




МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)

**ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ШКОЛА)**

«СОГЛАСОВАНО»


Руководитель ОП

  
(подпись) Силин Н.В.  
«21» декабря 2020г. (Ф.И.О.)



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор департамента  
Энергетических систем

  
(подпись) Штым К.А.  
«21» декабря 2020 г. (Ф.И.О.)

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Диагностика электроэнергетического оборудования**  
Направление подготовки 13.06.01 Электро – и теплотехника  
Профиль «Теоретическая электротехника»  
Форма подготовки (очная)

курс 2 \_\_\_\_\_ семестр 3,4\_  
лекции 16\_ час. / 0,45\_ з.е.  
практические занятия 20 час. / 0,56з.е.  
лабораторные работы \_\_\_\_\_ час. / \_\_\_\_\_ з.е.  
с использованием МАО лек. 8 \_\_\_\_\_ / пр. 12 \_\_\_\_\_ / лаб. \_\_\_\_\_ час.  
всего часов контактной работы 36\_ час.  
самостоятельная работа 144\_ час.  
в том числе на подготовку к экзамену 18 \_\_\_\_\_ час.  
курсовая работа / курсовой проект \_\_\_\_\_ семестр  
зачет 3 \_\_\_\_\_ семестр  
экзамен 4 \_\_\_\_\_ семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 30.07.2014 № 878

Рабочая программа обсуждена на заседании департамента энергетических систем, протокол № 2 от 21 декабря 2020 г.

Составитель (ли): д-р техн. наук, доцент Н.В. Силин

**Оборотная сторона титульного листа**

**Пересмотрена на заседании департамента энергетических систем:**

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор департамента

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(И.О. Фамилия)

## АННОТАЦИЯ

Дисциплина Б1.В.ОД.3 «Диагностика электроэнергетического оборудования» предназначена для аспирантов, обучающихся по образовательной программе аспирантуры по направлению подготовки 13.06.01, профилю «Теоретическая электротехника» и входит в вариативную часть учебного плана.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов. Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (16 часа, в том числе 8 часов с использованием методов активного обучения), практические занятия (20 часа, в том числе 12 часов с использованием методов активного обучения), самостоятельная работа (144 часа). Дисциплина реализуется на втором курсе в третьем и четвертом семестрах. Результат промежуточной аттестации: в третьем семестре зачет, в четвертом семестре – зачет.

Дисциплина «Диагностика электроэнергетического оборудования» связана с изучением теории, методов и средств обнаружения дефектов, должна способствовать расширению научного кругозора в области предотвращения аварийных ситуаций и техногенных катастроф, развитию мышления о необходимости разработки и использования современных методов диагностики на основе последних достижений в области информационных технологий.

**Цель** дисциплины-формирование представлений об основах технической диагностики и ее роли в обеспечении надежной работы высоковольтного электроэнергетического оборудования.

**Задачи** дисциплины:

- ознакомить со специальными знаниями по электрофизическим процессам в изоляции высоковольтного оборудования, приводящим к появлению и развитию дефектов;
- ознакомить с теорией, методами и средствами обнаружения и поиска дефектов;

- ознакомить с существующими и разрабатываемыми системами диагностики.

- Ознакомить с современными информационно-измерительными и информационно-вычислительными системами получения диагностической информации.

**В результате изучения дисциплины у аспирантов формируются следующие компетенции**

<b>Код и формулировка компетенции</b>	<b>Этапы формирования компетенции</b>	
УК-1 - способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	Знает	основные концепции современной технической диагностики и ее роли в обеспечении надежной работы высоковольтного электроэнергетического оборудования.
	Умеет	использовать положения методик технической диагностики для анализа и оценки их эффективности
	Владеет	навыками анализа основных методов технической диагностики, используемых в мировой практике
УК-3 Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач	Знает	особенности представления результатов научной деятельности в устной и письменной форме при работе в российских и международных исследовательских кол-лективах
	Умеет	следовать нормам, принятым в научном общении при работе в российских и международных исследовательских коллективах с целью решения научных и научно-образовательных задач
	Владеет	осуществлять личностный выбор в процессе работы в российских и международных исследовательских коллективах, оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой, коллегами и обществом
ОПК-1 Владение методологией и теоретических	Знает	основные методы теоретических и экспериментальных исследований в области технической диагностики и ее роли в обеспечении

экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности		надежной работы высоковольтного электроэнергетического оборудования
	Умеет	использовать положения методик технической диагностики с целью мониторинга и оценки технического состояния высоковольтного электроэнергетического оборудования
	Владеет	навыками обработки результатов теоретических и экспериментальных исследований по оценке технического состояния высоковольтного оборудования
ОПК-2 Владение культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	Знает	Основные виды специализации научно-исследовательских исследований
	Умеет	осуществлять выбор вида научного исследования, организовать эффективное использование трудовых ресурсов
	Владеет	навыками научного исследования с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий
ОПК-3 Способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности	Знает	нормативно-правовые основы организации научных исследований, современные методы исследований
	Умеет	осуществлять разработку новых методов исследования в области профессиональной деятельности
	Владеет	методами применения новых методов исследования в самостоятельной научно-исследовательской деятельности
ОПК-4 Готовность организовать работу исследовательского коллектива в профессиональной деятельности	Знает	нормативно-правовые основы организации деятельности исследовательского коллектива в области диагностики высоковольтного оборудования
	Умеет	осуществлять рациональный подбор оборудования и материалов для осуществления профессиональной деятельности

	Владеет	методами подготовки и изложения результатов деятельности коллектива на высоком научном уровне
<p>ПК-1 Способность самостоятельно ставить задачи, выполнять научные исследования в области теоретической электротехники и ее приложений, используя соответствующий физико-математический аппарат, вычислительные методы и компьютерные технологии с целью создания научных основ и моделирования электродинамических процессов нового поколения электротехнических устройств, обладающих качественно новыми функциональными свойствами; совершенствования существующей техники, обеспечения эффективности, надежности и безопасности работы электроэнергетического оборудования</p>	Знает	методы научного поиска, получения информации о состоянии высоковольтного оборудования, критического анализа и оценки современных научных достижений по направлению научной деятельности, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях
	Умеет	анализировать полученные результаты, альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач, обобщать, создавать, сопоставлять и оценивать эти варианты, формулировать выводы и давать практические рекомендации по использованию результатов исследований
	Владеет	навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; навыками выбора методов и средств решения задач исследования
<p>ПК-3 Способность овладевать новыми современными методами и средствами проведения экспериментальных</p>	Знает	современные методы описания технических объектов математическими моделями и программные средства для их исследования с целью выявления дефектов оборудования
	Умеет	описывать технические объекты математическими

исследований по электродинамическим процессам в электротехнических устройствах, обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов.		моделями и применять современные средства экспериментальных исследований состояния высоковольтного оборудования
	Владеет	Современными методами и средствами экспериментальных исследований, обработкой и анализом полученных результатов

Интерактивные формы обучения составляют 20 часов и включают в себя проблемные лекции, дискуссии, групповая консультация, проблемный семинар, практические оценки технического состояния проблемного оборудования.

## **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

**(8/8 час., в том числе 4/6 час.с использованием методов  
активного обучения)**

**Раздел I. Основные положения технической  
диагностики. Высоковольтное электрооборудование как объект  
диагностирования(8час.)**

**Тема 1. Введение. Техническая диагностика, как отрасль научно-  
технических знаний. Виды диагностирования. Вопросы проектирования  
средств диагностики(лекция-визуализация) (2 час.)**

Основные понятия и определения. Техническая диагностика и  
прогнозирование. Связь технической диагностики с надежностью и  
качеством.

Тестовое диагностирование. Функциональное диагностирование.  
Современные системы диагностирования по состоянию. Математическое  
моделирование в системах диагностики. Этапы проектирования технических  
устройств диагностики.

**Тема 2. Методы и средства измерения диагностических параметров  
(2 час.)**

Параметры диагностирования. Электрические и неэлектрические параметры. Классификация дефектов. Допустимые и недопустимые дефекты. Методы и средства измерения электрических величин. Измерительные информационные системы. Измерительно-вычислительные комплексы.

### **Тема 3. Высоковольтное оборудование станций и подстанций(лекция-визуализация) (2 час.)**

Состав и назначение высоковольтного электроэнергетического оборудования на электрических станциях и подстанциях. Режимы в электрических сетях и их влияние на техническое состояние оборудования. Электрофизические процессы в изоляции высоковольтного оборудования и их влияние на процесс износа и старения изоляции.

### **Тема 4. Силовые трансформаторы и их основные узлы, подлежащие диагностированию(2 час.)**

Общие сведения о роли силовых трансформаторов в системе электроэнергетики. Схемы и состав силовых трансформаторов и автотрансформаторов. Типы и разновидности переключающих устройств. Диагностические режимы. Особенности условий работы изоляции конструктивных элементов силовых трансформаторов. Высоковольтные вводы, обмотки, регуляторы напряжения.

## **РАЗДЕЛ II. МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК В ЭКСПЛУАТАЦИИ. ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КАК ОБЪЕКТ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ (8 час.)**

### **Тема 1. Периодический контроль технического состояния с отключением оборудования (2 час.)**

**Занятие проводится с использованием метода интерактивного обучения – «дискуссия» (2 час.)**

Испытания изоляции приложением повышенного напряжения. Измерения сопротивления и тангенса угла диэлектрических потерь, абсорбционных характеристик.



Диагностические характеристики, основанные на измерении электромагнитных параметров. Определение коэффициента трансформации. Измерение тока и потерь холостого хода. Измерение сопротивления короткого замыкания. Измерение потерь короткого замыкания. Измерение сопротивления обмоток постоянному току.

Диагностические характеристики, основанные на определении химического состава. Газохроматографический анализ. Диагностика состояния бумажной изоляции по продуктам старения. Применение тонкослойной хроматографии при определении микроколичеств фурановых производных в изоляционном масле. Контроль качества трансформаторных масел при их эксплуатации в электрооборудовании.

**Тема 2. Периодический контроль технического состояния под напряжением (2 час.)**

**Занятие проводится с использованием метода интерактивного обучения – «дискуссия» (2 час.)**

Основы электрического и акустического методов регистрации частичных разрядов (ЧР). Тепловизионный контроль. Контроль маслонаполненного оборудования путём испытания проб масла (измерение физико-химических свойств масла, хроматографический анализ растворённых в масле газов).

Трансформаторное оборудование. Испытание масла в процессе эксплуатации трансформаторов. Контроль качества трансформаторных масел при их эксплуатации в электрооборудовании. Диагностика вводов трансформаторного оборудования.

Коммутационная аппаратура. Вибрационные характеристики. Тепловизионное обследование.

Измерительное оборудование. Измерение  $\tan\delta$  изоляции в трансформаторах тока. Измерение сопротивления обмоток постоянному току в трансформаторах тока. Испытание встроенных трансформаторов тока. Измерение сопротивления изоляции обмоток в трансформаторах

напряжения. Испытание обмоток повышенным напряжением частоты 50 Гц в трансформаторах напряжения. Измерение сопротивления обмоток постоянному току в трансформаторах напряжения.

Вспомогательное оборудование. Диагностика переключающих устройств трансформаторного оборудования. Диагностика устройств регулирования напряжения силовых трехфазных трансформаторов. Диагностика системы защиты и контрольно-измерительной аппаратуры трансформаторного оборудования. Диагностика систем охлаждения трансформаторного оборудования. Диагностика баков трансформаторного оборудования.

### **Тема 3. Диагностика воздушных и кабельных линий (2 час.)**

Особенности линий электропередачи как объекта диагностики. Методы локализации повреждений в кабельных линиях. Аэросканирование воздушных линий электропередачи.

Требования к диагностированию воздушных линий. Схемы замещения воздушных линий электропередачи и их параметры. Кабельные линии электропередачи. Схемы замещения кабельных линий электропередачи и их параметры. Методики определения целостности жил и фазировки кабельных линий. Методики определения целостности жил, характера и места повреждения кабельных линий. Приборы и оборудование для определения зоны повреждения кабеля. Диагностирование кабельных линий. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь и емкости изоляции.

### **Тема 4. Особенности диагностики отдельных видов электрооборудования (2 час.)**

Специфические задачи и особенности контроля технического состояния изоляции крупных вращающихся машин, коммутирующих и защитных аппаратов. Анализ дефектов, возникающих в электрических машинах. Диагностика изоляции электрических машин. Аппаратура диагностического контроля. Диагностика технического состояния обмотки статора и ротора, качества крепления обмоток в пазу. Датчики для измерения частичных

разрядов. Диагностика остаточного коммутационного ресурса главных контактов, привода, изоляционной системы.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

**( 10/10 час., в том числе 4/6 час.с использованием методов  
активного обучения)**

Занятия проводятся **с использованием метода интерактивного обучения - «Дискуссия по поставленным проблемным вопросам»**. Цель: найти «правильное» решение, основанное на своем персональном опыте и опыте своего коллеги. Происходит всестороннее обсуждение, формируется оценочное суждение по предлагаемой позиции и сравнивается с предлагаемыми позициями других сторон. На основном этапе формулируется общее мнение, выражающее совместную позицию по творческому заданию. Выполняется задание. Оценивается достоверность и эффективность выбранных путей решения.

**Занятие 1. Критический анализ деятельности технических комитетов СИГРЭ в области диагностики высоковольтного электроэнергетического оборудования (дискуссия) (2 час.)**

1. Обзор технических комитетов СИГРЭ.
2. Технические комитеты СИГРЭ, деятельность которых направлена на решение проблем диагностики высоковольтного оборудования.
3. Анализ решений, принятых на последних сессиях СИГРЭ в области диагностики высоковольтного оборудования.
4. Анализ путей реализации решений СИГРЭ в области диагностики трансформаторного оборудования.

**Занятие 2,3. Диагностика силового трансформатора на основе анализа данных о хроматографическом составе растворенных в масле газов (4 час.)**

1. Анализ состава газов при вводе трансформатора в эксплуатацию.

2. Анализ состава газов за несколько лет эксплуатации.
3. Построение линии жизни трансформатора на основе данных концентрации газов.
4. Расчет значений критериев состояния изоляции трансформаторов по методикам МЭК и Дюваля.
5. Разработка рекомендаций по прогнозу работы трансформатора.

