявленных типов задач профессиональной деятельности и частичное формирование компетенций: ПКО-1, определяемое индикатором ПКО-1.1, ПКО-3, определяемое индикатором ПКО-3.1.

Формирование компетенции ПКО-1 начато в ходе освоения дисциплин Физика (ПКО-1.1), Теоретические основы электротехники (ПКО-1.1), Общая энергетика (ПКО-1.1), продолжается при изучении данной дисциплины и дисциплины Теория колебаний (ПКО-1.1), будет завершено в ходе выполнения Учебно-исследовательской, Ознакомительной практик и подготовки Выпускной квалификационной работы - бакалаврской работы.

Формирование компетенции ПКО-3 начато при освоении дисциплин Безопасность жизнедеятельности (ПКО-3.1), Общая энергетика (ПКО-3.1) продолжается при изучении данной дисциплины и будет завершено в ходе выполнения Учебно-исследовательской, Ознакомительной практик и подготовки Выпускной квалификационной работы - бакалаврской работы.

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Обязательная часть	Дисциплина <i>Б1.О.26 Техника высоких напряжений</i> относится к обязательной части ООП направления подготовки 13.03.02. Электроэнергетика и электротехника.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесённые с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПКО-1. Способен участвовать в научно-практических исследованиях объектов профессиональной деятельности.	ПКО-1.1. Демонстрирует способности участвовать в научно-практических работах по исследованию и анализу объектов профессиональной деятельности.	Знает существо физических явлений, происходящих в установках высоких напряжений. Умеет применять методы расчёта электрических и магнитных цепей, применять знания из курсов естественно-научных дисциплин для анализа, происходящих в высоковольтном электрооборудовании, процессов и явлений Владеет методами и средствами контроля технического состояния и эксплуатации электроэнергетических	Вопросы к зачёту, задачи и вопросы практических занятий, задачи для зачёта

		систем и сетей, источников и схем электропитания радиотехнических систем.	
ПКО-3. Способен выполнять и использовать требования техники безопасности при проектировании и, конструировании и практических работах с объектами профессиональной деятельности.	ПКО-3.1. Использует знания и показывает способности выполнения и применения требований техники безопасности при проектировании, конструировании, техническом сопровождении и эксплуатации объектов профессиональной деятельности.	Знает требования техники безопасности при работах с объектами электроэнергетики, электротехники и электрорадиотехническими системами. Умеет применять методы техники безопасности при работах с объектами электроэнергетики, электротехники и электрорадиотехническими системами Владеет методами и средствами практического применения требований техники безопасности.	Вопросы к зачёту, задачи и вопросы практических занятий, задачи, для зачёта

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоёмкость дисциплины

	Очная форма обучения
Общая трудоёмкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	49
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа	32
- КСР	1
самостоятельная работа	59
Промежуточная аттестация – зачёт с оценкой	

	Очно-заочная форма обучения
Общая трудоёмкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	31
- занятия лекционного типа	10
- занятия семинарского типа	20
- КСР	1
самостоятельная работа	77
Промежуточная аттестация – зачёт с оценкой	

### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе при очной форме подготовки			
		Контактная работа, часы, из них занятия			Самостоятельная работа, часы
		лекционного типа	семинарского типа	Всего	
1. Введение	10	1	1	2	8
2. Разряды в диэлектриках	15	2	5	7	8
3. Высоковольтная изоляция	26	4	8	12	14
4. Высоковольтное испытательное оборудование и измерения	26	5	8	13	13
5. Перенапряжения и защита от них	30	4	10	14	16
КСР	1			1	
Промежуточная аттестация – зачёт с оценкой					
Итого	108	16	32	49	59

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе при очно-заочной форме подготовки			
		Контактная работа, часы, из них занятия			Самостоятельная работа, часы
		лекционного типа	семинарского типа	Всего	
1. Введение	10	1	1	2	8
2. Разряды в диэлектриках	15	1	2	3	12
3. Высоковольтная изоляция	26	2	5	7	19
4. Высоковольтное испытательное оборудование и измерения	26	3	5	8	18
5. Перенапряжения и защита от них	30	3	7	10	20
КСР	1			1	
Промежуточная аттестация – зачёт с оценкой					
Итого	108	10	20	31	77

#### Раздел 1. Введение

Основные виды электрооборудования

Техника высоких напряжений.

