

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
**Федеральный исследовательский центр**  
**«Кольский научный центр Российской академии наук»**  
**(ФИЦ КНЦ РАН)**

Утверждаю  
Заместитель председателя ФИЦ КНЦ РАН  
по научно-инновационной деятельности,  
Д. Г.-м. н.



Г.Ю. Иванюк

«03» апреля 2018 г.

**ПРОГРАММА**  
**ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

образовательная программа высшего образования – программа подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки кадров высшей квалификации **13.06.01 Электро- и теплотехника** (профиль подготовки – **05.14.12 Техника высоких напряжений**)

Апатиты  
2018

## 1. Назначение и область применения

Настоящий документ содержит программу вступительного испытания для поступления в аспирантуру ФИЦ КНЦ РАН по специальной дисциплине «Техника высоких напряжений» по направлению подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника (профиль подготовки 05.14.12 Техника высоких напряжений), включающую нормативные документы, методические рекомендации, критерии оценки знаний, основные разделы программы и литературу, необходимую для подготовки к вступительным испытаниям.

## 2. Нормативные документы

- Приказ Министерства образования и науки России от 12.01.2017 г. № 13 «Об утверждении Порядка приема на обучение по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре».
- Федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования по программам специалитета и (или) программам магистратуры.

## 3. Методические рекомендации по сдаче вступительного экзамена в аспирантуру

Поступающие в аспирантуру должны продемонстрировать:

- глубокие теоретические знания в области избранной научной дисциплины;
- достаточно полное представление об источниках, фундаментальных работах и последних достижениях науки в данной области;
- способность ориентироваться в дискуссионных проблемах избранной отрасли науки;
- способность владением понятийно-исследовательским аппаратом применительно к области специализации;
- умение логично, аргументировано излагать материал.

## 4. Критерии оценки знаний

Вступительные испытания в аспирантуру по направлению 13.06.01 Электро- и теплотехника проводится в форме беседы по трем вопросам программы, выбранным экзаменационной комиссией:

Ответ оценивается по пятибалльной системе.

Баллы	Критерий выставления оценки
5	Демонстрация отличных знаний по заданному вопросу. Умение иллюстрировать теоретические положения эскизами, графиками, формулами. Широкий кругозор по обсуждаемым вопросам.
4	Демонстрация твердых знаний по заданному вопросу. Наличие мелких неточностей в ответе и в иллюстративном материале.
3	Неплохое знание вопроса, но с заметными ошибками.
2	Слабое знание и понимание рассматриваемого вопроса, со значительными ошибками

## 5. Основные разделы программы

### 1. Теория электрических разрядов

Элементарные процессы в газах. Автоэлектронная и фотоэлектронная эмиссия. Движение заряженных частиц в газе при наличии электрического поля. Возбуждение и ионизация атомов и молекул. Сечение столкновения, длина пробега. Термическая ионизация. Фотоионизация. Ударная ионизация. Образование и развал отрицательных ионов. Рекомбинация. Диффузия. Основы физики плазмы. Квазинейтральность. Дебаевский радиус. Равновесная и неравновесная плазма. Электропроводность плазмы.

Развитие электрического разряда в газах. Лавина электронов. Коэффициент Таунсенда. Условие самостоятельности разряда. Разряд в однородном поле. Законы Пашена и подобия. Разряд в сильно неоднородном поле. Лавинная, стримерная, лидерная формы разряда. Развитие разряда в длинных воздушных промежутках. Зависимость пробивного напряжения от типа воздействующего напряжения, длины промежутка, степени неоднородности электрического поля, параметров окружающей среды. Разброс пробивных напряжений. Коронный разряд при различных видах воздействующего напряжения. Начальная напряженность и напряжение. Распределение поля при униполярном коронном разряде. Потери на корону при переменном напряжении. Развитие разряда при импульсных напряжениях. Время разряда. Вольт-секундные характеристики. Разряд в газе по поверхности твердого диэлектрика. Влияние расположения диэлектрика в промежутке. Стримерный и скользящий разряды по поверхности диэлектрика. Разряд по загрязненной и увлажненной поверхности. Разряд в газе при повышенном и пониженном давлениях. Высокопрочные и электроотрицательные газы. Механизм вакуумного пробоя. Проводимость жидких диэлектриков в электрическом поле. Подвижность носителей зарядов. Диссоциация, эмиссия электронов. Ток проводимости. Предразрядные процессы и пробой жидкости. Влияние примесей, материала электродов, температуры и давления. Развитие импульсного разряда в жидкости. Проводимость твердых диэлектриков. Ионная и электронная проводимость. Процессы эмиссии носителей зарядов. Формы пробоя твердых диэлектриков. Влияние формы и размеров электродов, вида воздействующего напряжения, длительности воздействия напряжения. Тепловой пробой твердых диэлектриков. Скользящий разряд по поверхности твердых диэлектриков в жидкости.