**Занятие 4,5. Оценка технического состояния трансформатора на основе анализа характеристик частичных разрядов(дискуссия) (4 час.)**

1. Критический анализ представления данных о частичных разрядах в трансформаторе.
2. Анализ осциллограмм частичных разрядов трансформаторов.
3. Расчет сил мощности частичных разрядов по их осциллограммам.
4. Анализ амплитудно-фазовых диаграмм частичных разрядов.
5. Оценка состояния трансформатора по величине кажущегося частичного разряда.

**Занятие 6,7. Оценка технического состояния трансформатора на основе анализа спектров его собственного электромагнитного излучения (дискуссия) (4 час.)**

1. Определение информационных диапазонов в спектрах собственного излучения трансформатора.
2. Расчет мощности излучения в информационных диапазонах.
3. Определение эталонного трансформатора.
4. Оценка технического состояния на основании анализа амплитуд отдельных спектральных линий.

**Занятие 8,9.Оценка технического состояния изоляции с помощью методов диэлектрической спектроскопии(4 час.)**

1. Расчет спектров диэлектрической проницаемости изоляции трансформаторов.
2. Анализ экспериментальных спектров диэлектрической проницаемости.

3. Расчет концентраций веществ, входящих в состав изоляции.
4. Оценка состояния изоляции на основе данных диэлектрической спектроскопии.

**Занятие 10. Критический анализ комплексной диагностики высоковольтного оборудования, проводимой в Приморском предприятии магистральных электрических сетей (2 час.)**

1. Организация системы диагностики в ППМЭС.
2. Сравнительный анализ систем диагностики в электроэнергетических компаниях России. Обсуждение и выбор наиболее оптимальных систем.
3. Критический анализ результатов регламентных испытаний трансформаторов.
4. Разработка рекомендаций по организации текущего контроля высоковольтного оборудования.

**III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Диагностика электроэнергетического оборудования» представлено в приложении 1 и включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

**IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛИ КУРСА**  
3 семестр

№	Контролирует	Коды, наименование и этапы	Оценочные средства
---	--------------	----------------------------	--------------------

п/п	мные разделы / темы дисциплины	формирования компетенций		текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Основные положения технической диагностики. Высоковольтное электрооборудование как объект диагностирования	УК-1	знает – современные отечественные и зарубежные достижения в области общей электроэнергетики и средств диагностики;	3,5,7 недели – блиц-опрос на лекции и практическом занятии (УО) 9,12,17 недели – блиц-опрос на лекции и практическом занятии (УО)	Зачет по разделу 1. Вопросы 1-20 перечня типовых вопросов зачета. ИДЗ. (Приложение 2)
			умеет - дать глубокий критический анализ состояния энергетического оборудования на основе диагностической информации;		
			владеет - навыками оценки степени надежности работы энергетического оборудования.		
		УК – 3	знает - возможности современных отечественных диагностических комплексов;		
			умеет – в научном коллективе дать техническую оценку применимости комплекса при решении о использовании на конкретной подстанции;		
			владеет – навыками работы в научном коллективе.		
		ОПК- 1	знает - принципы и способы организации и построения теоретической и практической деятельности в области электроэнергетики;		
			умеет - формулировать		

			проблемы исследований;		
			владеет - методами проверки полученного результата с точки зрения его истинности, т. е. соответствия объекту изучения.		
		ОПК-2	знает - новейшие информационно-коммуникационные технологии;		
			умеет - использовать информационно-коммуникационные технологии;		
			владеет - культурой научных исследований и обсуждений результатов, в том числе с использованием информационно-коммуникационных технологий.		
		ОПК – 3	знает – новые методы исследования технических систем;		
			умеет - самостоятельно проводить научные исследования		
			владеет - знаниями, позволяющими самостоятельно проводить научные исследования и разрабатывать новые методы технической диагностики энергетического оборудования.		
		ОПК – 4	знает - принципы формирования исследовательского коллектива (руководитель должен иметь представление о нравственно-психологических		

			<p>особенностях личности, способности выполнить исследовательскую работу, взаимодействовать с другими сотрудниками, деловые качества и интеллектуальный уровень, творческий потенциал, инициативность, умение работать в команде);</p> <p>умеет - оценивать деловые и личностные качества работников, позволяющие формировать производительные коллективы исследователей;</p> <p>Владеет - организационными навыками организации продуктивной работы исследовательского коллектива.</p>		
		ПК-1	<p>знает – глубоко теоретическую электротехнику, физико-математический аппарат, вычислительные методы для моделирования электродинамических процессов;</p> <p>умеет - самостоятельно формулировать задачи по совершенствованию существующей техники, по обеспечению эффективности,</p>		



			<p>надежности и безопасности работы электроэнергетического оборудования;</p>		
			<p>владеет - навыками постановки задач по совершенствованию существующей техники, на основе глубоких знаний по теоретической электротехнике, вычислительных методов, физико-математического аппарата моделирования электродинамических процессов и создания диагностических моделей дефектов силового энергетического оборудования.</p>		
		ПК - 3	<p>знает - методики экспериментальных исследований электродинамических процессов в электротехнических устройствах;</p>		
			<p>умеет - обрабатывать, анализировать и обобщать результаты диагностических экспериментов;</p>		
			<p>владеет - способностью овладения новыми современными подходами и средствами измерений для решения сложных задач электродинамических исследований, обеспечивающих оценку надежности</p>		

			электротехнического оборудования.		
--	--	--	-----------------------------------	--	--

4 семестр

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды, наименование и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Основные положения технической диагностики. Методы диагностики высоковольтного оборудования в эксплуатации	УК - 1	<p>знает – современные отечественные и зарубежные достижения в области диагностики оборудования электроэнергетики, а также, на их основе, примеры систем, в которых осуществляется непрерывный мониторинг;</p> <p>умеет – на основе диагностической информации дать анализ состояния энергетического оборудования и остаточного ресурса, и разработать ремонтные мероприятия на основе современного отечественного производства;</p> <p>владеет – теоретическими и практическими навыками, позволяющими технически грамотно доказать целесообразность проведения ремонтных мероприятий</p>	<p>3,5,7 недели –блиц-опрос на лекции и практическом занятии (УО)</p> <p>9,12,17 недели – блиц-опрос на лекции и практическом занятии (УО)</p>	Зачет по разделу 2. Вопросы 21-90 перечня типовых вопросов зачета. ИДЗ. (Приложение 2)

			оборудования для обеспечения надежности на длительный период.		
		УК - 3	<p>Знает - возможности современных зарубежных диагностических комплексов, обеспечивающих оценку надежности энергетического оборудования;</p> <p>умеет - на основе диагностической информации дать анализ состояния энергетического оборудования и остаточного ресурса, и разработать ремонтные мероприятия на основе современного зарубежного производства;</p> <p>владеет – навыками самостоятельно выполнять диагностические исследования, а также в научно-исследовательском коллективе.</p>		
		ОПК - 1	<p>знает – методы и способы организации построения теоретической и практической деятельности в области электроэнергетики;</p> <p>умеет - технически грамотно формулировать проблемы исследований;</p> <p>владеет - методами</p>		

			<p>проверки полученного результата с точки зрения его истинности, т. е. соответствия объекту изучения.</p>		
		ОПК – 2	<p>знает – область применения новейшие информационно-коммуникационных технологий;</p> <p>умеет – в совершенстве использовать современные информационно-коммуникационные технологии;</p> <p>владеет – культурой научных исследований.</p>		
		ОПК – 3	<p>знает – новые методы исследования, применяемые в электроэнергетике;</p> <p>умеет – самостоятельно проводить научные исследования по новейшим методикам;</p> <p>владеет - знаниями, позволяющими самостоятельно проводить научные исследования по новым методикам и разрабатывать на их основе технические средства диагностики энергетического оборудования.</p>		
		ОПК – 4	<p>знает – как при формировании исследовательского коллектива выявить такие</p>		

			<p>качества сотрудников как: нравственно-психологические особенности личности, способность выполнять исследовательскую работу, взаимодействовать с другими сотрудниками, деловые качества и интеллектуальный уровень, творческий потенциал, инициативность, умение работать в команде;</p>		
			<p>умеет - формировать производительные коллективы исследователей, оценивая их деловые и личностные качества;</p>		
			<p>владеет — психологическими правилами и принципами организации продуктивной работы исследователем коллектива (неадекватности отображения исследователя исследователем, ложного согласия, снисхождения, логической ошибки, ошибки контраста).</p>		

		ПК – 1	<p>знает - вычислительные методы и компьютерные технологии для создания научных основ и моделирования электродинамическ их процессов нового поколения электротехнически х устройств, обладающих качественно новыми функциональными свойствами</p>		
			<p>умеет - самостоятельно формулировать задачи по совершенствовани ю существующегоэле ктротехнического оборудования и диагностических средств, по обеспечению эффективности, надежности и безопасности работы электроэнергетичес кого оборудования;</p>		
			<p>владеет - навыками решения задач по совершенствовани ю существующей техники, на основе глубоких знаний по теоретической электротехнике, вычислительных методов, физико- математического аппарата, моделирования электродинамическ их процессов и создания</p>		

			диагностических моделей дефектов силового энергетического оборудования.		
		ПК - 3	знает - методы обработки экспериментальных результатов исследования электродинамических процессов в электротехнических устройствах;		
			умеет - обрабатывать, анализировать и обобщать результаты диагностических экспериментов при наличии погрешностей измерений в сложных измерительных комплексах;		
			владеет - способностью овладения новыми современными подходами и средствами измерений для решения сложных задач электродинамических исследований, а также способностью обрабатывать, анализировать и обобщать результаты исследований.		

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении 2

## V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## Основная литература

1. Киншт Н.В. Диагностика электрических цепей и систем / Н.В. Киншт, Н.Н. Петрунько. – Институт автоматики и процессов управления, Дальневосточное отделение, Российская академия наук.- Владивосток: Дальнаука, 2013. – 241 с. – Режим доступа: <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:742015&theme=FEFU>
2. Малкин, В.С. Техническая диагностика: учебное пособие / В.С. Малкин. – Санкт-Петербург: Лань, 2013. – 267 с. – Режим доступа: <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:770070&theme=FEFU>
3. Шишмарев, В.Ю. Диагностика и надежность автоматизированных систем : учебник для вузов / В.Ю. Шишмарев. – Москва: Академия, 2013. – 352 с.<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:791634&theme=FEFU>
4. Основы технической диагностики: Учебное пособие / В.А. Поляков. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 118 с.<http://znanium.com/bookread.php?book=447237>

## Дополнительная литература

1. Григорьев, С. Н. Диагностика автоматизированного производства [Электронный ресурс] / С. Н. Григорьев, В. Д. Гурин, М. П. Козочкин и др.; под.ред. С. Н. Григорьева. - М.: Машиностроение, 2011. - 600 с.<http://znanium.com/bookread.php?book=374861>
2. Демирчян, К.С. Теоретические основы электротехники: учебное пособие для вузов в трех томах / К.С.Демирчян, Л.Р.Нейман, Н.В.Коровкин, В.Л.Чечурин. - С.Петербург.: Питер, 2006. - 376 с.  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:276542&theme=FEFU>
3. Гуменюк В.М. Основы теории надежности и технической диагностики: учебное пособие [Электронный ресурс]. – Владивосток: Издательство ДВФУ, 2013.  
<http://ini-fb.dvfu.ru/scripts/refget.php?ref=/gumenyuk1.pdf>
4. Дубов Г.М. Дубинкин Д.М. Методы и средства измерений, испытаний и контроля : учеб.пособие. Издательство: КузГТУ. 2011г. – 224стр.[http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_id=6659](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=6659)



5. Браун, М. Диагностика и поиск неисправностей электрооборудования и цепей управления [Текст]/ М. Браун.- М.: Изд.дом Додека-XXI, 2010.- 328 с.

5. Алексеев, Б.А. Определение состояния (диагностика) крупных гидрогенераторов [Текст]/ Б.А. Алексеев.- 2-е изд., перераб. и доп. – М.: НЦ ЭНАС, 2013.- 144 с.

5. Арбузов Р.С., Овсянников А.Г. Современные методы диагностики воздушных линий электропередачи. – Новосибирск.: Наука, 2009.- 136 с.

7. Калявин В.П., Рыбаков Л.М. Надежность и диагностика элементов электроустановок.- СПб.: Элмор, 2009.-336 с.

8. Михеев Г. В. Электростанции и электрические сети. Диагностика и контроль электрооборудования. – М.: Изд-во Додэка-XXI, 2010. – 224 с.

9. Михеев Г.М. Цифровая диагностика высоковольтного электрооборудования.- М.: ДМК, 2015.- 298 с.

10. Петрухин, В. В. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации: учебное пособие / В. В. Петрухин, С. В. Петрухин. – М.: Инфра-Инженерия, 2010. – 176 с.

6. Дубов Г. М. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учеб.пособие / Г. М. Дубов, Д. М. Дубинкин; Кузбасс. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2011. – 224 с.

[http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_cid=25&p11\\_id=6659](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_cid=25&p11_id=6659).

7. Кудрин Б. И. Электрооборудование промышленности: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» направленияподгот. «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» / Б. И. Кудрин, А. Р. Минеев. – М.: Академия, 2008. – 432 с.

8. Малкин, В. С. Техническая диагностика: учеб.пособие. – СПб.: Лань, 2013. – 272 с.

12. Макаров Е.Ф. Обслуживание и ремонт электрооборудования электростанций и сетей [Текст]: учеб. / Е.Ф. Макаров. – М.: ИРПО; Изд. центр Академия, 2011. - 448 с.

### **Нормативно-правовые материалы<sup>1</sup>**

1. РД 153-34.0-46.302-00. Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле, 2000.

2. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001.

3. Правила устройства электроустановок. - 7-е изд. - М.: ЭНАС, 2015. - 560 с.

4. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок (с изменениями и дополнениями) [Текст] – М.: КНОРУС, 2015. - 168 с.

5. Объем и нормы испытаний электрооборудования / под ред. Б. А. Алексеева. – М.: Изд-во ЭНАС, 2004. – 256 с.