Методы контроля технического состояния и эксплуатации.

#### Раздел 2. Разряды в диэлектриках

Механизмы пробоя газовых сред

Механизмы пробоя в жидких диэлектриках

Механизмы пробоя в твёрдых диэлектриках

Особенности пробоя диэлектриков в различных типах электрических полей

#### Раздел 3. Высоковольтная изоляция

Внешняя изоляция электрооборудования  
 Внутренняя изоляция электроустановок  
 Дефекты изоляции и механизмы их возникновения.  
 Методы контроля технического состояния и эксплуатации.

#### Раздел 4. Высоковольтное испытательное оборудование и измерения

Испытания электрооборудования. Методы контроля технического состояния и эксплуатации.  
 Испытательные установки.  
 Измерения испытательных напряжений

#### Раздел 5. Перенапряжения и защита от них

Перенапряжения в электрических сетях  
 Защита от перенапряжений  
 Техника безопасности при работе с высоковольтным оборудованием

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций.

Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме: зачёт (очная и очно-заочная формы обучения).

### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Подготовка к лекционным и практическим занятиям. Подготовка к прохождению и прохождению испытаний промежуточной аттестации (зачёт).

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

### 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

#### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		Зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучаю	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объёме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объёме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объёме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объёме, превышающем программу подготовки.

	щегося от ответа						
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
Зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»

Не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

### 5.2.1 Вопросы к зачёту по дисциплине (компетенция ПКО-1)

Вопросы	Код формируемой компетенции
1) Опишите физические механизмы, приводящие к пробоям изоляции (газы, жидкости, твёрдые диэлектрики).	ПКО-1
2) Опишите механизм пробоя газового промежутка с однородным электрическим полем. Закон Пашена.	ПКО-1
3) Опишите механизм пробоя газового промежутка с резко неоднородным электрическим полем.	ПКО-1
4) Опишите механизм пробоя газового промежутка при импульсном напряжении.	ПКО-1
5) Опишите процесс перекрытия изоляции по границе двух сред.	ПКО-1
6) Опишите состав групп изоляторов, различающихся по расположению токоведущей части, конструктивному исполнению, месту установки.	ПКО-1
7) Перечислите основные характеристики изоляторов и опишите виды разрядных напряжений.	ПКО-1
8) Перечислите основные характеристики изоляторов и опишите их геометрические и механические параметры. Методы контроля технического состояния и эксплуатации.	ПКО-1
9) Дайте характеристику линейных и подстанционных изоляторов.	ПКО-1
10) Опишите распределение напряжений вдоль гирлянд подвесных изоляторов и опишите мероприятия по его выравниванию.	ПКО-1
11) Дайте описание изоляции силовых трансформаторов. Методы контроля её технического состояния и эксплуатации.	ПКО-1
12) Дайте описание изоляции вводов высокого напряжения. Методы контроля технического состояния и эксплуатации.	ПКО-1
13) Дайте описание изоляции силовых конденсаторов. Методы контроля её технического состояния и эксплуатации.	ПКО-1
14) Дайте описание изоляции силовых кабелей традиционных типов. Методы контроля технического состояния и эксплуатации.	ПКО-1
15) Дайте описание изоляции электрических машин высокого напряжения. Методы контроля её технического состояния и эксплуатации.	ПКО-1
16) Перечислите основные процессы старения изоляции. Опишите процесс электрического старения.	ПКО-1
17) Перечислите основные процессы старения изоляции. Опишите процессы теплового и механического старения изоляции и её увлажнение.	ПКО-1
18) Опишите методику испытания повышенным напряжением изоляции силовых трансформаторов.	ПКО-1