## **2. Грозовые перенапряжения и защита от них**

Электричество атмосферы. Глобальная электрическая цепь. Электрические характеристики «ясной погоды». Электрические характеристики различных типов облаков. Механизмы электризации частиц в облаках. Теория грозы. Физическая картина разряда молнии. Характеристики разрядов молнии. Интенсивность грозовой деятельности. Грозозащитные заземления. Стационарное и импульсное сопротивления заземлителей. Молниезащита линий электропередачи. Методика определения удельного числа отключений линий в связи с ударами молнии. Удар молнии в линию без тросов. Удар молнии в линию, оснащенную тросами. Основные принципы молниезащиты воздушных линий. Защита подстанций от прямых ударов молний. Зоны защиты молниеотводов. Защита оборудования подстанций от набегающих волн атмосферных перенапряжений. Защитный подход. Методика оценки грозоупорности подстанций. Средства защиты и допустимое число отключений в год. Волновые процессы в обмотках трансформаторов, автотрансформаторов и реакторов. Молниезащита трансформаторов и вращающихся машин.

## **3. Внутренние перенапряжения в электрических системах и их ограничения**

Основные виды коммутационных перенапряжений и средства по их ограничению. Перенапряжения при коротких замыканиях на линии и при их отключении. Перенапряжения, возникающие при автоматическом повторном включении линии (АПВ). Средства ограничения. Перенапряжения при отключении холостых трансформаторов. Перенапряжения при работе вакуумных выключателей. Средства ограничения. Особенности защиты от перенапряжений в электропередачах с продольной и поперечной компенсацией и в настроенных электропередачах. Дуговые перенапряжения в сетях с неэффективным заземлением нейтрали. Влияние режима заземления нейтрали сети на развитие дуговых перенапряжений. Средства заземления нейтрали. Установившиеся перенапряжения в электрических сетях высокого

напряжения. Влияние емкостного эффекта, насыщения стали трансформаторов, коронного разряда и подключенных реакторов на напряжение промышленной частоты. Перенапряжения при несимметричных коротких замыканиях на воздушных линиях. Феррорезонансные перенапряжения. Основные факторы, определяющие влияние линий электропередачи на техносферу и биосферу. Влияние электромагнитных полей на человека. Средства защиты.