6. Правила устройства электроустановок [Текст] - 7-е издание. – СПб.: Издательство ДЕАН, 2015. – 701 с.

7. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации [Текст] - 15-е изд. перераб. и доп. – СПб.: Изд. Деан, 2015.- 352 с.

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. <http://www.elitarium.ru/psychology/> - Система дистанционного образования

2. [http://sbiblio.com/biblio/archive/frolov\\_soc/soc\\_froll6.aspx#top-](http://sbiblio.com/biblio/archive/frolov_soc/soc_froll6.aspx#top-)  
библиотека учебной и научной литературы

3. <http://window.edu.ru/window/library> - Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам».

---

<sup>1</sup> Данный раздел включается при необходимости

4. <http://elibrary.ru> - Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU
5. <http://diss.rsl.ru/>-Электронная библиотека диссертаций РГБ.
6. <http://e.lanbook.com/> - Электронно-библиотечная система «Лань».
7. <http://znanium.com/> - Электронно-библиотечная система «Научно-издательского центра ИНФРА-М».

### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

При осуществлении образовательного процесса используется следующее программное обеспечение: MicrosoftOffice (Access, Excel, PowerPoint, Word и т. д); программное обеспечение для выполнения математических расчётов Mathcad; программное обеспечение электронного ресурса сайта ДВФУ, включая ЭБС ДВФУ.

При осуществлении образовательного процесса используются следующие информационно справочные системы: ЭБС ДВФУ, профессиональная поисковая система JSTOR, электронная библиотека диссертаций РГБ, Научная электронная библиотека eLIBRARY, электронно-библиотечная система издательства «Лань», электронная библиотека "Консультант студента", электронно-библиотечная система IPRbooks, информационная система "ЕДИНОЕ ОКНО доступа к образовательным ресурсам".

## **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

На изучение дисциплины «Диагностика электроэнергетического оборудования» отводится 36 часов аудиторных занятий и 114 часов самостоятельной работы.

Современные образовательные технологии предусматривают взаимосвязанную деятельность преподавателя и учащихся. При изучении

данной дисциплины используются традиционные и интерактивные образовательные технологии:

- **лекции** (рассмотрение теоретического материала) с использованием мультимедийных технологий (презентации), диалог с аудиторией, устные блиц-опросы в начале лекции ориентированы на обобщение и определение взаимосвязи лекционного материала;

-**практические занятия** проводятся на основе совмещения коллективного и индивидуального обучения. На практических занятиях преподаватель рассматривает принципы построения систем диагностики, их элементную базу. Осуществляется обсуждение масштабных преобразователей, измерительных приборов (аналоговых, электронных, цифровых, микропроцессорных). Оценивается практика осуществления типовой методики выполнения измерений; подготовка и выполнение измерений в электроустановках, оценка точности измерительной информации, правила оформления результатов измерений, погрешности измерений. Проводится расчет основных составляющих погрешностей.

Во второй части практического занятия аспирантам предлагается работать самостоятельно, выполняя задания по расчёту точности измерительной информации задания по домашней задаче темы практического занятия. Преподаватель контролирует работу аспиранта, отвечает на возникающие вопросы, подсказывает ход и методы решения. Последующая защита задания развивает навыки работы в коллективе, умение доказательно обосновывать свою речь, развивает коммуникативные и творческие навыки;

- **самостоятельная работа** в виде подготовки к рубежному тестированию и выполнению индивидуальных заданий направлена на закрепление материала, изученного в ходе лекций и практических занятий. Самостоятельная работа аспирантов в виде сообщений на семинаре основана на самостоятельном выборе обучающимися вопроса, который вызывает у

него наибольший интерес, и позволяет расширить знания по изучаемой дисциплине.

По данной дисциплине разработаны учебные пособия, которые доступны в фондах НБ ДВФУ в соответствующем разделе:

1. Горбенко Ю.М. Метрология: учеб.пособие/ Ю.М. Горбенко, Н.В. Силин, А.Н. Шеин, В.С. Яблокова; Дальневост. федерал. ун-т.- Владивосток: Издат. дом Дальневост. федерал.ун-та, 2012.- 132 с. - Режим доступа: <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:671926&theme=FEFU>

### Перечень информационных технологий и программного обеспечения

№ п/п	Наименование оборудованных помещений и помещений для самостоятельной работы с указанием адреса	Программное обеспечение
1.	690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус Е , ауд. Е-435 (Лаборатория электробезопасности и электрических аппаратов). . Учебная лаборатория для проведения занятий лекционного, практического и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Microsoft Office - лицензия Standard Enrollment № 62820593. Дата окончания 2020-06-30. Родительская программа Campus 3 49231495. Торговый посредник: JSC "SoftlineTrade" Номер заказа торгового посредника: Tr000270647-18.  ESET NOD32 Secure Enterprise Контракт №ЭА-091-18 от 24.04.2018.  Сублицензионное соглашение Blackboard № 2906/1 от 29.06.2012. Компас-3D договор 15-03-53 от 02.12.2015 Полная версия - Компас 3D v17. Key 566798581 (Vendor 46707). Количество лицензий 250 штук.  AutoCADElectrical 2015. Срок действия лицензии 10.09.2020. № договора 110002048940 в личном кабинете Autodesk. +2
2	Приморский край, г. Владивосток, Фрунзенский р-н, Русский Остров, ул. Аякс п., д. 10, корп. А (Лит. П), Этаж 10, каб.А1017. Аудитория для самостоятельной работы аспирантов	Лицензионное соглашение OpenValueSubscription/EducationSolutions № V5770601 от 2019-01-31 , Договор №011-18-3КЭ-В от 25.01.2019 г.: ПО Microsoft для лицензирования рабочих станций WinPro 10 RUS UpgrdAcDmc, OfficeProPlus 2019 RUS AcDmc, WinSvrCAL 2019 RUSAcDmc (ПО Microsoft по подписке для учебных заведений позволяющее использовать на всех компьютерах в учебных классах операционные системы

		Microsoft Windows 7, 8 Pro, 10 RUS, офисные пакеты Microsoft Office 7, 10, 13, 19 Plus; (Word, Excel, Access, PowerPoint), ПО Microsoft для лицензирования рабочих станций Microsoft® Imagine Standard, в том числе Windows server 2016, Visual Studio Community, Windows Embedded, OneNote, SQL Server, срок действия соглашения 31.01.2019-31.01.2022 г., в течение срока действия бесплатное обновление всех программных продуктов, входящих в лицензионное соглашение.
3		

## VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование оборудованных помещений и помещений для самостоятельной работы с указанием адреса	Перечень основного оборудования
1.	690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус Е, ауд. Е-435 (Лаборатория электробезопасности и электрических аппаратов). Учебная лаборатория для проведения занятий лекционного, практического и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Учебная мебель на 24 рабочих места. Место преподавателя (стол, стул). Экран с электроприводом 236*147 см TrimScreenLine; Проектор DLP, 3000 ANSI Lm, WXGA 1280x800, 2000:1 EW330U Mitsubishi; Подсистема специализированных креплений оборудования CORSA-2007 Tuarex; Подсистема видеокмутации: матричный коммутатор DVI DXP 44 DVI ProExtron; удлинитель DVI по витой паре DVI 201 Tx/RxExtron; Подсистема аудиокмутации и звукоусиления; акустическая система для потолочного монтажа SI 3CT LP Extron; цифровой аудиопроцессор DMP 44 LC Extron; расширение для контроллера управления IPL T CR48. Телевизор LG Flatron M4716CCBA 1 шт. Комплект типового лабораторного оборудования «Электробезопасность» - 8 стендов. Доска аудиторная.
2	Приморский край, г. Владивосток, Фрунзенский р-н, Русский Остров, ул. Аякс п., д. 10, корп. Е, Этаж 5, каб. Е-549. Помещение для хранения и профилактики учебного оборудования	Анализатор показателей качества электрической энергии АПКЭ Анализатор показателей качества электрической энергии Ресурс-UF 2М Виброанализатор " Корсар++" Определитель места повреждения " ИМФ -3Р Трассодефектоискатель " Сталкер 75-02 Тепловизор " NEC TN9100 Измеритель напряженности поля промышленной частоты " ПЗ-50В ВЕКТОР-2.0М - измеритель параметров высоковольтной изоляции Анализатор спектра NEX1- 1 шт.

		<p>Анализатор спектра RSA 306В– 1 шт.          Антенна П1-М– 1 шт.          Шкаф «Дифференциальная защита линии» на базе двух микропроцессорных терминалов ДЗЛ ЭКРА ШЭ2607.091 – 1 шт.;          шкаф защиты трехобмоточного трансформатора "Бреслер ШТ 2108.12" – 1 шт.;          шкаф защиты линии и автоматики управления выключателем ШЭ2607 016 – 1 шт.;          микропроцессорный комплекс противоаварийной автоматики МКПА – 2 шт.;          комплекс программно-технический измерительный РЕТ-51 – 2 шт.;          комплекс программно-технический измерительный Ретом-ВЧм – 2 шт.;          вольтамперфазометр ПАРМА ВАФ-А(М) – 1 шт.;          устройство передачи команд противоаварийной автоматики релейной защиты и противоаварийной автоматики УПК-Ц – 1 шт.;          цифровой комбинированный измерительный прибор типа ВАФ – 1 шт.;          комплектное устройство защиты и автоматики линии "ТОР 200-Л22" – 1 шт.;          комплектное устройство защиты и автоматики синхронных и асинхронных электродвигателей мощностью до 31,5 МВт напряжением 0,4-10 кВ "ТЭМП-2501-41" – 1 шт.;          определитель места повреждения "ИМФ-3Р" – 1 шт.;          источники постоянного напряжения GW Instek GPR-25H30D – 1 шт.;          источник переменного напряжения GW Instek APS-9102 – 1 шт.;          микропроцессорное устройство релейной защиты кабельной линии БМРЗ-КЛ – 1 шт.;          программно-аппаратный комплекс «ОИК Диспетчер» - 1 комплект.</p>
3	<p>Приморский край, г. Владивосток, Приморский край, г. Владивосток, Фрунзенский р-н, Русский Остров, ул. Аякс п., д. 10, корп. А (Лит. П), Этаж 10, каб.А1017.          Аудитория для самостоятельной работы аспирантов.</p>	<p>Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 15 шт.          Интегрированный сенсорный дисплей PolymediaFlipBox - 1 шт.          Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C – 1 шт.          Рабочие места для людей с ограниченными возможностями здоровья оснащены дисплеями и принтерами Брайля; оборудованы: портативными устройствами для чтения плоскочечатных текстов, сканирующими и читающими машинами видеувеличителем с возможностью регуляции цветовых спектров; увеличивающими электронными лупами и ультразвуковыми маркировщиками</p>







МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

---

**ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ШКОЛА)**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

**по дисциплине «Диагностика электроэнергетического оборудования»**

*Направление подготовки 13.06.01 Электро – и теплотехника*

*Профиль «Теоретическая электротехника»*

**Владивосток  
2021**

**План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине  
1 семестр**

<b>№ п/п тема работы</b>	<b>Дата/сроки выполнения</b>	<b>Вид самостоятельной работы</b>	<b>Примерные нормы времени на выполнение</b>	<b>Форма контроля</b>
1. Критический анализ деятельности технических комитетов СИГРЭ в области диагностики высоковольтного электроэнергетического оборудования (дискуссия)	1-я – 3-я неделя	ИДЗ	3 недели	УО
2. Диагностика силового трансформатора на основе анализа данных о хроматографическом составе растворенных в масле газов	4-я – 6-я неделя	ИДЗ	3 недели	УО
3. Диагностика силового трансформатора на основе анализа данных о хроматографическом составе растворенных в масле газов	7-я – 10-я неделя	ИДЗ	4 недели	УО
4. Оценка технического состояния трансформатора на основе анализа характеристик частичных разрядов	11-я – 14-я неделя	ИДЗ	4 недели	УО
5. Оценка технического состояния трансформатора на основе анализа характеристик частичных разрядов	15-я – 18-я неделя	ИДЗ	4 недели	УО

**2 семестр**

<b>№ п/п тема работы</b>	<b>Дата/сроки выполнения</b>	<b>Вид самостоятельной работы</b>	<b>Примерные нормы времени на выполнение</b>	<b>Форма контроля</b>
------------------------------	----------------------------------	---	--	---------------------------

1. Оценка технического состояния трансформатора на основе анализа спектров его собственного электромагнитного излучения.	1-я – 3-я неделя	ИДЗ	3 недели	УО
2. Оценка технического состояния трансформатора на основе анализа спектров его собственного электромагнитного излучения.	4-я – 6-я неделя	ИДЗ	3 недели	УО
3. Оценка технического состояния изоляции с помощью методов диэлектрической спектроскопии	7-я – 10-я неделя	ИДЗ	4 недели	УО
8. Занятие 8,9. Оценка технического состояния изоляции с помощью методов диэлектрической спектроскопии	11-я – 14-я неделя	ИДЗ	4 недели	УО
9. Критический анализ комплексной диагностики высоковольтного оборудования, проводимой в Приморском предприятии магистральных электрических сетей	15-я – 18-я неделя	ИДЗ	4 недели	УО

**Характеристика заданий для самостоятельной работы аспирантов и методические рекомендации по их выполнению**

Варианты ИДЗ представляют собой вопросы и задачи по теме занятия.

Варианты ИДЗ выдаются в виде рефератов.

Контрольная работа: Выбор измерительной аппаратуры для создания измерительного комплекса в высоковольтной трехпроводной цепи трехфазного тока.

### **Критерии оценки выполнения самостоятельной работы**

✓ 10-9 баллов выставляется аспирантам, если они выполняют все пункты задания и все задачи. Фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы, нет; графически работа оформлена правильно. При защите аспиранты отвечают на все вопросы преподавателя.

✓ 8-7 - баллов – работа выполнена полностью; допущено не более 1 ошибки при решении задач. При защите аспиранты отвечают на все вопросы преподавателя.

### **Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы**

Результаты реферативной работы аспирант выполняет в виде письменного отчета. Реферат является документом аспиранта, в котором раскрыта тема индивидуального задания и приведены подробные сведения об изучаемом объекте.