19) Опишите принцип действия и конструкцию испытательной установки высокого переменного напряжения.	ПКО-1
20) Опишите принцип действия и конструкцию испытательной установки высокого постоянного напряжения.	ПКО-1
21) Опишите принцип действия и конструкцию генераторов коммутационных импульсов.	ПКО-1
22) Опишите принцип действия и конструкцию генераторов импульсных напряжений.	ПКО-1
23) Опишите методику применения измерительного шарового разрядника.	ПКО-1
24) Опишите методику применения электростатического вольтметра.	ПКО-1
25) Опишите методику применения измерительных преобразователей и низковольтных вольтметров.	ПКО-1
26) Опишите методику применения добавочных резисторов.	ПКО-1
27) Опишите способы измерения высоких импульсных напряжений.	ПКО-1
28) Перечислите основные характеристики перенапряжений. Как перенапряжения дифференцируются по месту приложения и причинам возникновения.	ПКО-1
29) Дайте характеристику внешних и внутренних перенапряжений.	ПКО-1
30) Опишите физические процессы, сопровождающие грозовую деятельность.	ПКО-1
31) Назовите характерные стадии развития грозового облака и основные параметры молнии.	ПКО-1
32) Как связаны между собой перенапряжения на оборудовании и характер нагрузки, подключённой к линиям.	ПКО-1
33) Опишите процессы возникновения перенапряжений при гашении дуги.	ПКО-1
34) Опишите процессы, связанные с коммутационными перенапряжениями.	ПКО-1
35) В чём заключается процесс, называемый «координация изоляции».	ПКО-1
36) Опишите конструкцию и область применения искровых промежутков и роговых разрядников.	ПКО-1
37) Опишите конструкцию и область применения трубчатых разрядников. Методы контроля их технического состояния и эксплуатации.	ПКО-1
38) Опишите конструкцию и область применения вентильных разрядников. Методы контроля их технического состояния и эксплуатации.	ПКО-1
39) Опишите конструкцию и область применения ОПН. Методы контроля технического состояния и эксплуатации.	ПКО-1
40) Опишите основные принципы грозозащиты линий. Методы контроля её технического состояния и эксплуатации.	ПКО-1
41) Опишите основные принципы грозозащиты подстанций. Методы контроля её технического состояния и эксплуатации.	ПКО-1

### 5.2.2. Вопросы зачёту по дисциплине «Техника высоких напряжений» (ПКО-3)

Вопросы	Код формируемой компетенции
1) Сформулируйте понятие техники безопасности.	ПКО-3
2) Сформулируйте особенности требований техники безопасности в электроэнергетике и электротехнике.	ПКО-3
3) Дайте характеристику основных видов профилактических испытаний изоляции.	ПКО-3
4) Дайте общую характеристику испытаний изоляции повышенным напряжением.	ПКО-3
5) Опишите методику испытания повышенным напряжением изоляции	ПКО-3



кабелей.	
6) Опишите методику испытания повышенным напряжением изоляции силовых трансформаторов.	ПКО-3
7) Дайте общую характеристику мероприятий по защите от перенапряжений.	ПКО-3
8) Охарактеризуйте нормативные документы и их требования к работе с высоковольтным оборудованием.	ПКО-3
9) Опишите технологии, обеспечивающие безопасность выполнения работ с высоковольтным оборудованием.	ПКО-3
10) Сформулируйте требования техники безопасности при работах с объектами электроэнергетики и электротехники.	ПКО-3
11) Сформулируйте особенности требований техники безопасности при работах с электрорадиотехническими системами.	ПКО-3

### 5.2.3. Типовые вопросы и задачи практических занятий для оценки компетенции ПКО-

1

- 1) Виды электрических полей.
- 2) Классификация ионизационных процессов. Виды ионизации.
- 3) Виды эмиссионных процессов.
- 4) Что такое фотопроцессы?
- 5) Приведите уравнения самостоятельности электрического разряда в газе.
- 6) Каков смысл коэффициентов в уравнении самостоятельности электрического разряда в газе?
- 7) Что такое «стример»? Каков критерий лавинно-стримерного перехода?
- 8) Каковы особенности разряда в резко неоднородных полях?
- 9) Что такое «лидер»? Каков критерий стримерно-лидерного перехода?
- 10) Назовите основные стадии развития молниевых разрядов?
- 11) В чём заключается эффект полярности?
- 12) Основные типы проводимости жидких диэлектриков?
- 13) В чём состоят условия работы и требования, предъявляемые к изоляции высоковольтного электрооборудования? Технологии, обеспечивающие безопасность выполнения работ.
- 14) Назначение и конструктивные особенности изоляции воздушных ЛЭП.
- 15) Каково исполнение опорных изоляторов для внутренней и наружной установок?
- 16) Особенности назначения и конструктивного исполнения проходных изоляторов
- 17) Высоковольтные вводы: назначение, тип изоляции, конструктивное исполнение. Современные типы высоковольтных вводов. Технологии, обеспечивающие безопасность выполнения работ.
- 18) Каковы характеристики основных материалов, применяемых в силовых конденсаторах?
- 19) Конструктивные особенности изоляции трансформаторов напряжения.
- 20) Силовые трансформаторы: назначение, конструктивное исполнение изоляции.
- 21) Как классифицируются трансформаторы в высоковольтной технике?
- 22) Какие требования предъявляются к испытательным трансформаторам?
- 23) В силу, каких причин повышение напряжения трансформатора более 750 кВ оказывается нецелесообразным?
- 24) Способы получения постоянных напряжений.
- 25) Приведите схему и поясните принцип работы генератора импульсных токов.
- 26) В чём состоит принципиальное различие в работе ГИН и ГИТ?
- 27) Назовите способы измерения высоких напряжений. В чём состоят сложности при измерении на высоком напряжении? Технологии, обеспечивающие безопасность выполнения работ.

