**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**

**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

|  |  |
| --- | --- |
|  | **УТВЕРЖДАЮ**  Директор ЭНИН  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Завьялов В.М.  «\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2014 г. |

# **ПРОГРАММА-МИНИМУМ**

кандидатского экзамена по профилю

**05.09.02 Электротехнические материалы и изделия**

## Основная образовательная программа подготовки аспиранта

## по направлению 13.06.01 Электро- и теплотехника

## 

Томск 2014

**Введение**

Программа составлена с опорой на дисциплины направления «электроэнергетика и электротехника», связанные с особенностями анализа физико-химических свойств и параметров электротехнических материалов и синтеза технических изделий как компонентов электроэнергетического, электротехнического и радиоэлектронного оборудования. Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии по энергетике, электрификации и энергетическому машиностроению при участии МЭИ (ТУ) и ВНИИКП.

1. **Роль электротехнического материаловедения в научно-техническом прогрессе**

*Классификация* электротехнических материалов как природных, так и синтетических. Задачи, решаемые в электроэнергетическом, электротехническом и радиоэлектронном оборудовании использованием электроизоляционных материалов. Определяющая роль материаловедения в названиях эпох и периодов развития человечества.

*Физические свойства* электроизоляционных материалов, определяющие эффективность их *использования по назначению*. *Электрические, магнитные, механические и температурные параметры электроизоляционных материалов*, их устойчивость к внешним (атмосферным) воздействиям и времени эксплуатации. Особенности технологии производства электроизоляционных материалов и методов их утилизации.

1. **Электроизоляционный материал в эксплуатационном режиме работы**

*Структурные* и *физические процессы*, сопровождающие взаимодействие электроизоляционного материала с динамическими параметрами среды использования. Аналитические и численные *методы анализа и оценки устойчивости параметров* электроизоляционного материала к воздействиям электрических и магнитных полей, механических напряжений, изменению температурного поля. *Методы стабилизации параметров* электроизоляционных материалов и оптимизации их рабочих режимов в изделиях.

1. **Технология производства электроизоляционных материалов,**
2. **полуфабрикатов и изделий**

Характеристика физико-химических процессов, сопровождающих процесс изготовления электроизоляционных материалов, полуфабрикатов и изделий. Методики и математические *модели управления параметрами* электроизоляционных материалов в технологическом процессе их производства. Основные технологические процессы, используемые в производстве электроизоляционных материалов, полуфабрикатов, изделий изоляционной, кабельной и конденсаторной техники.

1. **Контроль свойств электроизоляционных материалов и изделий**

*Контролируемые параметры* электроизоляционных материалов и изделий, оптимальные для *создания баз данных* и прогнозирования рынка сбыта. Методы контроля параметров электроизоляционных материалов, особенности *методов контроля* изделий изоляционной, кабельной и конденсаторной техники. Виды контрольных (в том числе типовых) испытаний на соответствие параметров готовой продукции стандартам и техническим условиям.

Методы регистрации параметров электроизоляционных материалов на стадии инженерных разработок материалов, тенденции в развитии методов регистрации и измерительных комплексов. *Автоматизация процессов контроля* и информационно-измерительные системы в электроизоляционной, кабельной и конденсаторной технике.

1. **Надежность и долговечность электроизоляционных, кабельных и**

**конденсаторных изделий**

Методы исследования *надежности* и *долговечности* изоляционных материалов, кабельных и конденсаторных изделий. *Типовые испытания* на надежность и долговечность изделий, особенности переноса результатов типовых испытаний на прогноз работоспособности изделий в эксплуатации и гарантийные обязательства.

Анализ физических процессов, приводящих к ослаблению или полной утрате эксплуатационных параметров (отказу) изоляционных материалов, кабельных и конденсаторных изделий. Математические *модели отказов*. Количественные характеристики надежности.

Особенности изучения количественных характеристик надежности по статистическим сведениям, полученным из эксплуатации изоляционных, кабельных и конденсаторных изделий. Предпочтительная область использования сведений о надежности, полученной по результатам эксплуатации изделий.