Изложение в реферате должно быть сжатым, ясным и сопровождаться цифровыми данными, схемами, чертежами, графиками и диаграммами. Цифровой материал необходимо оформлять в виде таблиц. Сложные и громоздкие схемы, конструктивные чертежи могут быть оформлены как приложения к реферату с обязательной ссылкой на них в тексте.

Материал в реферате представляется в следующей последовательности:

- титульный лист;
- содержание;
- введение;
- материал по теме индивидуального задания;
- заключение;

- список использованных источников;
- приложения.

Материалы реферата должны быть изложены последовательно, лаконично, логически связаны. Реферат выполняется на компьютере на одной стороне листа формата А4. Таблицы и схемы могут быть выполнены на листах иного формата, но должны быть аккуратно сложены по формату А4.

Реферат может состоять из двух частей: основной и приложений. Объем основной части отчета составляет не более 15-20 страниц. Вторая часть представляет собой приложения к отчету и может включать схемы, чертежи, графики, таблицы, документацию предприятия и т.д.

Основная часть и приложения к реферату нумеруются сплошной нумерацией. Титульный лист не нумеруется. На следующем листе ставится номер «2». Номер проставляется арабскими цифрами в нижнем правом углу страницы.

Допускается использование цветных рисунков, схем и диаграмм.

Текст оформляется в соответствии с требованиями делопроизводства, печатается через 1,5 интервала. Сверху страницы делается отступ 20 мм, слева – 25 мм, справа – 15 мм, снизу – 20 мм. Абзацные отступы должны быть равны 5 знакам.

Текст должен быть разделен на разделы и подразделы (заголовки 1-го и 2-го уровней), в случае необходимости – пункты, подпункты (заголовки 3-го и 4-го уровней). Заголовки должны быть сформулированы кратко. Все заголовки иерархически нумеруются.

Основной текст, следует набирать шрифтом TimesNewRoman с обычным начертанием. Заголовки 1-го и 2-го уровней следует набирать с полужирным начертанием, заголовки 3-го и 4-го уровней – обычным. Названия рисунков и таблиц рекомендуется набирать 12 шрифтом с полужирным начертанием.

Приложения идентифицируются номерами или буквами, например «Приложение 1» или «ПриложениеА». На следующей строке при необходимости помещается название приложения, которое оформляется как заголовок 1-го уровня без нумерации. В раздел «СОДЕРЖАНИЕ» названия приложений, как правило, не помещают.

Аспиранты представляют на кафедру «Электроэнергетики и электротехники» рефераты во второй половине семестра, готовят краткое сообщение, которое докладывают на практических занятиях.

Реферат является одной из составляющих итоговой аттестации по дисциплине «Диагностика электроэнергетического оборудования».



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования

**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

---

---

**ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ШКОЛА)**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**по дисциплине «Диагностика электроэнергетического оборудования»**

Направление подготовки 13.06.01 *Электро – и теплотехника*

Профиль «Теоретическая электротехника»

Форма подготовки (очная)

**Владивосток**

**2021**

## Паспорт ФОС

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
<p>УК-1 – способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач в области диагностики энергетического оборудования, в том числе в междисциплинарных областях</p>	Знает	современные научные и практические достижения в области обеспечения диагностики энергетического оборудования
	Умеет	генерировать новые идеи в области создания диагностических комплексов на основе последних достижений технической диагностики энергетических установок
	Владеет	теоретическими знаниями и практическими навыками, позволяющими обоснованно оценить применимость современных научных достижений для создания новых методик и на их основе технических диагностических комплексов
<p>УК-3 – готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач по созданию диагностических комплексов, обеспечивающих оценку надежности энергетического оборудования</p>	Знает	Российские и мировые достижения в области энергетического оборудования и его диагностики
	Умеет	научно аргументировано доказать правоту выдвигаемых решений, работая в научных коллективах
	Владеет	навыками выступлений в форме научного доклада при обсуждении предлагаемых решений научных задач
<p>ОПК-1 – владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области электроэнергетики</p>	Знает	принципы и способы организации и построения теоретической и практической деятельности в области электроэнергетики
	Умеет	формулировать проблемы исследований (именно здесь чаще всего совершаются методологические ошибки, приводящие к выдвижению псевдопроблем или существенно затрудняющие получение результата)
	Владеет	методами проверки полученного результата с точки зрения его истинности, т. е. соответствия объекту изучения
<p>ОПК-2 – владение культурой научного</p>	Знает	новейшие информационно-коммуникационные технологии



исследования, в том числе использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	Умеет	использовать информационно-коммуникационные технологии
	Владеет	культурой научных исследований и обсуждений результатов, в том числе с использованием информационно-коммуникационных технологий
ОПК-3 – способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в электроэнергетике	Знает	новые современные методы исследования в области диагностики энергетического оборудования
	Умеет	самостоятельно проводить научные исследования
	Владеет	знаниями, позволяющими самостоятельно проводить научные исследования и разрабатывать новые методы технической диагностики энергетического оборудования
ОПК-4 – готовность организовать работу исследовательского коллектива по анализу состояния энергетического оборудования.	Знает	принципы формирования исследовательского коллектива (руководитель должен иметь представление о нравственно-психологических особенностях личности, способности выполнить исследовательскую работу, взаимодействовать с другими сотрудниками, деловые качества и интеллектуальный уровень, творческий потенциал, инициативность, умение работать в команде)
	Умеет	оценивать деловые и личностные качества работников, позволяющие формировать производительные коллективы исследователей
	Владеет	организационными навыками и психологическими правилами и принципами (неадекватности отображения исследователя исследователем, ложного согласия, снисхождения, логической ошибки, ошибки контраста) организации продуктивной работы исследовательского коллектива
ПК-1 – способность самостоятельно ставить задачи, выполнять научные исследования в области теоретической электротехники и ее приложений, используя соответствующий физико-математический	Знает	современные достижения в теоретической электротехнике и ее приложениях, вычислительные методы и компьютерные технологии с целью создания научных основ и моделирования электродинамических процессов электротехнических устройств нового поколения, обладающих качественно новыми функциональными свойствами
	Умеет	самостоятельно формулировать задачи по совершенствованию существующей техники, по обеспечению эффективности, надежности и безопасности работы электроэнергетического оборудования

<p>аппарат, вычислительные методы и компьютерные технологии с целью создания научных основ и моделирования электродинамических процессов нового поколения электротехнических устройств, обладающих качественно новыми функциональными свойствами; совершенствования существующей техники, обеспечения эффективности, надежности и безопасности работы электроэнергетического оборудования</p>	<p>Владеет</p>	<p>навыками постановки и решения задач по совершенствованию существующей техники, на основе глубоких знаний по теоретической электротехнике, вычислительных методов, физико-математического аппарата моделирования электродинамических процессов и создания диагностических моделей дефектов силового энергетического оборудования</p>
<p>ПК-3 способность овладевать новыми современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по электродинамическим процессам в электротехнических устройствах, обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов.</p>	<p>Знает</p>	<p>методики экспериментальных исследований электродинамических процессов в электротехнических устройствах и методы обработки экспериментальных результатов</p>
	<p>Умеет</p>	<p>обрабатывать, анализировать и обобщать результаты диагностических экспериментов при наличии погрешностей измерений в сложных измерительных комплексах</p>
	<p>Владеет</p>	<p>способностью овладения новыми современными подходами и средствами измерений для решения сложных задач электродинамических исследований, обеспечивающих оценку надежности электротехнического оборудования</p>

**Перечень используемых оценочных средств  
1 семестр**

№	Контролирует	Коды, наименование и этапы	Оценочные средства
---	--------------	----------------------------	--------------------

п/п	мые разделы / темы дисциплины	формирования компетенций		текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Основные положения технической диагностики. Высоковольтное электрооборудование как объект диагностирования	УК-1	знает – современные отечественные и зарубежные достижения в области общей электротехники и средств диагностики	3,5,7 недели – блиц-опрос на лекции и практическом занятии (УО)	Зачет по разделу 1. Вопросы 1-20 перечня типовых вопросов зачета. ИДЗ. (Приложение 2)
			умеет - дать глубокий критический анализ состояния энергетического оборудования на основе диагностической информации	9,12,17 недели – блиц-опрос на лекции и практическом занятии (УО)	
			владеет - навыками оценки степени надежности работы энергетического оборудования;		
		УК – 3	знает - возможности современных отечественных диагностических комплексов		
			умеет – в научном коллективе дать техническую оценку применимости комплекса при решении о применении на конкретной подстанции		
			владеет – навыками работы в научном коллективе		
ОПК- 1	знает - принципы и способы организации и построения теоретической и практической				

			<p>деятельности в области электроэнергетики</p> <p>умеет формулировать проблемы исследований</p> <p>владеет - методами проверки полученного результата с точки зрения его истинности, т. е. соответствия объекту изучения</p>		
		ОПК-2	<p>знает - новейшие информационно-коммуникационные технологии</p> <p>умеет использовать информационно-коммуникационные технологии</p> <p>владеет культурой научных исследований и обсуждений результатов, в том числе с использованием информационно-коммуникационных технологий</p>		
		ОПК – 3	<p>знает – новые методы исследования технических систем</p> <p>умеет самостоятельно проводить научные исследования</p> <p>владеет - знаниями, позволяющими самостоятельно проводить научные исследования и разрабатывать новые методы технической</p>		

			диагностики энергетического оборудования		
		ОПК – 4	<p>знает - принципы формирования исследовательского коллектива (руководитель должен иметь представление о нравственно-психологических особенностях личности, способности выполнить исследовательскую работу, взаимодействовать с другими сотрудниками, деловые качества и интеллектуальный уровень, творческий потенциал, инициативность, умение работать в команде)</p> <p>умеет - оценивать деловые и личностные качества работников, позволяющие формировать производительные коллективы исследователей</p> <p>Владеет - организационными навыками организации продуктивной работы исследовательского коллектива</p>		

		ПК-1	<p>знает – глубоко теоретическую электротехнику, физико-математический аппарат вычислительные методы для моделирования электродинамических процессов</p>		
			<p>умеет - самостоятельно формулировать задачи по совершенствованию существующей техники, по обеспечению эффективности, надежности и безопасности работы электроэнергетического оборудования</p>		
			<p>владеет - навыками постановки задач по совершенствованию существующей техники, на основе глубоких знаний по теоретической электротехнике, вычислительных методов, физико-математического аппарата моделирования электродинамических процессов и создания диагностических моделей дефектов силового энергетического оборудования</p>		
		ПК - 3	<p>знает - методики экспериментальных исследований электродинамическ</p>		

			их процессов в электротехнических устройствах		
			умеет обрабатывать, анализировать и обобщать результаты диагностических	-	
			владеет способностью овладения новыми современными подходами и средствами измерений для решения сложных задач электродинамических исследований, обеспечивающих оценку надежности электротехнического оборудования	-	

## 2 семестр

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды, наименование и этапы формирования компетенций	Оценочные средства		
			текущий контроль	промежуточная аттестация	
1	Основные положения технической диагностики. Высоковольтное электрооборудование как объект диагностирования	УК - 1	знает – современные отечественные и зарубежные достижения в области диагностики оборудования электроэнергетики, а также, на их основе, примеры систем, в которых осуществляется непрерывный мониторинг	3,5,7 недели – блиц-опрос на лекции и практическом занятии (УО) 9,12,17 недели – блиц-опрос на лекции и практическом занятии (УО)	Зачет по разделу 2. Вопросы 21-90 перечня типовых вопросов зачета. ИДЗ. (Приложение 2)
			умеет – на основе диагностической информации дать анализ состояния энергетического		

			<p>оборудования и остаточного ресурса, и разработать ремонтные мероприятия на основе современного отечественного производства</p>		
			<p>владеет – теоретическими и практическими навыками, позволяющими технически грамотно доказать целесообразность проведения ремонтных мероприятий оборудования для обеспечения надежности на длительный период</p>		
		УК - 3	<p>Знает - возможности современных зарубежных диагностических комплексов, обеспечивающих оценку надежности энергетического оборудования</p>		
			<p>умеет - умеет – на основе диагностической информации дать анализ состояния энергетического оборудования и остаточного ресурса, и разработать ремонтные мероприятия на основе современного зарубежного производства</p>		
			<p>владеет – навыками</p>		



			самостоятельно выполнять диагностические исследования, а также в научно-исследовательском коллективе		
		ОПК - 1	знает – методы и способы организации построения теоретической и практической деятельности в области электроэнергетики		
			умеет - технически грамотно формулировать проблемы исследований		
			владеет - методами проверки полученного результата с точки зрения его истинности, т. е. соответствия объекту изучения		
		ОПК – 2	знает – область применения новейшие информационно-коммуникационных технологий		
			умеет – в совершенстве использовать современные информационно-коммуникационные технологии		
			владеет – культурой научных исследований		
		ОПК – 3	знает – новые методы исследования, применяемые в электроэнергетике		
			умеет - самостоятельно проводить научные		

			<p>исследования по новейшим методикам</p> <p>владеет - знаниями, позволяющими самостоятельно проводить научные исследования по новым методикам и разрабатывать на их основе технические средства диагностики энергетического оборудования</p>		
		ОПК – 4	<p>знает – как при формировании исследовательского коллектива выявить такие качества сотрудников как: нравственно-психологические особенности личности, способность выполнять исследовательскую работу, взаимодействовать с другими сотрудниками, деловые качества и интеллектуальный уровень, творческий потенциал, инициативность, умение работать в команде</p> <p>умеет - формировать производительные коллективы исследователей, оценивая их деловые и личностные качества</p> <p>Владеет – психологическими</p>		

			<p>правилами и принципами организации продуктивной работы исследовательского коллектива (неадекватности отображения исследователя исследователем, ложного согласия, снисхождения, логической ошибки, ошибки контраста)</p>		
		ПК – 1	<p>Знает - вычислительные методы и компьютерные технологии для создания научных основ и моделирования электродинамических процессов нового поколения электротехнических устройств, обладающих качественно новыми функциональными свойствами</p>		
			<p>умеет - самостоятельно формулировать задачи по совершенствованию существующего электротехнического оборудования и диагностических средств, по обеспечению эффективности, надежности и безопасности работы электроэнергетичес</p>		