- 28) В каких областях современной индустрии используется высоковольтное испытательное оборудование? Технологии, обеспечивающие безопасность выполнения работ.
- 29) Классификация перенапряжений и их кратность.
- 30) В чём состоит принципиальное отличие внешних перенапряжений от внутренних?
- 31) Почему грозовые перенапряжения наиболее опасны для сетей средних классов напряжения, а коммутационные для сетей высших классов напряжений?
- 32) Грозозащита ЛЭП и подстанций. Технологии, обеспечивающие безопасность выполнения работ.
- 33) Защита подстанций от набегающих волн.
- 34) Зона защиты тросового молниеотвода.
- 35) Каким образом импульсная корона влияет на параметры грозового импульса, распространяющегося по линии электропередачи?
- 36) В чём заключаются принципы работы ограничителя перенапряжений?
- 37) Между двумя точками в изолирующей среде, расположенными на расстоянии 2 мм, действует разность потенциалов 400 В. Определить напряжённость электрического поля на заданном участке.
- 38) Определить диэлектрическую проницаемость кварцевого стекла, если относительная диэлектрическая проницаемость равна 4,0.
- 39) Определить электрическое смещение в точке поля напряжённостью 15 кВ/м, если изолирующей средой является трансформаторное масло, относительная диэлектрическая проницаемость которого равна 2,2.
- 40) Определить ёмкость конденсатора в мкФ, если при частоте 50 Гц ток в цепи с конденсатором равен 5 мА, а напряжение, приложенное к электродам, - 400 В.
- 41) Конденсатор ёмкостью 3 мкФ заряжен до напряжения 4 кВ. Определить величину заряда, накопленного на его электродах.
- 42) Определить электрическое смещение в точке электрического поля напряжённостью 10 кВ/см, если изолирующей средой является воздух.
- 43) Определить величину связанного заряда, индуктированного на проводящей пластине в  $1 \text{ см}^2$ , внесённой в электрическое поле перпендикулярно силовым линиям. Напряжённость электрического поля 12 кВ/см. Изолирующей средой является трансформаторное масло с относительной диэлектрической проницаемостью, равной 2,5.
- 44) Определить напряжённость электрического поля на участке протяжённостью 0,4 мм, если разность потенциалов между точками, ограничивающими участок, 600 В.
- 45) Потенциалы электродов изолированного от земли конденсатора равны  $\pm 2000 \text{ В}$ . Определить напряжение, действующее между его выводами.
- 46) Определить величину заряда конденсатора ёмкостью 2 мкФ, если напряжение между его выводами 100 В.
- 47) Плоский конденсатор с воздушной изоляцией имеет ёмкость 100 пФ и заряжен до напряжения 2 кВ. Определить напряжённость электрического поля между его электродами, имеющими площадь  $625 \text{ см}^2$ .
- 48) Одиочная сфера в воздухе имеет ёмкость 29 пФ и заряжена до напряжения 30 кВ. Определить напряжённость электрического поля у поверхности сферы, если ее радиус 20 см.
- 49) Для измерения напряжения 110 кВ применена схема ёмкостного делителя, состоящая из двух последовательно соединённых конденсаторов  $C_1$  и электростатического вольтметра на напряжение 10 кВ, шунтированного конденсатором ёмкостью  $C_2 = 100 \text{ пФ}$ . Определить ёмкость каждого из конденсаторов  $C_1$ , если ёмкость вольтметра 20 пФ.
- 50) Плоский конденсатор с воздушной изоляцией и дисковыми электродами с закруглёнными краями имеет расстояние между электродами 2 см. определить напряжённость электрического поля в изоляции, если приложенное напряжение равно 40 кВ. Расчёт повторить для случая, когда между электродами при том же расстоянии введена стеклянная пластина толщиной 1 см с относительной диэлектрической проницаемостью, равной 6.