#### **4. Изоляционные конструкции высокого напряжения**

Координация изоляции устройств высокого напряжения. Технико-экономический подход к выбору основных параметров изоляции на основе минимума приведенных затрат. Изоляция воздушных линий электропередачи. Разрядные характеристики линейных изоляторов и гирлянд при напряжении промышленной частоты, коммутационных и грозовых импульсах напряжения. Выбор типа и числа изоляторов в гирлянде. Воздушные промежутки и изоляции линий, регулирование электрических полей, применение расщепленных проводов. Разрядные характеристики типовых воздушных промежутков с учетом влияющих факторов. Методика выбора воздушных промежутков. Внешняя изоляция распределительных устройств. Методика выбора и способы повышения надежности работы изоляции. Разрядные характеристики промежутков, характерных для закрытых распределительных устройств с элегазовой изоляцией при различных формах действующего напряжения и давления. Влияние качества обработки электродов, наличия твердых частиц. Выбор изоляционных расстояний с учетом электрической прочности расporок. Электрическая прочность внутренней изоляции. Кратковременная электрическая прочность внутренней изоляции. Длительная электрическая прочность внутренней изоляции. Основные факторы, определяющие старение изоляции в процессе эксплуатации. Электрическое старение, частичные разряды в изоляции. Начальные и критические частичные разряды в бумажно-масляной изоляции. Особенности частичных разрядов в твердой изоляции на основе пластмасс. Тепловое старение и окисление изоляции. Зависимость скорости теплового старения от температуры. Зависимость электрической прочности изоляции от увлажнения. Ресурс изоляции. Обобщенные зависимости срока службы от напряженности и температуры, влияние интенсивности частичных разрядов. Методика выбора рабочей напряженности. Основы конструирования внутренней изоляции. Характерные формы электрических полей в изоляционных конструкциях и методы их регулирования. Краевой эффект. Применение комбинированных диэлектриков с различной диэлектрической проницаемостью. Полупроводящие покрытия, применение экранов. Основы теплового расчета изоляционных конструкций. Тепловой пробой. Изоляция силовых трансформаторов. Кратковременная электрическая прочность маслобарьерной изоляции. Частичные разряды в силовых трансформаторах. Допустимые рабочие и испытательные напряженности в маслобарьерной изоляции. Конструкция изоляции. Расчеты главной продольной изоляции и отводов. Конструкция и расчет проходных изоляторов. Изоляция трансформаторов тока и напряжения. Изоляция силовых конденсаторов. Кратковременная и длительная электрическая прочность конденсаторной изоляции. Элегазовые изоляционные конструкции электрооборудования энергосистем: комплектных распределительных устройств, измерительных трансформаторов, выключателей. Изоляция силовых кабелей. Кабели с вязкой пропиткой. Маслонаполненные кабели. Конструкции соединительных и концевых муфт. Кабели с пластмассовой изоляцией. Кабели постоянного тока и импульсные. Изоляция электрических машин. Кратковременная и длительная прочность. Допустимые рабочие и испытательные напряженности.

#### **5. Эксплуатация и испытания изоляции установок высокого напряжения**

Методы испытания изоляционных конструкций повышенным напряжением промышленной частоты и импульсами. Измерения тангенса угла диэлектрических потерь. Методы измерения. Характерные зависимости от напряжения. Методы измерения характеристик частичных разрядов. Измерения характеристик частичных разрядов при рабочем напряжении в условиях эксплуатации. Контроль состояния изоляции по сопротивлению и по токам абсорбции. Емкостные методы контроля влажности изоляции. Неэлектрические метод контроля состояния изоляции. Анализ качества минерального масла. Хроматографический анализ газов. Ультразвуковая дефектоскопия. Тепловизионный контроль. Дефектоскопия линейной изоляции. Организация диагностики изоляции во время эксплуатации. Испытательные установки высокого переменного напряжения. Испытательные трансформаторы. Резонансные способы получения испытательных высоких напряжений промышленной частоты. Устройства для получения высоких постоянных напряжений. Методы и устройства для получения высоких импульсных напряжений. Методы получения грозовых и коммутационных испытательных импульсов. Измерение высоких напряжений. Электростатические вольтметры, шаровые разрядники. Делители напряжения. Устройства для измерения напряженности электрического поля.

## **6. Применение высоких напряжений в технологии**

Направления применения высоких напряжений в технологических процессах. Технологические процессы, основанные на силовом действии электрических полей на материалы. Зарядка частиц. Силы, действующие на частицы в электрических полях. Движение заряженных частиц. Коллективные процессы в заряженном аэрозоле. Применение коронного разряда. Очистка газов от частиц в электрофильтрах. Нанесение покрытий в электрическом поле. Электросепарация. Электропечать. Нейтрализация зарядов статического электричества. Обезвоживание нефтепродуктов. Электропечать. Плазмохимические реакции в газовом разряде. Электродинамические и магнитно-импульсные технологии.