			кого оборудования		
			Владеет - навыками решения задач по совершенствовани ю существующей техники, на основе глубоких знаний по теоретической электротехнике, вычислительных методов, физико- математического аппарата моделирования электродинамическ их процессов и создания диагностических моделей дефектов силового энергетического оборудования		
		ПК - 3	знает - методы обработки экспериментальны х результатов исследования электродинамическ их процессов в электротехнически х устройствах		
			умеет - обрабатывать, анализировать и обобщать результаты диагностических экспериментов при наличии погрешностей измерений в сложных измерительных комплексах		

			<p>владеет способностью овладения новыми современными подходами и средствами измерений для решения сложных задач</p> <p>электродинамических исследований, а также способностью обрабатывать, анализировать и обобщать результаты исследований</p>	-	
--	--	--	---	---	--

### Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		Критерии	Показатели
<p>УК-1– способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач в области диагностики энергетического оборудования, в том числе в междисциплинарных областях</p>	<b>знает</b> (пороговый уровень)	современные научные достижения в области диагностики энергетического оборудования	основные методы диагностики энергетического оборудования как при выводе из работы, так и находящегося под напряжением	электромагнитные параметры, характеризующие степень надежности функционирования энергетического оборудования
	<b>умеет</b> (продвинутой)	применять новейшие научные достижения для генерирования новых подходов создания средств диагностики энергетического оборудования	применить научные достижения для выявления возникающих как медленно протекающих, так и быстротечных дефектов	обосновать, что выбранный метод диагностирования однозначно позволяет выявить конкретный дефект
	<b>владеет</b> (высокий)	навыками критического анализа современных	информацией о показателях, определяющих состояние	навыками анализа функциональных возможностей

		диагностических средств на основании современных теоретических достижений	энергетического оборудования	современных диагностических средств при использовании на конкретных объектах энергетики
УК-3– готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач по созданию диагностических комплексов, обеспечивающих оценку надежности энергетического оборудования	<b>знает</b> (пороговый уровень)	новые результаты научных коллективов, решающих научные и научно-образовательные задачи по диагностике энергетических установок	основные российские и международные организации и формы их деятельности в области энергетики	достижения международных и российских научных организаций осуществляющих непрерывный мониторинг энергетических установок
	<b>умеет</b> (продвинутой)	оценивать надежность энергетического оборудования, как самостоятельно, так и в научном коллективе	определять параметры энергоустановок, по которым производится оценка надежности	обосновать выбранный параметр, как основной при оценке надежности энергетических установок
	<b>владеет</b> (высокий)	навыками работы в научном коллективе при решении энергетических задач, что позволит работать в исследовательских коллективах разного уровня	информацией о прикладных программах и правилами представления результатов выполненной диагностики о исследования	навыками работы в коллективе, в том числе при составлении отчета о диагностическом эксперименте, а также навыками коллективного выступления с техническим докладом
ОПК-1– владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области электроэнергетики	<b>знает</b> (пороговый уровень)	методы обработки результатов диагностических измерений	основные методы оценки точности измерительной диагностической информации	параметры, характеризующие точность измерительной информации при равноточных и неравноточных измерениях
	<b>умеет</b> (продвинутой)	применять математические методы к решению	применить методы оценки точности, как для	обосновать выбранный метод оценки точности измерительной

		поставленных задач	измерительных преобразователей, так и для измерительной диагностической системы	диагностической информацией
	<b>владеет</b> (высокий)	навыками работы с пакетами прикладных программ	информацией о прикладных программах и правилами представления результатов выполненной работы	навыками использования прикладных программ для решения профессиональных задач и навыками выбора программ в зависимости от реализуемого алгоритма диагностики
ОПК-3– способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в электроэнергетике	<b>знает</b> (пороговый уровень)	современные методы научных исследований в области общей технической диагностики и диагностики электроустановок	основные методы оценки точности измерительной диагностической информации, в новых диагностических системах	параметры, характеризующие точность измерительной информации при равноточных и неравноточных измерениях новых диагностических систем
	<b>умеет</b> (продвинутой)	применять математические методы к решению новых поставленных задач	применить методы оценки точности, как для измерительных преобразователей, так и для измерительной диагностической системы	обосновать выбранный метод оценки точности измерительной диагностической информации
	<b>владеет</b> (высокий)	навыками работы с пакетами прикладных программ, позволяющих дать оценку новых диагностических систем на основе новых методов	информацией о прикладных программах и правилами представления результатов выполненной работы	навыками использования прикладных программ для решения профессиональных задач и навыками выбора программ в зависимости от реализуемого

		исследования		алгоритма диагностики
ОПК-4– готовность организовать работу исследовательского коллектива по анализу состояния энергетического оборудования	<b>знает</b> (пороговый уровень)	технические возможности серийных объектов диагностики в энергетике	показатели основных параметров энергетических объектов в нормальных режимах	как определить характеристики энергетического оборудования
	<b>умеет</b> (продвинутой)	выбирать серийные и проектировать новые энергетические объекты с учетом непрерывной диагностики	по основным параметрам дать техническое заключение о целесообразности использования серийного или нового оборудования	пользоваться моделями энергетических объектов
	<b>владеет</b> (высокий)	навыками проектирования новых энергетических объектов, а также навыками использования серийных	высокой технической эрудицией, позволяющей доказать правильность предложенного решения	высокой технической эрудицией, позволяющей доказать правильность предложенного решения в научно-исследовательском коллективе
ПК-1– способность самостоятельно ставить задачи, выполнять научные исследования в области теоретической электротехники и ее приложений, используя соответствующий физико-математический аппарат, вычислительные методы и компьютерные технологии с целью создания	<b>знает</b> (пороговый уровень)	основные нерешенные задачи по диагностике энергетических установок, особенно в электродинамических режимах	физико-математический аппарат, вычислительные методы и методы теоретической электротехники для моделирования электродинамических процессов	параметры, характеризующие электродинамическую модель энергетического объекта
	<b>умеет</b> (продвинутой)	применять физико-математический аппарат, вычислительные методы и методы теоретической	оценить качество нового поколения электротехнических устройств, обладающих качественно	обосновать выбор показателей качества нового оборудования, обладающего качественно новыми функциональным



<p>научных основ и моделирования электродинамических процессов нового поколения электротехнических устройств, обладающих качественно новыми функциональными свойствами; совершенствования существующей техники, обеспечения эффективности, надежности и безопасности работы электроэнергетического оборудования;</p>		<p>электротехники для моделирования электродинамических процессов</p>	<p>новыми функциональными свойствами</p>	<p>и свойствами, которое обеспечивает эффективность, надежность и безопасность работы электроэнергетического оборудования;</p>
	<p><b>владеет</b> (высокий)</p>	<p>навыками самостоятельно ставить и решать научные задачи</p>	<p>информацией о решении диагностической задачи по выявлении одного и того же дефекта разными способами</p>	<p>навыками самостоятельного заключения на основании анализа диагностической информации о надежности энергетической установки</p>
<p>ПК-3— способность овладевать новыми современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по электродинамическим процессам в электротехнических устройствах, обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов</p>	<p><b>знает</b> (пороговый уровень)</p>	<p>современные методы научных исследований в области общей технической диагностики и диагностике электроустановок</p>	<p>современные подходы к экспериментальным исследованиям</p>	<p>параметры, по которым можно сделать диагностическое заключение</p>
	<p><b>умеет</b> (продвинутой)</p>	<p>овладевать новыми методами и средствами проведения экспериментальных исследований электродинамических процессов</p>	<p>оценивать на основании новых методик и средств диагностическую информацию и остаточный ресурс трансформаторов и другого энергетического оборудования</p>	<p>дать оценку выработанного ресурса оборудования на основании электромагнитных диагностических параметров</p>
	<p><b>владеет</b> (высокий)</p>	<p>навыками понимания и осмысливания современных методов диагностики</p>	<p>информацией о современных методах и средствах диагностирования</p>	<p>навыками обработки, анализа и обобщения результатов диагностических экспериментов по оценке</p>

				надежности и выработанного ресурса энергетического оборудования
--	--	--	--	---

### **Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

**Текущая аттестация аспирантов.** Текущая аттестация аспирантов по дисциплине «Диагностика электроэнергетического оборудования» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине «Диагностика электроэнергетического оборудования» проводится в форме контрольных мероприятий (устного опроса, защиты индивидуального домашнего задания, тестирования) по оцениванию фактических результатов обучения аспирантов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);
- степень усвоения теоретических знаний;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
- результаты самостоятельной работы.

Каждому объекту оценивания присваивается конкретный балл. Составляется календарный план контрольных мероприятий по дисциплине и внесения данных в АРС. По окончании семестра аспирант набирает определенное количество баллов.

**Промежуточная аттестация аспирантов.** Промежуточная аттестация аспирантов по дисциплине «Диагностика электроэнергетического

оборудования» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

### **Оценочные средства для промежуточной аттестации**

Цель тестов – определение уровня усвоения аспирантами знаний по вопросам диагностики электроэнергетического оборудования в электроэнергетике в соответствии с учебной программой при проведении промежуточной аттестации.

Содержание тестов. В соответствии с учебной рабочей программой тесты соответствуют разделам дисциплины «Диагностика электроэнергетического оборудования».

### **Типовые тесты.**

1. Периодические осмотры ВЛ производятся:
  - а) рано утром, для точного обнаружения неисправности опоры ВЛ
  - б) днём, для детальной и тщательной проверки состояния всех элементов ВЛ и её трассы
  - в) вечером, для исключения вмешательства в осмотр посторонних лиц
  
2. Наличие на изоляторах разрядов желтого или белого цвета, временами охватывающих всю гирлянду изолирующей подвески, является признаком:
  - а) обрыва провода ВЛ
  - б) повреждения соединений проводов и тросов
  - в) приближающегося перекрытия и требует принятия срочных мер по очистке или замене изоляции
  
3. На ВЛ 0,4-10кВ должна выполняться проверка загнивания деталей деревянных опор:
  - а) первый раз через 3-6 лет после ввода линий в эксплуатацию

б) первый раз через 2-4 года после ввода линий в эксплуатацию

в) первый раз через 5 лет после ввода линий в эксплуатацию

4. Какая изоляция трансформатора испытывается измерением сопротивлением изоляции:

а) главная

б) продольная

в) главная и продольная

5. Результаты каких испытаний, позволяют оценить степень увлажнённости изоляции:

а) коэффициент абсорбции

б) испытание повышенным напряжением

в) измерение сопротивления постоянному току

г) опыт холостого хода

6. Какие дефекты трансформаторов позволяет выявить измерение сопротивлений электрических цепей? (указать неправильный ответ)

а) недоброкачественная пайка и плохие контакты в обмотке и в присоединении вводов

б) обрыв одного или нескольких из параллельных проводов в обмотках

в) наличие в обмотках трансформатора проводов разного сечения

г) межвитковые замыкания

7. Какие дефекты трансформаторов позволяет выявить измерение тока и потерь холостого хода? (указать неправильный ответ)

а) витковые замыкания в обмотках

б) замыкание элементов магнитопровода

в) замыканий магнитопровода на бак трансформатора

г) деформация обмоток

8. Какие дефекты трансформаторов позволяет выявить ХАРГ-диагностика? (указать неправильный ответ)

а) перегревы токоведущих частей и элементов конструкции магнитопровода

б) дефекты твердой изоляции, вызванные перегревом изоляции от токоведущих частей и электрическими разрядами в изоляции

в) электрические разряды в масле, т.е. частичные, искровые и дуговые разряды

г) деформация обмоток

9. Основными газами, характеризующими определенные виды дефектов в трансформаторе, являются: водород  $H_2$ , ацетилен  $C_2H_2$ , этан  $C_2H_6$ , метан  $CH_4$ , этилен  $C_2H_4$ , окись  $CO$  и двуокись  $CO_2$  углерода (указать неправильный ответ)

а) водород характеризует дефекты электрического характера (частичные, искровые и дуговые разряды в масле)

б) ацетилен – перегрев активных элементов

в) этан – термический нагрев масла и твердой изоляции обмоток в диапазоне температур до  $300^\circ C$

г) этилен – высокотемпературный нагрев масла и твердой изоляции обмоток выше  $300^\circ C$

д) окись и двуокись углерода – перегрев и разряды в масле

10. Какие дефекты трансформаторов позволяет выявить измерение полного сопротивления и потерь в режиме КЗ? (указать неправильный ответ)

а) деформацию обмоток

б) качество масла

в) качество изоляции

11. Какие дефекты высоковольтного оборудования позволяет выявить анализ магнитных полей рассеяния? (указать неправильный ответ)

а) магнитный метод применяется как основной для контроля деталей из ферромагнитных материалов

б) позволяет выявлять поверхностные и подповерхностные дефекты: трещины, неметаллические включения, расслоения, непровары и т.д. в ферромагнитных материалах

в) деформацию обмоток

12. Какие дефекты высоковольтного оборудования позволяет выявить анализ частичных разрядов? (указать неправильный ответ)

а) позволяет оценивать качество изготовления той или иной изоляционной конструкции

б) выявить местные дефекты, которые практически невозможно определить обычными испытаниями высоким напряжением или измерениями каких-либо интегральных характеристик изоляции (тангенс угла диэлектрических потерь, сопротивление изоляции и т.д.)

в) деформацию обмоток

13. Какие дефекты можно выявить по значению тангенса диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$ ? (указать неправильный ответ)

а) увлажнение изоляции

б) воздушные (газовые включения) с процессами ионизации в изоляции

в) неоднородности и загрязнения в изоляции

г) пробой межвитковой изоляции

14. Значение коэффициента абсорбции (указать правильный ответ)

а) нормальное состояние изоляции -1,3

б) нормальное состояние изоляции -1,4

в) нормальное состояние изоляции – около 1

15. Значение коэффициента абсорбции (указать неправильный ответ)

- а) нормальное состояние изоляции – около 1
- б) повышенная влажность изоляции – около 1
- в) слишком сухая изоляция – около 1,4

16. Как изменяется коэффициент абсорбции с изменением температуры?