51) Плоский воздушный конденсатор с расстоянием между пластинами 0,5 см заряжен до напряжения 10 кВ. Определить изменение напряжения между электродами, если развести пластины на 5 см, предположив, что заряд при это не изменится.

52) Проходной цилиндрический изолятор имеет сечение токоведущего стержня 4 см<sup>2</sup>. Изоляция – текстолит ( $\epsilon'_{\text{пр}} = 80$  кВ/см). Напряжение между стержнем и фланцем 140 кВ. Коэффициент запаса прочности 1,4. Определить внутренний радиус крепящего фланца. Произвести расчёт радиусов стержня и фланца, исходя из минимальной толщины слоя изоляции, при сохранении прочих заданных условий.

53) Определить ёмкость одножильного маслонаполненного кабеля на 110 кВ длиной 1000 м, с внешним диаметром его полый жилы 22,7 мм и наружным диаметром бумажной изоляции 46,7 мм при относительной диэлектрической проницаемости 3,5.

54) Определить ёмкость цилиндрического воздушного конденсатора и допустимое напряжение между его электродами, если диаметр внутреннего цилиндра 20 см, а наружного в 6 раз больше. Допустимую напряжённость электрического поля принять  $\epsilon_{\text{макс}} = 30$  кВ/см, длину конденсатора 100 см.

55) Определить ёмкость одножильного маслонаполненного кабеля на 110 кВ длиной 1000 м, с внешним диаметром его полый жилы 22,7 мм и наружным диаметром бумажной изоляцией 46,7 мм при относительной диэлектрической проницаемости 3,5.

56) Одножильный кабель напряжением 40 кВ имеет радиус заземлённой свинцовой оболочки 3,6 см. Определить: характер изменения напряжённости электрического поля у поверхности токоведущей жилы при постепенном увеличении её радиуса от 0,6 до 3,6 см; распределение потенциала в толще изоляции при неизменном радиусе внутренней жилы 0,6 см.

57) Определить пробивное напряжение проходного цилиндрического изолятора, работающего в установке напряжением 110 кВ. Изолятор имеет три слоя изоляции: бакелизованная бумага, масло и фарфор с пробивными напряжённостями электрического поля 110; 63,7 и 65 кВ/см, при диэлектрических проницаемостях: 4,3; 2,5; 5,5, соответственно.

58) Определить ёмкость провода и напряжённость электрического поля вблизи поверхности с радиусом 6 мм, протянутого на уровне 2 м над землёй. Потенциал провода равен 20 кВ.

59) Под проводом линии электропередачи с напряжением 220 кВ подвешен надёжно изолированный провод. Определить потенциал, наведённый на этом проводе, если радиусы проводов одинаковы и равны 10 мм, а расстояние между проводами и нижним проводом и землёй 3 м.

60) Воздушный промежуток в 1 см между плоскими электродами характеризуется давлением 760 мм.рт.ст. и напряжённостью электрического поля 29 кВ/см. Определить число электронов, достигающих анода, если с катода отрывается 1 эл/с, а в промежутке происходит процесс ударной ионизации.

61) Для измерения напряжения, близкого к 200 кВ, используются шаровые разрядники. Определить, исходя из величины допустимой погрешности измерения, наименьшей и наибольшей диаметры их сфер.

62) Определить пробивные напряжения между двумя изолированными стержнями, удалёнными друг от друга в воздухе на расстоянии 120, 220, 800 см. Содержание влаги 20 г/м<sup>3</sup>, температура воздуха 30 °С и давление 740 мм.рт.ст.

63) Трансформатор на 220 кВ установлен на открытой части распределительного устройства. Определить минимально допустимое приближение токоведущих частей трансформатора к металлическим частям конструкций, если воздушный промежуток имеет запас прочности 4.

64) Определить длину волны излучения неона при тлеющем разряде в высоковольтной газосветной трубке, если известно, что при давлении в трубке 7 - 8 мм.рт.ст. большинство электронов совершает переходы с орбиты с энергетическим уровнем  $29,810^{-12}$  эв на орбиту с уровнем  $26,610^{-12}$  эв.