### **Основная литература**

1. Техника высоких напряжений / Под ред. М.В. Костенко. М.: Высшая школа,
2. Костенко М.В., Перельман Л.С., Шкарин Ю.П. Волновые процессы и электрические помехи в многопроводных линиях высокого напряжения. М.: Энергия, 1973.
3. Анализ надежности грозозащиты подстанций // М.В. Костенко, Б.В. Ефимов, И.М. Зархи, Н.И. Гумерова. Л.: Наука, 1981.
4. Перенапряжения и защиты от них в воздушных и кабельных электропередачах высокого напряжения / М.В. Костенко, К.П. Кадомская, М.Л. Левинштейн, Б.В. Ефимов. Л.: Наука, 1988.
5. Техника высоких напряжений: Изоляция и перенапряжения в электрических системах: Учебник для ВУЗов / В.В. Базуткин, В.П. Ларионов, Ю.С. Пинтель. М.: Энергоатомиздат, 1986.
6. Куффель Е., Цаенгль В., Куффель Дж. Техника и электрофизика высоких напряжений. Пер. с англ.: Учебно-справочное руководство.- Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2011.- 520 с.

### **Дополнительная литература**

1. Александров Г.Н., Ершевич В.В., Крылов СВ. и др. Проектирование линий электропередачи сверхвысокого напряжения, Л.: Энергоатомиздат, 1983. - 368 с. 6. Александров Г.Н. Установки сверхвысокого напряжения и охрана окружающей среды: Учеб. пособие для вузов. Л.: Энергоатомиздат, 1989.
2. Александров Г.Н., Ершевич В.В., Крылов СВ. и др. Проектирование линий электропередачи сверхвысокого напряжения, Л.: Энергоатомиздат, 1983. - 368 с. 6. Александров Г.Н. Установки сверхвысокого напряжения и охрана окружающей

среды: Учеб. пособие для вузов. Л.: Энергоатомиздат, 1989.

3. Гиндулин Ф. Х., Гольдштейн В. Г., Дульзон А. А., Халилов Ф. Х.

4. Гиндулин Ф. Х., Гольдштейн В. Г., Дульзон А. А., Халилов Ф. Х.

Перенапряжения в сетях 6-35 кВ. - М.: Энергоатомиздат, 1986

5. ГОСТ 1516.3-96 Электрооборудование переменного тока на напряжение от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции.- М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998.-50с

6. Гумерова Н.И., Ефимов Б.В. Переходные процессы в энергетическом оборудовании высокого напряжения и их анализ: учебное пособие. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. - 154 с.

7. Курец В.И., Усов А.Ф., Цукерман В.А. Электроимпульсная дезинтеграция материалов - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. - 324 с.

8. Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. Л.: Энергия, 1979.- 224 с.

9. Кучинский Г.С., Кизеветтер В.Е., Пинталь Ю.С. Изоляция установок высокого напряжения. Учеб. для вузов / М.: Энергоатомиздат, 1987

10. Кучинский Г.С., Кизеветтер В.Е., Пинталь Ю.С. Изоляция установок высокого напряжения. Учеб. для вузов / М.: Энергоатомиздат, 1987

11. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники: Учебник для ВУЗов. - 3-е изд. Л.: Энергоатомиздат, 1981. Т.2.

12. Пак В.М., Трубачев С.Г. Новые материалы и системы изоляции высоковольтных электрических машин/ Под ред. Пака В.М.- М.: Энергоатомиздат, 2007.- 416 с.

Перенапряжения в сетях 6-35 кВ. - М.: Энергоатомиздат, 1986

13. РД 153-34.3-35 .125-99 Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений / Под научной редакцией Н.Н. Тиходеева. - 2-ое издание. - Санкт- Петербург: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999. 353 стр.

14. Техника высоких напряжений / Под ред. Г. С. Кучинского. - СПб.: Энергоатомиздат, СПбО, 2003

15. Техника высоких напряжений / Под ред. Г. С. Кучинского. - СПб.: Энергоатомиздат, СПбО, 2003

16. Электрофизические основы техники высоких напряжений: Учеб. для вузов/ И.М. Бортник, ИЛ. Верещагин, Ю.Н. Вершинин и др.; Под ред. ИЛ . Верещагина, ВЛ. Ларионова. М: Энергоатомиздат, 1993.

17. Электрофизические, основы техники высоких напряжений: Учеб. для вузов / И.М. Бортник, ИЛ. Верещагин, Ю.Н. Вершинин и др.; Под ред. ИЛ . Верещагина, ВЛ. Ларионова. М: Энергоатомиздат, 1993.