- а) когда температура увеличивается, коэффициент абсорбции уменьшается
- б) когда температура изменяется, коэффициент абсорбции остается постоянным
- в) когда температура уменьшается, коэффициент абсорбции увеличивается

17. Какие характеристики изоляции называются абсорбционными?

- а) изменения проводимости от времени
- б) емкости от времени и частоты
- в) тангенса угла потерь от частоты
- г) изменения проводимости от частоты

18. Какие дефекты трансформатора позволяют выявить метод низковольтных импульсов?

- а) механическое состояние обмоток
- б) состояние изоляции
- в) состояние магнитопровода

19. Что является целью вибрационного обследования трансформаторов?  
(указать неправильный ответ)

- а) определение качества взаимного крепления внутренних и внешних элементов трансформатора

- б) определение целостности конструкции
- в) диагностируется состояние механизмов системы охлаждения
- г) диагностируется качество прессовки обмоток и магнитопровода трансформатора
- д) определение микро трещин

20. Какие параметры контроля при тепловизионном обследовании трансформаторов? (указать неправильный ответ)

а) нагревы внутренних контактных соединений обмоток НН с выводами трансформатора

б) нарушение в работе систем охлаждения (вентиляторов, маслонасосов, циркуляции масла в радиаторах) и регенерации масла (термосифонных фильтров (ТСФ))

в) места болтового крепления колокола бака; уровень масла в расширительном баке, выхлопной трубе и во вводах

г) возникновение магнитных полей рассеяния в трансформаторе за счёт нарушения изоляции отдельных компонентов магнитопровода (консоли, шпильки и т.п.)

д) другой ответ

21. Что относится к параметрам непрерывного контроля трансформаторов под напряжением?

а) растворенные в масле газы

б) влагосодержание

в) вибрации

г) уровень ЧР

д) деформация обмоток

22. По каким характеристикам оценивается старение трансформаторного масла? (указать неправильный ответ)



- а) по изменению кислотного числа,
- б) по количеству образующегося в нем шлама,
- в) по реакции водной вытяжки
- г) по коэффициенту абсорбции

23. Отбор проб масла на анализ из оборудования 500 кВ производится в следующие сроки:

- а) трансформаторы тока – 1 раз в три года
- б) трансформаторы напряжения – 1 раз в два года
- в) силовые трансформаторы – 1 раз в 3 год
- г) вводы – 1 раз в три года

24. Как часто в период эксплуатации силовые трансформаторы подвергают следующим профилактическим испытаниям: испытание электрической прочности масла:

- а) 1 раз в год
- б) 1 раз в 2 года
- с) 1 раз в 3 года

25. Признаки «старения» межлистовой изоляции магнитопровода

- а) увеличение тока и потерь холостого хода
- б) понижение температуры вспышки и повышение кислотности масла
- в) повышение пробивного напряжения

26. Признаки дефектов: «пожар» стали, повреждение изоляции стяжных болтов, замыкание листов магнитопровода, отдельные местные повреждения ее, замыкание отдельных листов

- а) повышение температуры трансформатора
- б) появление газа черного или бурого цвета в газовом реле, воспламеняющегося при поджоге

в) масло меняет цвет, становится светлым и имеет резкий специфический запах вследствие разложения (крекинг-процесс)

27. Какая причина ненормального гудения, дребезжания и жужжания трансформатора (ответов может быть несколько)

а) произошло ослабление прессовки магнитопровода

б) происходят свободные колебания крепящих деталей и колебания крайних листов магнитопровода

в) повышение первичного напряжения

28. Причины «старения» и износа изоляции

а) износ изоляции может произойти из-за длительной эксплуатации трансформатора

б) из-за частых перегрузок

в) из-за недостаточно интенсивного охлаждения при номинальной нагрузке

г) из-за атмосферных воздействий

29. Признаки виткового замыкания в обмотках

а) работа газовой защиты на отключение трансформатора

б) выделение горючего газа бело-серого или синеватого цвета

в) незначительный нагрев трансформатора с характерным бульканьем

30. При выполнении каких условий, определяется место повреждения кабельной линии акустическим методом

а) практически возникновение устойчивого искрового разряда в месте повреждения обеспечивается при значении переходного сопротивления 40 Ом и более

б) наибольшую зону слышимости обеспечивают плотные и однородные грунты

в) наименьшую зону обеспечивают рыхлые грунты, шлак, строительный мусор

г) кабель находится на глубине менее 2-х метров

31. Трансформатор находился в несимметричном режиме работы больше 10 минут. На одной фазе отказал в работе выключатель. Окраска на баке трансформатора вокруг этой фазы вздулась. Результаты диагностирования:

- повышенная индуктивность рассеяния в рассматриваемой фазе - около 4%

- повышенная емкость обмотки низкого напряжения относительно заземленных частей (НН-заземленные части) – около 9%

- уменьшенная емкость обмотки высокого напряжения относительно обмотки низкого напряжения (ВН - НН) - около 2%

- хроматографический анализ газов в трансформаторном масле – результаты без отклонений.

Анализируя полученные результаты измерений, можно было сделать следующие выводы (указать неправильный ответ:

а) обмотки в рассматриваемой фазе деформированные

б) обмотка низкого напряжения (НН) приблизилась сердечнику

в) обмотка низкого напряжения (НН) отделилась от обмотки высокого напряжения

г) сопротивление изоляции уменьшилось

32. Основным видом диагностики трансформаторов, выявляющим большинство дефектов, в настоящее время считается хроматографический контроль газов, растворенных в масле (ГХА). Какой метод хроматографического контроля используется в России?

а) метод МЭК 599, метод IEEE

б) метод CEGB (отношения по Роджерсу), метод Шлизингера

- в) метод Дорненбурга, метод Дюваля
- г) комбинированный из перечисленных

Типовые вопросы для промежуточной аттестации.

1. Проблемы и современное состояние определения местных дефектов изоляции по частичным разрядам.
2. Проблемы и современное состояние определения местных дефектов изоляции по току сквозной проводимости.
3. Проблемы и современное состояние определения износа изоляции по значению диэлектрических потерь.
4. Проблемы и современное состояние оценки сопротивления изоляции и контактов.
5. Проблемы и современное состояние проверки состояния деревянных и железобетонных опор и приставок.
6. Проблемы и современное состояние проверки заземляющих устройств.
7. Проблемы и современное состояние метода колебательного разряда для определения места повреждения кабельной линии.
8. Проблемы и современное состояние петлевого метода определения места повреждения кабельной линии.
9. Проблемы и современное состояние емкостного метода определения места повреждения кабельной линии.
10. Проблемы и современное состояние акустического метода определения места повреждения кабельной линии.
11. Проблемы и современное состояние индукционного метода определения места повреждения кабельной линии.
12. Проблемы и современное состояние хроматографического метода диагностики силовых трансформаторов.
13. Проблемы и современное состояние тепловизионного метода диагностики силовых и измерительных трансформаторов.

**14.** Проблемы и современное состояние контроля изоляции трансформаторов, вводов и измерительных трансформаторов при рабочем напряжении по характеристикам частичных разрядов.

**15.** Проблемы и современное состояние вибрационного метода оценки состояния опрессовки активных элементов трансформаторов.

**16.** Проблемы и современное состояние диагностики механических деформаций обмоток трансформаторов методом низковольтных импульсов.

## **ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

### **Темы рефератов**

1. Диагностика трансформаторного оборудования под рабочим напряжением.
2. Диагностика состояния посредством измерения характеристик масла.
3. Испытание изоляции повышенным напряжением частоты 50 Гц.
4. Измерение сопротивления короткого замыкания ( $Z_K$ ) обмоток в силовых трансформаторах, автотрансформаторах и масляных реакторах.
5. Измерение сопротивления обмоток постоянному току в трансформаторах тока.
6. Измерение сопротивления обмоток постоянному току в трансформаторах напряжения.
7. Применение тонкослойной хроматографии при определении микроколичеств фурановых производных в изоляционном масле.
8. Импульсное дефектографирование.
9. Определение влагосодержания изоляции.
10. Диагностика магнитопроводов трансформаторного оборудования.
11. Методы контроля дефектов изоляции:
12. Основные дефекты сердечника электрических машин.

13. Методы текущего контроля электрических машин.
14. Основные дефекты силовых трансформаторов, автотрансформаторов.
15. Диагностика электротехнического оборудования под рабочим напряжением.
16. Вибрационное обследование и диагностическое состояние силовых трансформаторов: оценка состояния фундаментов;
17. Основные дефекты высоковольтных коммутационных аппаратов.
18. Методы диагностики измерительных трансформаторов, конденсаторов, разрядников и ограничителей перенапряжений.
19. Контроль состояния измерительных трансформаторов, конденсаторов, разрядников и ограничителей перенапряжений во время работы: визуальный контроль, фиксация срабатывания разрядников и ОПН, тепловизионный контроль, контроль с помощью термоиндикаторов.

### **Типовые вопросы к зачету по дисциплине**

#### **«Диагностика электроэнергетического оборудования»**

1. Каковы основные задачи технической диагностики?
1. Классификация методов измерений
2. Погрешности измерений. Класс точности
3. Способы исключения систематических погрешностей
4. Способы исключения случайных погрешностей
5. Обработка результатов прямых измерений
6. Обработка результатов косвенных измерений
7. Государственная система стандартизации
8. Основные цели и объекты сертификации
9. Аккредитация испытательных (измерительных) лабораторий
11. Метрологические характеристики средств измерений
11. Классификация измерительных приборов по обобщенным признакам

12. Класс точности и нормирование погрешностей
13. Случайные погрешности и способы их описания
14. Оценки истинного значения на основании ограниченного ряда наблюдений
15. Интервальные значения истинного значения
16. Прямые равноточные измерения с многократными наблюдениями
17. Прямые неравноточные измерения
18. Правила проверки согласия опытного распределения случайной величины с теоретическим
19. Количественные показатели точности измерений и способы их выражения
20. Каковы основные виды технического состояния электрооборудования?
21. Что является предметом технической диагностики?
22. Почему важно учитывать скорость развития дефектов?
23. В чем заключается новая стратегия технического обслуживания?
24. На какие группы можно разбить повреждения оборудования?
25. Чем определяется достоверность метода диагностики?
26. Какие существуют направления обеспечения необходимой точности измерений в условиях помех?
27. Какова структура и содержание двухступенчатых профилактических испытаний?
28. Как осуществляется оценка состояния трансформатора при функциональной диагностике?
29. Каковы приемы диагностики?
30. Как различаются трансформаторы по назначению?
31. Каковы основные элементы конструкции силовых трансформаторов?
32. С какой целью у трансформаторов мощностью 1000 кВА и более устанавливают газовое реле?

33. Какими способами выполняют крепление вводов на крышке или стенке бака трансформаторов?
34. Для чего на мощные трансформаторы устанавливают выхлопную трубу?
35. Как происходит увлажнение изоляции трансформатора в процессе эксплуатации?
36. Какие механические дефекты возникают в процессе эксплуатации трансформатора?
37. Почему в процессе эксплуатации может измениться коэффициент трансформации силового трансформатора?
38. Какие дефекты выявляет измерение сопротивления обмоток постоянному току?
39. Какие дефекты можно выявить по значению  $\text{tg}\delta$  изоляции трансформатора?
40. Какие характеристики изоляции называются абсорбционными?
41. Какие параметры являются характеристиками частичных разрядов (ЧР) в изоляции трансформаторов?
42. Какие методы используются для обнаружения ЧР?
43. Какие дефекты трансформатора позволяют выявить метод низковольтных импульсов?
44. В чем суть метода частотного анализа?
45. Что является целью вибрационного обследования трансформаторов?
46. Каковы параметры контроля при тепловизионном обследовании трансформаторов?
47. Что относится к параметрам непрерывного контроля трансформаторов под напряжением?
48. По каким характеристикам оценивается старение трансформаторного масла?
49. На чем основан хроматографический метод анализа газовой смеси, выделенной из масла?



50. За счет чего происходит разделение компонентов газовой смеси в хроматографической колонке?
51. Какие газы используются как газы-носители в хроматографе?
52. За счет чего ухудшается состояние трансформаторного масла герметичных трансформаторных вводов?
53. На каком явлении основано применение оптических методов оценки состояния высоковольтных герметичных вводов?
54. Основные уравнения измерительного трансформатора напряжения.
55. Погрешности измерительного трансформатора напряжения.
56. Основные уравнения измерительного трансформатора тока.
57. Погрешности измерительного трансформатора тока.
58. Поверка измерительного трансформатора напряжения.
59. Поверка измерительного трансформатора тока.
60. Подготовка и выполнение измерений в электроустановках.
61. Сформулировать основные понятия технической диагностики.
62. Охарактеризовать объекты технического диагностирования
63. Дать определение технического состояния объекта, его контроль.
64. Описать прогнозирование технического состояния.
65. Перечислить средства, системы технического состояния.
66. Перечислить показатели и характеристики диагностирования.
67. Охарактеризовать процессы повреждения и износа. Понятие дефекта оборудования и его признаки.
68. Перечислить средства и методы контроля состояния оборудования.
69. Описать контроль оборудования во время работы.
70. Перечислить требования к системам контроля и диагностики.
71. Охарактеризовать основные дефекты обмоток статора и ротора.
72. Описать методы контроля дефектов изоляции.
73. Охарактеризовать основные дефекты сердечника статора: нарушение
74. Охарактеризовать основные дефекты сердечника ротора.

75. Описать методы контроля дефектов в обмотке статора и сердечника ротора.

76. Описать контроль состояния машин во время работы.

77. Охарактеризовать основные дефекты асинхронных двигателей.

78. Описать контроль состояния асинхронных двигателей во время работы.

79. Охарактеризовать основные дефекты силовых трансформаторов и автотрансформаторов.

80. Охарактеризовать основные дефекты высоковольтных коммутационных аппаратов.

81. Описать методы диагностики и контроля оборудования.

82. Описать контроль состояния высоковольтных коммутационных аппаратов во время работы.

83. Охарактеризовать основные дефекты измерительных трансформаторов, конденсаторов, разрядников и ограничителей перенапряжений.