65) Определить потери активной мощности на корону для линии электропередачи при напряжении 154 кВ, если протяжённость линии 100 км, провод АС-50 с радиусом 0,48 см, провода расположены треугольником с расстоянием между ними 500 см. Температура воздуха 0 °С, давление 710 мм.рт.ст., коэффициент негладкости 0,85, погода ясная.

66) Определить защитный уровень линии, если средняя высота подвеса нижнего провода линии 9,2 м, а геометрический коэффициент связи между тросами и нижними проводами 0,18.

67) Определить защитный уровень линии напряжением 110 кВ на деревянных опорах с двумя тросами. Удар молнии произошёл в вершину опоры. Гирлянды состоят из шести изоляторов типа П-4,5. Длина смежных пролётов 180 м, высота опоры 18 м, средняя высота подвеса проводов над землёй 10 м, расстояние между проводами равно 4 м. Расчёт произвести с использованием вольтсекундных характеристик изоляции и долевого распределения тока между тросами и телом опоры.

68) От узловой подстанции на 110 кВ отходит воздушная линия с проводами АС-120 расстояние между проводами (среднее) 3,5 м. На расстоянии 40 км от подстанции в точке разветвления линии решено установить ОПН. Сопротивление заземления опоры в импульсном режиме 10 Ом. По пределам отключаемых токов определить тип ОПН, если известно, что ток однофазного и трёхфазного короткого замыкания на шинах узловой подстанции равен соответственно 5000 и 8000 А. Режим работы электрической сети постоянный.

#### **5.2.4. Типовые вопросы и задачи практических занятий для оценки компетенции ПКО-3**

1) Общие принципы безопасности выполнения работ с техникой высоких напряжений.

2) В чём состоят условия работы и требования, предъявляемые к изоляции высоковольтного электрооборудования? Технологии, обеспечивающие безопасность выполнения работ.

3) Высоковольтные вводы: назначение, тип изоляции, конструктивное исполнение. Современные типы высоковольтных вводов. Технологии, обеспечивающие безопасность выполнения работ.

4) Назовите способы измерения высоких напряжений. В чём состоят сложности при измерении на высоком напряжении? Технологии, обеспечивающие безопасность выполнения работ.

5) В каких областях современной индустрии используется высоковольтное испытательное оборудование? Технологии, обеспечивающие безопасность выполнения работ.

6) Почему грозовые перенапряжения наиболее опасны для сетей средних классов напряжения, а коммутационные для сетей высших классов напряжений?

7) Грозозащита ЛЭП и подстанций. Технологии, обеспечивающие безопасность выполнения работ.

8) Защита подстанций от набегающих волн.

9) Зона защиты тросового молниеотвода.

10) Отдельно стоящий молниеотвод высотой 40 м должен защищать подстанцию шириной 10 м, длиной 25 м и высотой 10 м. Удаление молниеотвода от торцевой части подстанции 6 м. Проверить величину радиуса защитной зоны на высоте объекта и убедиться в том, что молниеотвод действительно защищает здание.

11) Участок подхода линии напряжением 35 кВ к подстанции защищён стержневыми молниеотводами, стоящими по обеим сторонам линии в шахматном порядке. Расстояние от молниеотводов до опор принято в соответствии с руководящими указаниями по защите от перенапряжений равным 5 м, высота опор линии 11 м, пролёт 60 м, габарит линии 6,5 м, расстояние между крайними проводами 3 м. Определить высоту молниеотводов и проверить с помощью расчёта, защищены ли провода от поражения грозovým разрядом при указанном расположении и высоте молниеотводов.

12) Стержневой молниеотвод высотой 30 м защищает от прямого поражения молнией

цилиндрический бак с горючим, целиком врытый в землю. Определить максимально допустимый диаметр бака.

13) Общие принципы и технологии, обеспечивающие безопасность выполнения работ.

14) Методы контроля технического состояния и эксплуатации электроэнергетических систем и сетей, источников и схем электропитания радиотехнических систем, радиоэлектронного оборудования.

15) Методы контроля технического состояния и эксплуатации электронной автоматики, релейной защиты и автоматизации электротехнических систем, радиоэлектронного оборудования.