1. **Функциональные свойства и области применения изоляционных,**

**кабельных и конденсаторных изделий**

Изоляционные, кабельные и конденсаторные изделия как составные части электроэнергетического, электротехнического и радиотехнического оборудования, их классификация по составу конструктивных элементов, материалам, назначению, области применения.

Основные параметры, определяющие функциональную эффективность использования различных типов изоляционных, кабельных и конденсаторных изделий, предельные и функционально оптимальные значения параметров.

Технические, экономические, экологические и др. критерии оптимальности, используемые для оценки качества изоляционных, кабельных и конденсаторных изделий. Научные и технические направления совершенствования свойств материалов, полуфабрикатов и изделий в электроизоляционной, кабельной и конденсаторной технике.

**Основная литература**

1. Павлов В.П., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. – М.: Высшая школа, 2000. –494 с.

2. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы. Учебник. –Л.: Энергоатомиздат, 1985. –367 с.

3. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники. Учебник. –СПб.: Издательство «Лань», 2001, -368 с.

4. Электрофизические основы техники высоких напряжений. Учебник. Бортник И.М., Верещагин И.П., Вершинин Ю.Н. и др./ под ред. Верещагина И.П., Ларионова В.П.. –М.: Энергоатомиздат, 1993. –543 с.

5. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов. –М.: Энергоиздат, 1982. –320 с.

6. Кучинский Г.С., Кизеветтер В.Е., Пинталь Ю.С. Изоляция установок высокого напряжения. Учебник. –М.: Энергоатомиздат, 1991. –368 с.

7. Основы кабельной техники Привезенцев В.А., Гроднев И.И., Холодный С.Д., Рязанов И.Б. под ред. Привезенцева В.А.. –М.: Энергия, 1975. 472 с.

8. Ларина Э.Т. Силовые кабели и линии. Учебник. –М.: Энергоатомиздат, 1996. –464 с.

9. Пешков И.Б. Обмоточные провода. Учебник. –М.: Энергоатомиздат, 1995. 416 с.

10. Ренне В.Т. Электрические конденсаторы. –Л.: Энергия, 1969. –592 с.

11. Преображенский А.А., Бишард Е.Г. Магнитные материалы и элементы. Учебник. –М.: Высшая школа, 1986. –352 с.

12. Бернштейн Л.М. Изоляция электрических машин общего назначения. –М.: Энергоиздат, 1981. –376 с.

13. Холодный С.Д. Технологическая термообработка изоляции кабелей и проводов. –м.: МЭИ, 1994. –200 с.

14. Фистуль В.И. Новые материалы. Состояние. Проблемы. Перспективы. Учебное пособие. –М.: «МИСИС», 1995. –142 с.

15. Борисова М.Э., Койков С.Н. Физика диэлектриков. –Л.: Изд-во ЛГУ, 1979. –240 с.

16. Холодный С.Д. Методы испытаний и диагностики кабелей и проводов. –М.: Энергоатомиздат, 1991. –200 с.

17. Лущейкин Г.А. Методы исследования электрических свойств полимеров. –М.: Химия, 1988. –160 с.

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

**Дополнительная литература**

1. Дульнев Г.Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. Учебник. –М.: Высшая школа, 1984. 247 с.

2. Гороховатский Ю.А., Бордовский Г.А. Термоактивационная токовая спектроскопия высокоомных полупроводников и диэлектриков. –М.: Наука, 1991. –376 с.

3. Кучинский Г.С., Назаров Н.И. Силовые электрические конденсаторы. –М.: Энергоатомиздат, 1992. –320 с.

4. Кингери У.Д. Введение в керамику. –М.: Стройиздат, 1967. –500 с.

5. Электрические изоляторы. Костюков Н.С., Минаков Н.В., Князев В.А. / под ред. Костюкова Н.С.. –М.: Энергоатомиздат, 1984. 296 с.