84. Описать контроль состояния измерительных трансформаторов, конденсаторов, разрядников и ограничителей перенапряжений во время работы.

85. Охарактеризовать основные виды неисправности устройств релейной защиты и автоматики (РЗ и А).

86. Описать основные требования к методам и средствам технического диагностирования и технического обслуживания устройств релейной защиты и автоматики (РЗ и А).

87. Охарактеризовать тестовый, функциональный и автоматизированный контроль устройств релейной защиты и автоматики (РЗ и А).

88. Описать основные требования к методам и средствам технического диагностирования и технического обслуживания устройств релейной защиты и автоматики (РЗ и А).

89. Диагностическое обеспечение, технические средства диагностирования, требования, предъявляемые к объекту и техническим средствам диагностирования.

90. Методы диагностирования. Функциональная диагностика. Техническое диагностирование.

91. Методы контроля высоковольтного оборудования при отключенном напряжении.

92. Методы обследования высоковольтного оборудования под рабочим напряжением.

93. Хроматографические методы оценки технического состояния высоковольтного оборудования.

94. Диэлькометрические методы контроля технического состояния высоковольтного оборудования.

95. Дефекты в изоляции. Современные системы технического диагностирования изоляции высоковольтного оборудования.

96. Перспективы развития систем технической диагностики высоковольтного электроэнергетического оборудования.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)

---

---

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ШКОЛА)

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
по дисциплине «Диагностика электроэнергетического оборудования»

Направление подготовки *13.06.01 Электро – и теплотехника*  
Профиль «Теоретическая электротехника»  
Форма подготовки (очная)

Владивосток  
2021



	а $x_i$	ние $U_i =$ $(x_i - \bar{x}) \cdot 10^{-3}$	отклоне ния $U_i^2$ $\cdot 10^{-6}$	i	а $x_i$	ние $U_i =$ $(x_i - \bar{x}) \cdot 10^{-3}$	отклоне ния $U_i^2$ $\cdot 10^{-6}$
1	8,906	-13	169	13	8,914	-5	25
2	8,915	-4	16	14	8,925	6	36
3	8,913	-6	36	15	8,923	4	16
4	8,921	2	4	16	8,917	-2	4
5	8,925	6	36	17	8,918	-1	1
6	8,929	10	100	18	8,921	2	4
7	8,917	-2	4	19	8,920	1	1
8	8,915	-4	16	20	8,920	1	1
9	8,919	0	0	21	8,914	-5	25
10	8,914	-5	25	22	8,917	-2	4
11	8,921	2	4	23	8,916	-3	9
12	8,920	1	1	24	8,935	16	256

Вычислим оценки параметров распределения среднего арифметического результатов наблюдений  $\bar{x}$  по формуле (3.15) и среднего квадратического отклонения результатов наблюдений по формуле (3.16), получим:

$$\bar{x} = 8,919 \text{ В}, \tilde{\delta} = 5,87 \cdot 10^{-3} \text{ В.}$$

Смещенная оценка среднего квадратического отклонения, определяемая по формуле (3.19):

$$\tilde{\sigma}^* = 5,748 \cdot 10^{-3} \text{ В.}$$

Проверяем выполнение критериев 1 и 2.

Критерий 1. Вычисляем  $\tilde{d}$  по формуле (3.18):

$$\tilde{d} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\tilde{\sigma}^*} = \frac{103 \cdot 10^{-3}}{24 \cdot 5,748 \cdot 10^{-3}} = 0,746.$$

Выбрав уровень значимости  $q_1 = 0,02$  из табл. 3.4 определяем квантили распределения:  $d_{\min} = 0,700$ ,  $d_{\max} = 0,897$ .

Так как  $0,700 < 0,746 < 0,897$ , то критерий 1 выполняется.

Критерий 2. Принимаем уровень значимости  $q_2 = 0,02$ . Из табл. 3.5 по выбранному  $q_2 = 0,02$  и числу наблюдений  $n=24$  находим значение вероятности  $P = 0,98$ . Из табл. 3.5 определяем значение теоретического коэффициента  $m=2$ .

Из табл. 3.6 по величине  $\Phi_1(Z) = \frac{P}{2} = 0,49$  находим аргумент функции  $Z = Z_{\frac{P}{2}} = 2,33$ . Определяем коэффициент  $Z_{\frac{P}{2}} \cdot \tilde{\delta} = 2,33 \cdot 5,87 \cdot 10^{-3} = 13,67 \cdot 10^{-3}$ .

Согласно критерию 2 не более двух разностей  $|x_i - \bar{x}|$  ( $m=2$ ) могут превысить число  $13,67 \cdot 10^{-3}$ . По данным расчета, приведенным в табл. 3.8 следует, что только при  $i=24$  разность превышает это число, т.е.  $m_3=1$ . Следовательно, и критерий 2 выполняется.

Таким образом, при уровне значимости  $q \leq q_1 + q_2$  гипотеза о нормальности распределения полученных данных согласуется с данными наблюдений.

**Пример 3.** Произведено 18 ( $n=18$ ) отчетов значений измеряемой величины-напряжения (табл. 3.9). Требуется произвести обработку результатов измерений (предполагая их нормальное распределение). Для этого выбрать доверительную вероятность  $P_0 = 0,95$ . Систематической погрешностью пренебречь.

Таблица 3.9

**Результаты измерений примера 3**

$i$	$x_i$	$i$	$x_i$	$i$	$x_i$
1	1681	7	1705	13	1682
2	1701	8	1685	14	1690

3	1693	9	1697	15	1987
4	1678	10	1690	16	1680
5	1686	11	1690	17	1692
6	1674	12	1985	18	1688

Примечание:  $i$  - номер измерения,  $x_i$  - результат измерения.

1. Определим среднее арифметическое значение

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 1688,0 \text{ мВ.}$$

Значение  $\bar{x}$  считается оценкой истинного значения измеряемого напряжения  $U$ , т.е.  $U \approx \bar{x} = 1688,0 \text{ мВ}$ .

1. Вычислим отклонение результатов отдельных измерений от среднего значения  $\bar{x}$  по формуле:  $U_i = x_i - \bar{x}$ . Результаты вычисления представлены в табл. 3.10.

Таблица 3.10

*Значение остаточных погрешностей примера 3*

$i$	$U_i$	$i$	$U_i$	$i$	$U_i$
1	-7	7	17	13	-6
2	13	8	-3	14	2
3	5	9	9	15	-1
4	-10	10	2	16	-8
5	-2	11	2	17	4
6	-14	12	-3	18	0

3. Вычислим оценку среднего квадратичного отклонения по формуле (3.16)

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n U_i^2}{n-1}} = 7,9, \text{ мВ.}$$

4. Среднеквадратическое отклонение среднеарифметического



$$\tilde{\sigma}_{\text{cp}} = \frac{\tilde{\sigma}}{\sqrt{n}} = \frac{7,9}{\sqrt{18}} = 1,9, \text{ мВ.}$$

Для вычисления доверительного интервала, соответствующего доверительной вероятности  $P_{\delta} = 0,95$  и числу измерений  $n = 18$ , воспользуемся таблицей 3.2. Определим коэффициент Стьюдента

$$t(P_{\delta}, n) = t(0,95, 18) = 2,11.$$

Поскольку  $\tilde{\sigma}_{\text{cp}} = 1,9 \text{ мВ}$ , то нижняя граница доверительного интервала

$$x_{\text{н}} = \bar{x} - t(P_{\delta}, n) \cdot \tilde{\sigma}_{\text{cp}} = 1688 - 2,11 \cdot 1,9 \approx 1684 \text{ мВ},$$

а верхняя граница

$$x_{\text{в}} = \bar{x} + t(P_{\delta}, n) \cdot \tilde{\sigma}_{\text{cp}} = 1688 + 2,11 \cdot 1,9 \approx 1692 \text{ мВ}.$$

Граница случайной погрешности результата измерений

$$\Delta_{\Gamma} = t(P_{\delta}, n) \cdot \tilde{\sigma}_{\text{cp}} = 2,11 \cdot 1,9 = 4,0 \text{ мВ}.$$

Результат измерений может быть записан в виде

$$U = 1688 \text{ мВ}; \Delta_{\Gamma} = \pm 4 \text{ мВ}; P_{\delta} = 0,95.$$

**Пример 4.** С целью аттестации катушки индуктивности по добротности проведено 20 измерений ее добротности при температуре окружающей среды

$$T = 25^{\circ} \text{C}.$$

В качестве средств измерений использовались: компаратор добротности с погрешностью сличения  $\delta_k = 0,4\%$  и образцовая катушка, аттестованная с погрешностью  $\delta_a = 0,7\%$ .

Требуется определить номинальное значение добротности аттестуемой катушки и погрешность аттестации с доверительной вероятностью  $P_{\delta} = 0,95$  для нормальных условий ( $T = 20^{\circ} \text{C}$ ).

В результате измерений получены данные, приведенные в табл. 3.11.

Таблица 3.11

#### *Результаты измерений примера 4*

Порядков ый номер измерения	$Q_i$	Порядков ый номер измерения	$Q_i$	Порядков ый номер измерения	$Q_i$	Порядков ый номер измерения	$Q_i$
1	76,3	6	76,0	11	75,3	16	75,9
2	74,7	7	75,3	12	75,1	17	74,9
3	75,7	8	74,9	13	75,5	18	75,7
4	75,5	9	75,5	14	75,4	19	75,3
5	75,7	10	75,4	15	75,8	20	77,1

Исключим известную систематическую погрешность из результата измерения. В данной задаче систематическая погрешность измерения будет обуславливаться отклонением температуры окружающей среды от нормальной.

Используя известную зависимость изменения добротности  $\Delta Q$ , определим эти измерения по формуле

$$\Delta Q_i = Q_i \cdot \beta \cdot \Delta T,$$

где  $Q_i$  - результат измерения при  $T = 25^\circ C$ ,

$\beta = 5 \cdot 10^{-4}$  - температурный коэффициент добротности,

$\Delta T = 5^\circ C$  - отклонение температуры.

Результаты измерения после исключения систематической погрешности приведены в табл. 3.12

Таблица 3.12

### Результаты измерений примера 4 после исключения систематической погрешности

Порядков ый номер измерения	$Q_i$	Порядков ый номер измерения	$Q_i$	Порядков ый номер	$Q_i$	Порядков ый номер измерения	$Q_i$
--------------------------------------	-------	--------------------------------------	-------	-------------------------	-------	--------------------------------------	-------

				измерения			
1	76,11	6	75,81	11	75,11	16	75,71
2	74,51	7	75,11	12	74,91	17	74,71
3	75,51	8	74,71	13	75,31	18	75,51
4	75,31	9	75,31	14	75,21	19	75,11
5	75,51	10	75,21	15	75,61	20	76,91

Определим среднее арифметическое значение

$$\bar{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} Q_i = 75,36.$$

Среднеквадратичное отклонение

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} = \sqrt{\frac{1}{20-1} \sum_{i=1}^n (Q_i - 75,36)^2} = 0,53$$

Рассчитаем коэффициент  $t_{20}$  по формуле (3.17), т.е. проверим является ли результат 20-го наблюдения промахом

$$t_{20} = \frac{|Q_{20} - \bar{Q}|}{\tilde{\sigma}} = \frac{|76,91 - 75,36|}{0,53} = 2,92$$

Из табл. 3.3 по заданным величинам  $n = 20$  и уровню значимости  $q = 0,05$  (5%) находим предельное значение коэффициента  $t_{\Gamma} = 2,78$ .

Так как  $t_{20} > t_{\Gamma}$  ( $2,92 > 2,78$ ), то гипотеза не противоречит экспериментальным данным, т.е. 20-е наблюдение является промахом, поэтому из дальнейшей обработки его исключим.

Вычислим среднее арифметическое 19 наблюдений  $\bar{Q}_{19}$ ,

$$\bar{Q}_{19} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i = \frac{1}{19} \sum_{i=1}^{19} Q_i = 75,28.$$

Вычислим среднюю квадратическую погрешность результатов наблюдений

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{19})^2} = \sqrt{\frac{1}{19-1} \sum_{i=1}^{19} (Q_i - 75,28)^2} = 0,40$$

Определим принадлежность результатов наблюдений к нормальному распределению. Так как число наблюдений  $n$  больше 15 и меньше 50 ( $15 < n < 50$ ), используем составной критерий.

Определим смещенную оценку среднего квадратичного отклонения по формуле (3.19)

$$\tilde{\sigma}^* = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_{19})^2} = \sqrt{\frac{1}{19} \sum_{i=1}^{19} (Q_i - 75,28)^2} = 0,39.$$

Определяем выполнение критериев 1 и 2.

Критерий 1. Вычисляем параметр  $\tilde{d}$  по формуле (3.18)

$$\tilde{d} = \frac{\sum_{i=1}^n |Q_i - \bar{Q}_{19}|}{n \cdot \tilde{\sigma}^*} = \frac{\sum_{i=1}^{19} |Q_i - 75,28|}{19 \cdot 0,39} = 0,79.$$

Задаваясь уровнем значимости  $q_1 = 0,1$  из табл. 3.4 определяем квантили распределения для  $n = 21$  (ближайшее к  $n = 19$ )

$$d_{\min} = 0,7304, \quad d_{\max} = 0,8768.$$

Так как расчетное значение  $\tilde{d}$  не выходит за пределы теоретических значений (т.е.  $0,73 < 0,79 < 0,87$ ), можно считать, что критерий 1 выполняется.

Критерий 2. Принимаем уровень значимости  $q_2 = 0,05$ . Из табл. 3.5 по выбранному  $q_2 = 0,05$  и числу наблюдений  $n = 19$  находим значение вероятности  $P = 0,98$ . Из табл. 3.5 определяем значение теоретического коэффициента  $m = 1$ .

Из табл. 3.6 по величине  $\phi_1(Z) = \frac{P}{2} = 0,49$  находим аргумент функции

$Z = Z_{\frac{P}{2}} = 2,33$ . Определяем коэффициент  $Z_{P/2} \cdot \tilde{\sigma} = 2,33 \cdot 0,40 = 0,93$ .

Анализируя значения модулей отклонения  $|Q_i - \bar{Q}_{19}|$  результатов наблюдений (табл. 3.13), отметим, что ни одна из них не превышает значение 0,93.