16) Средства контроля технического состояния и эксплуатации электроэнергетических систем и сетей, источников и схем электропитания радиотехнических систем, радиоэлектронного оборудования.

17) Средства контроля технического состояния и эксплуатации электронной автоматики, релейной защиты и автоматизации электротехнических систем, радиоэлектронного оборудования.

18) Требования техники безопасности при работах с объектами электроэнергетики, электротехники и электрорадиотехническими системами.

#### **5.2.5 Задачи, выносимые на зачёт, для оценки компетенции ПКО-1**

1) Стержневой молниеотвод высотой 30 м защищает от прямого поражения молнией цилиндрический бак с горючим, целиком врытый в землю. Определить максимально допустимый диаметр бака.

2) Горизонтальный четырёхлучевой заземлитель предназначен для заземления трубчатого разрядника на подходе к распределительной подстанции, выполнен из стального прута диаметром 1 см. Длина каждого луча 10 м, глубина заложения 0,5 м. Определить сопротивление заземления в импульсном режиме, если удельное сопротивление грунта, измеренное в сухую погоду, оказалось  $110^4$  Ом см. Ток молнии 80 кА. Коэффициент возможного увеличения сопротивления принят в соответствии с руководящими указаниями равным 1,4. Ввод тока в заземлитель осуществляется в центральную часть.

3) Горизонтальный двухлучевой заземлитель с подводом тока в среднюю точку и длиной каждого луча 10 м, проложен в грунте с удельным сопротивлением, измеренным в сухую погоду,  $110^4$  Ом/183 см. Определить сопротивление заземляющего устройства в импульсном режиме, если ток молнии принят равным 100 кА. Заземлитель выполнен из стального прута диаметром 1 см. Глубина заложения заземлителей стандартная, равная 0,5 м.

4) Заземлитель из трёх вертикальных труб длиной 3 м, расположенных по окружности диаметром 4 м и объединённых горизонтальным кольцом из полосовой стали, находится в грунте с удельным расчётным сопротивлением  $210^4$  Ом см. Диаметр труб 60 мм. Определить сопротивление заземлителя в импульсном режиме, если ток молнии 40 кА.

5) Двухцепная линия электропередачи напряжением 110 кВ на металлических опорах с расположением проводов по схеме обратная ёлка и пролётом 300 м защищена двумя тросами. Разряд молнии с током 125 кА происходит в вершину опоры. Импульсное сопротивление заземления опоры равно 6 Ом. Гирлянды собраны из изоляторов 7хП-

Определить защитный уровень линии, если средняя высота подвеса нижнего провода линии 9,2 м, а геометрический коэффициент связи между тросами и нижними проводами 0,18.

#### **5.2.6. Задачи, выносимые на зачёт, для оценки компетенции ПКО-3**

1) Определить защитный уровень линии напряжением 110 кВ на деревянных опорах с двумя тросами. Удар молнии произошёл в вершину опоры. Гирлянды состоят из шести изоляторов типа П-4,5. Длина смежных пролётов 180 м, высота опоры 18 м, средняя высота подвеса проводов над землёй 10 м, расстояние между проводами равно 4 м. Расчет произвести с использованием вольтсекундных характеристик изоляции и долевого распределения тока между тросами и телом опоры.

2) От узловой подстанции на 110 кВ отходит воздушная линия с проводами АС-120 расстояние между проводами (среднее) 3,5 м. На расстоянии 40 км от подстанции в точке разветвления линии решено установить ОПН. Сопротивление заземления опоры в импульсном режиме 10 Ом. По пределам отключаемых токов определить тип ОПН, если известно, что ток однофазного и трёхфазного короткого замыкания на шинах узловой подстанции равен соответственно 5000 и 8000 А. Режим работы электрической сети постоянный.