7. Электрические свойства полимеров. /Под ред. Сажина Б.И.. –Л.: Химия, 1986. 224 с.

9. Ренне В.Т. Пленочные конденсаторы с органическим синтетическим диэлектриком. –Л.: Энергия, 1971. –239 с.

11. Ануфриев Ю.А., Гусев В.Н., Смирнов В.Ф. Эксплуатационные характеристики и надежность электрических конденсаторов. –М.: Энергия, 1976. –224 с.

**Региональный и вузовский компоненты**

Специальные дополнительные требования к кандидатскому экзамену формируется соискателю научным руководителем в зависимости от выбранного направления научных исследований, содержание которых изложено ниже.

Направления и темы научных исследований ТПУ по специальности 05.09.02, предлагаемые для диссертационных работ.

1. **Методология научных исследований**

В настоящее время наука стремится к интеграции, в этом стремлении она проходит четыре этапа. Первый тип единства знаний - возникновение новых дисциплин (семиотика, кибернетика и т.д.), второй путь можно назвать методологической экспансией – перенос методологии одной специальной науки на другие, третий тип стремления к единству научного знания обличен в концептуальную форму и связан с фундаментальными понятиями, которые первоначально возникают в сфере естественного языка и включаются затем в систему философских категорий, четвертый тип единства научных знаний является результатом последовательного развития концептуального единства науки и состоит в разработке единой философской методологии. В стремлении науки к интеграции основным методом достижения цели является системный анализ.

Сущность принципа системного подхода (анализа), технология применения системного анализа к решению сложных задач: формулировка проблемной ситуации; определение целей; определение критериев достижения целей; построение [моделей](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C) для обоснования решений; поиск оптимального (допустимого) варианта решения; согласование решения; утверждение решения; управление ходом реализации решения; проверка эффективности решения. Основные понятия и методы прикладного системного анализа, системность нашего познания окружающего мира.

### Требования к моделям, разновидности моделей - эвристические, вербальные физические, математические, связь физических и математических моделей. [Математические модели](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C) представляют собой совокупность взаимосвязанных математических и формально-логических выражений, как правило, отображающих реальные процессы и явления (физические, психические, социальные и т. д.). По форме представления [математические модели](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C) делятся на:

- аналитические модели, их решения ищутся в замкнутом виде, в виде функциональных зависимостей. Удобны при анализе сущности описываемого явления или процесса и использовании в других математических моделях, но отыскание их решений бывает весьма затруднено;

- численные модели, их решения — дискретный ряд чисел, модели универсальны, удобны для решения сложных задач, но не наглядны и трудоемки при анализе и установлении взаимосвязей между параметрами. В настоящее время такие модели реализуют в виде программных комплексов — пакетов программ для расчета на компьютере. [Программные комплексы](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) бывают прикладные, привязанные к предметной области и конкретному объекту, явлению, процессу, и общие, реализующие универсальные математические соотношения (например, расчет системы алгебраических уравнений);

- формально-логические[информационные модели](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C) — это модели, созданные на формальном языке.

Модель как способ существования знаний. Проблемная ситуация и связь ее с системой. Модель структуры системы, которая описывает существенные связи между элементами (компонентами модели состава). Система как средство достижения цели. Принятие решений при многокритериальной оптимизации.

Декомпозиция и агрегирование как процедуры системного анализа. Анализ и синтез в системных исследованиях. Модели систем как основания декомпозиции. Алгоритмы декомпозиции. Построение дерева целей для решения проблемы. Формы агрегирования, претворение в жизнь результатов системных исследований.

1. **Надежность электроизоляционных и кабельных систем**

Исследование показатели надежностиэлектроизоляционных и кабельных систем: безотказность, ремонтопригодность, долговечность, сохраняемость. Показатели безотказности – вероятность безотказной работы, средняя наработка на отказ, вероятность не возникновения отказа; долговечности - назначенный ресурс, назначенный срок службы, гамма процентный ресурс, средний ресурс, гамма процентный срок службы, средний срок службы. Факторы внешней среды - требования, предъявляемые потребителем; требования, установленные законами Российской Федерации и государственными стандартами.