Следовательно, и критерий 2 выполняется.

Таблица 3.13

**Значения модулей отклонения  $|Q_i - \bar{Q}_{19}|$**

Порядков ый номер измерения	$ Q_i - \bar{Q}_{19} $	Порядковы й номер измерения	$ Q_i - \bar{Q}_{19} $	Порядковы й номер измерения	$ Q_i - \bar{Q}_{19} $	Порядков ый номер измерения	$ Q_i - \bar{Q}_{19} $
1	0,83	6	0,53	11	0,17	16	0,43
2	0,77	7	0,17	12	0,37	17	0,57
3	0,23	8	0,53	13	0,03	18	0,23
4	0,03	9	0,03	14	0,07	19	0,17
5	0,23	10	0,07	15	0,33	-	-

Таким образом, при уровне значимости  $q \leq q_1 + q_2 = 0,15$  гипотеза о нормальности распределения полученных данных согласуется с данными наблюдений.

Вычислим среднеквадратическое отклонение среднеарифметического

$$\tilde{\sigma}_{cp} = \frac{\tilde{\sigma}}{\sqrt{n}} = \frac{0,4}{\sqrt{19}} = 0,09.$$

Так как распределение подчиняется нормальному закону, доверительные границы  $\Delta_r$  вычисляем по формуле (3.23). При заданной доверительной вероятности  $P = 0,95$  и числе наблюдений  $n = 19$  из табл. 3.2 определим коэффициент Стьюдента

$$t(P_\delta, n) = 2,10.$$

Граница случайной погрешности

$$\varepsilon = \Delta_r = t(P_\delta, n) \cdot \tilde{\sigma}_{cp} = 2,10 \cdot 0,09 = 0,19.$$

Определим доверительные границы неисключенной систематической погрешности измерения. В данной задаче неисключенная систематическая

погрешность измерения будет обуславливаться двумя составляющими погрешностями аттестации образцовой катушки и компаратора, заданных в относительной форме.

Вычислим границы (абсолютные значения погрешностей) каждой неисключенной систематической погрешности

$$\theta_a = \pm \frac{\delta_a}{100} \cdot \bar{Q}_{19} = \pm \frac{0,7}{100} \cdot 75,28 = \pm 0,53,$$

$$\theta_k = \pm \frac{\delta_k}{100} \cdot \bar{Q}_{19} = \pm \frac{0,4}{100} \cdot 75,28 = 0,30.$$

Доверительные границы суммарной неисключенной систематической погрешности найдем по формуле (3.24)

$$\theta = k \sqrt{\sum_{i=1}^m Q_i^2} = 1,1 \cdot \sqrt{0,53^2 + 0,30^2} = 0,67,$$

где  $k=1,1$  (значение коэффициента определено из табл. 3.7).

Определим, можно ли пренебречь какой-либо составляющей погрешности измерения.

Вычислим отношение

$$\frac{\theta}{\tilde{\sigma}_{cp}} = \frac{0,67}{0,09} = 7,44.$$

Так как отношение  $\frac{\theta}{\tilde{\sigma}_{cp}}$  лежит в пределах 0,8-8,0, то ни одной из составляющих погрешности измерения пренебречь нельзя, следовательно, общая погрешность будет определяться обеими составляющими.

Найдем доверительные границы  $\Delta$  общей погрешности измерения по формуле (3.25), предварительно вычислив величины  $S_\Sigma$  и  $k$  по формулам (3.26), (3.27).

Оценка суммарного среднеквадратического отклонения результата измерения

$$S_\Sigma = \sqrt{\frac{1}{3}(\theta_a^2 + \theta_k^2) + \tilde{\sigma}_{cp}^2} = \sqrt{\frac{1}{3}(0,53^2 + 0,3^2) + 0,09^2} = 0,36.$$

Коэффициент  $k$

$$k = \frac{\varepsilon + \theta}{\tilde{\sigma}_{cp} + \sqrt{\frac{1}{3}(\theta_a^2 + \theta_k^2)}} = \frac{0,19 + 0,67}{0,09 + \sqrt{\frac{1}{3}(0,53^2 + 0,30^2)}} = 1,95.$$

Доверительные границы погрешности измерения

$$\Delta = k \cdot S_{\Sigma} = 1,95 \cdot 0,36 = \pm 0,7.$$

Результат измерения можно представить в следующей форме

$$Q = \bar{Q}_{19} + \Delta \text{ или } Q = 75,28 \pm 0,70; P = 0,95.$$

**Пример 5.** Определить средневзвешенное значение напряжения и среднеквадратическое отклонение средневзвешенного неравноточных измерений, которые были выполнены тремя коллективами экспериментаторов с помощью различных методов измерений. Экспериментальные результаты измерений и их средние квадратические отклонения следующие:

$$\tilde{U}_1 = 18,90 \text{ В}, \tilde{\sigma}_1 = 0,04 \text{ В}; \tilde{U}_2 = 18,89 \text{ В}, \tilde{\sigma}_2 = 0,16 \text{ В}; \tilde{U}_3 = 18,92 \text{ В}, \tilde{\sigma}_3 = 0,20.$$

Определим весовые коэффициенты

$$a_1 = \frac{\frac{1}{\tilde{\sigma}_1^2}}{\frac{1}{\tilde{\sigma}_1^2} + \frac{1}{\tilde{\sigma}_2^2} + \frac{1}{\tilde{\sigma}_3^2}} = \frac{\frac{1}{0,04^2}}{\frac{1}{0,04^2} + \frac{1}{0,16^2} + \frac{1}{0,2^2}} = 0,907,$$

$$a_2 = \frac{\frac{1}{\tilde{\sigma}_2^2}}{\frac{1}{\tilde{\sigma}_1^2} + \frac{1}{\tilde{\sigma}_2^2} + \frac{1}{\tilde{\sigma}_3^2}} = \frac{\frac{1}{0,16^2}}{\frac{1}{0,04^2} + \frac{1}{0,16^2} + \frac{1}{0,2^2}} = 0,0567,$$

$$a_3 = \frac{\frac{1}{\tilde{\sigma}_3^2}}{\frac{1}{\tilde{\sigma}_1^2} + \frac{1}{\tilde{\sigma}_2^2} + \frac{1}{\tilde{\sigma}_3^2}} = \frac{\frac{1}{0,2^2}}{\frac{1}{0,04^2} + \frac{1}{0,16^2} + \frac{1}{0,2^2}} = 0,0363.$$

Средневзвешенное





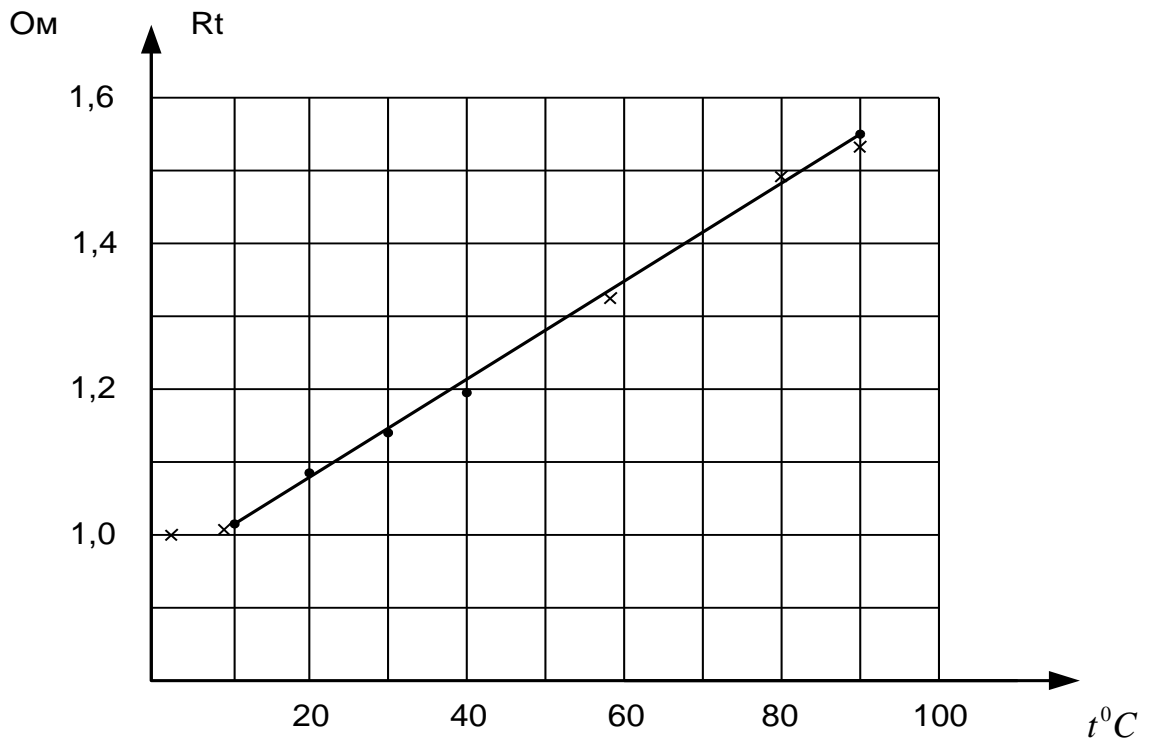


Рис. 3.10 Экспериментальная зависимость  $R_t = f(t)$

Следовательно, необходимо определить параметры  $R_0, C_1$  и  $C_2$  указанной зависимости.

В соответствии с методом наименьших квадратов

$$\sum_{i=1}^{10} [R_i - R_0 - C_1 \cdot t_i - C_2 \cdot t_i^2]^2 = \min .$$

Исходя из этого условия, дифференцируя эту функцию по  $R_0$ , а затем по  $C_1$  и  $C_2$ , получим систему из трех уравнений

$$\begin{cases} -2 \sum_{i=1}^{10} [R_i - R_0 - C_1 \cdot t_i - C_2 \cdot t_i^2] = 0, \\ -2 \sum_{i=1}^{10} [R_i - R_0 - C_1 \cdot t_i - C_2 \cdot t_i^2] \cdot t_i = 0, \\ -2 \sum_{i=1}^{10} [R_i - R_0 - C_1 \cdot t_i - C_2 \cdot t_i^2] \cdot t_i^2 = 0. \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} 10 \cdot R_0 + C_1 \sum_{i=1}^{10} t_i + C_2 \cdot \sum_{i=1}^{10} t_i^2 = \sum_{i=1}^{10} R_i, \\ R_0 \cdot \sum_{i=1}^{10} t_i + C_1 \sum_{i=1}^{10} t_i^2 + C_2 \sum_{i=1}^{10} t_i^3 = \sum_{i=1}^{10} t_i^2 \cdot R_i, \\ R_0 \sum_{i=1}^{10} t_i^2 + C_1 \sum_{i=1}^{10} t_i^3 + C_2 \sum_{i=1}^{10} t_i^4 = \sum_{i=1}^{10} t_i^3 \cdot R_i. \end{cases}$$

Решив эту систему относительно  $R_0, C_1$  и  $C_2$  определим их числовые значения:

$$R_0 = 1.031; C_1 = 2.523 \cdot 10^{-3}; C_2 = 3.713 \cdot 10^{-5}; \alpha = \frac{C_1}{R_0} = 2.446 \cdot 10^{-3}; \beta = \frac{C_2}{R_0} = 3.6 \cdot 10^{-5}.$$

Таким образом,

$$R_i = 1.031 + 2.523 \cdot 10^{-3} \cdot t + 3.713 \cdot 10^{-5} \cdot t^2.$$

**Контроль усвоения материала** – задачи для самостоятельного решения, которые используются и для контроля знаний:

Для каждого варианта в табл. 1 указаны: измеряемая величина, число измерений и доверительная вероятность, а в табл. 2 результаты измерений.

Требуется определить:

1. Наиболее достоверное значение измеряемой величины.
2. Среднеквадратическую погрешность ряда измерений.
3. Среднеквадратическую погрешность среднеарифметического.
4. Доверительный интервал при данной доверительной вероятности.
5. Предельную и относительную погрешность найденного значения измеряемой величины.

Результат измерения представить по ГОСТу в форме:

$$X; \Delta \text{ от } \Delta_1 \text{ до } \Delta_2; P.$$

6. Ответить на вопрос: Что позволяет оценить величины, определенные в п. 2 и п. 3.

Таблица 1

№ варианта	Измеряемая величина	Единица измерения	Число измерений	Доверительная вероятность
1	R	Ом	2	0,8
2	U	В	25	0,2
3	I	А	23	0,5
4	C	пФ	24	0,3
5	L	мкГн	3	0,8
6	P	Вт	25	0,95
7	M	мкГн	5	0,99
8	f	кГц	22	0,4
9	I	мА	3	0,9
10	U	мВ	6	0,99
11	R	Ом	3	0,8
12	L	мГн	4	0,7
13	C	мкФ	2	0,9
14	M	мГн	5	0,8
15	P	Вт	21	0,6
16	f	Гц	20	0,95
17	M	мГн	4	0,8
18	P	Вт	20	0,99
19	R	Ом	21	0,9
20	I	А	3	0,5
21	C	пФ	24	0,8
22	f	кГц	25	0,4
23	L	мкГн	12	0,7
24	U	В	11	0,8
25	I	А	15	0,2
26	f	кГц	4	0,8
27	U	мВ	18	0,5

28	C	мкФ	3	0,95
29	L	мГн	3	0,99
30	P	Вт	16	0,5
31	M	мГн	9	0,95
32	R	Ом	5	0,8
33	P	Вт	25	0,7
34	f	кГц	10	0,6
35	C	пФ	13	0,3
36	U	мВ	14	0,8

Таблица 2

Номер	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
измерения											
Результат	5,04	4,97	5,03	5,01	5,07	4,98	4,96	5,01	5,06	4,95	4,94
измерения											

Продолжение табл. 2

Номер	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
измерения											
Результат	5,03	4,97	4,98	5,02	4,92	4,95	5,06	5,04	5,06	5,05	5,01
измерения											

Продолжение табл. 2

Номер	23	24	25	26
измерения				
Результат	5,07	5,09	5,08	5,09
измерения				