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### *а) Основная литература:*

1. Важов В.Ф., Лавринович В.А. Техника высоких напряжений. М.: НИЦ ИНФРА-М, 262 с. (Высшее образование: Бакалавриат) (Доступно в ЭБС «Знаниум»)

Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/493733> [25.09.2019]

2. Долин П.А. Электробезопасность. Теория и практика [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / П.А. Долин, В.Т. Медведев, В.В. Корочков, А.Ф. Монахов; под ред. В.Т. Медведева. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 280 с. - ISBN 978-5-383-00629-0 –

Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383006290.html> [25.09.2019]

### *б) Дополнительная литература:*

1. Непомнящий В.А. Электрофизические основы техники высоких напряжений [Электронный ресурс]: учебник для вузов / Непомнящий В.А. – М.: Издательский дом МЭИ, 2017. - ISBN 978-5-383-01153-9 –

Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383011539.html> [25.09.2019]

2. Бортник И.М. Электрофизические основы техники высоких напряжений [Электронный ресурс]: учебник для вузов / И.М. Бортник и др.; под общ. ред. И.П. Верещагина – М: Издательский дом МЭИ, 2016. - ISBN 978-5-383-01017-4 –

Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383010174.html> [25.09.2019]

3. Белоедова И.П. Расчёт электрических полей устройств высокого напряжения [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / И.П. Белоедова, Ю.В. Елисеев, Е.С. Колечицкий и др.; под ред. Е.С. Колечицкого - М. : Издательский дом МЭИ, 2016. - ISBN 978-5-383-00971-0 –

Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383009710.html> [25.09.2019]

4. Пасютина О.В. Охрана труда при технической эксплуатации электрооборудования [Электронный ресурс]: уч. пособие. – Минск: РИПО, 2017. – 115 с. - ISBN 978-985-503-697-6 –

Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9789855036976.html> [25.09.2019]

### *в) Программное обеспечение лицензионное и свободно распространяемое*

- Операционная система Microsoft Windows
- Пакет прикладных программ Microsoft Office
- Правовая система «Консультант плюс»
- Браузер Google Chrome

### *г) Интернет-ресурсы*

- Федеральный портал. Российское образование: <http://www.edu.ru/>;
- Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии: <http://www.gost.ru/>.
- <http://elektromehanika.org/>
- Сайт Министерства энергетики РФ. - [www.minenergo.gov.ru](http://www.minenergo.gov.ru)
- Известия вузов «Электромеханика», <http://electromeh.npi-tu.ru/ru/archive/>.
- Новости энергетики <http://novostienergetiki.ru>

### *д) Профессиональные базы данных*

- Информационный проект для работников энергетических служб и студентов электротехнических вузов <http://electrichelp.ru>
  - Электроэнергетика и электричество <https://pomegerim.ru>
  - Электричество и электроснабжение <http://enginer-electric.ru>
  - «Техэксперт» – профессиональные справочные системы <http://техэксперт.рус/>
- [26.10.19]
- База данных «Электрик» <http://www.electrik.org/> [26.10.19]
  - ИС «Единое окно доступа к образовательным ресурсам». Разделы:
  - Энергетика [http://window.edu.ru/catalog/resources?p\\_rubr=2.2.75.27](http://window.edu.ru/catalog/resources?p_rubr=2.2.75.27) [26.10.19]
  - Электротехника [http://window.edu.ru/catalog/?p\\_rubr=2.2.75.30](http://window.edu.ru/catalog/?p_rubr=2.2.75.30) [26.10.19]
  - Онлайн электрик: база данных <https://online-electric.ru/dbase.php> [26.10.19]
  - База данных Energy & Power Source для профессионалов в области энергетики и исследователей - <http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple> [26.10.19]
  - Банк изобретений, технологий и научных открытий: <http://www.ntpo.com> [26.10.19]
  - Научная электронная библиотека [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru) [26.10.19]
  - База данных рецензируемой литературы Scopus <https://www.scopus.com>
- [26.10.19]
- База данных Web of Science <https://apps.webofknowledge.com> [26.10.19]

*е) информационные справочные системы*

- ГАРАНТ. Информационно-правовой-портал <http://www.garant.ru/>
- Правовая система «Консультант плюс»

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения, используемые при реализации дисциплины, представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий.

Лекционные и практические занятия проводятся в специализированной лаборатории релейной защиты и автоматики электроэнергетических систем, оснащенной лабораторными комплексами, лабораторными стендами, измерительным оборудованием, техническим оборудованием, обеспечивающим проведение занятий.

Помещения (аудитории) для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой, подключённой к сети «Интернет» и обеспеченной доступом в электронную информационно-образовательную среду вуза.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ  
по направлению 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Автор:

начальник проектного отдела ООО «СТАНДАРТ» Ю.В. Митрясов

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Программа одобрена на заседании  
методической комиссии Балахнинского филиала ННГУ  
10.12.2021 г., протокол № 4.