Использование методов определения количественных показателей надежности электроизоляционных систем - метод аналогов и расчетный метод, причины возникновения отказов: ресурсный, зависимый отказ, независимый отказ, внезапный, постепенный, скрытый отказ, конструктивный, производственный, эксплуатационный и деградационный. Распределения случайных величин, имеющих наибольшее значение для решения задач надежности электроизоляционных и кабельных систем (ЭИ и КС).

Состав информации о надежности ЭИ и КС: сведения о всех отказах и неисправностях; времени, месте и условиях обнаружения отказов и неисправностей; суммарной наработке, продолжительности и условиях хранения, транспортирования изделий; анализ причин возникновения отказов и неисправностей, принятых мерах по их устранению. Гистограммы и диаграммы для оценки видов деятельности при обеспечении надежности. Система сбора, обработки и прохождения информации о надежности. Генеральная совокупность. Проверка гипотезы о соответствии эмпирического и теоретического распределений. Методы определения доверительных границ для параметров законов распределения случайных величин.

Расчетные методы показателей надежности при проектировании и изготовлении ЭИ и КС. Методы структурных и логических схем, расчетно-экспериментальный и экспериментальные методы. Оценка показателей надежности ЭИ и КС по экспериментальным данным и результатам эксплуатации.

1. **Качество электроизоляционных систем**

Система управления качеством при изготовлении кабельных изделий и электроизоляционных систем. Оценка технического уровня систем изоляции в электротехнической промышленности. Менеджмент качества. Стандарты ИСО и их применение в электротехнической промышленности.

Современные технологические процессы изготовления систем изоляции электрических машин и кабельных изделий, пути их совершенствования. Ресурсосбережение при проектировании и изготовлении изделий электротехники.

Исследования качества электроизоляционных систем путем применения методов системного подхода, планирования эксперимента, оптимизации, моделирования и современных ЭВМ.

Особенности проектирования электроизоляционных систем с учетом заданного уровня качества и надежности. Технологические погрешности при изготовлении электроизоляционных систем, способы их определения, законы распределения и методы моделирования.

Информационная поддержка этапов жизненного цикла изделий. CALS-технологии. Обзор CALS-стандартов. Стандарты управления качеством промышленной продукции.

1. **Математическое обеспечение синтеза проектных решений**

Постановка задач параметрического синтеза электроизоляционных систем. Место процедур синтеза в проектировании. Критерии оптимальности. Задачи оптимизации с учетом ограничений. Обзор методов оптимизации. Классификация методов математического программирования. Методы одномерной оптимизации. Методы безусловной оптимизации. Необходимые условия экстремума. Методы поиска условных экстремумов. Постановка задач структурного синтеза. Процедуры синтеза проектных решений. Задача принятия решений. Методы структурного синтеза в системах автоматизированного проектирования электроизоляции.

1. **Моделирование электромагнитных полей при проектировании магнитно-импульсных прессов и других устройств, работа которых основана на использовании мощных ЭМ-полей**

Моделирование электромагнитных полей как составляющая САПР электроизоля ционных систем. Математические модели магнитостатического, стационарного и переменного магнитного поля. Численные методы расчета электромагнитных полей: метод зубцовых контуров (МЗК); метод вторичных источников; метод граничных элементов (МГЭ); метод конечных разностей (МКР) и метод конечных элементов (МКЭ). Использование программных продуктов ANSYS, ELCUT, MATLAB в расчетах магнитных и электрических полей электротехнических изделий. Моделирование с помощью программы COMSOL Multiphysics процесса прессования порошков в радиальном магнитно-импульсном прессе.

1. **Новые идеи материаловедения при проектировании электроизоляционных систем электротехнических устройств**

- Выбор технологического и испытательного оборудования для производства электротехнических материалов и изделий из них, обеспечивающих применение инновационных идей современного материаловедения;

- Использование основ теории электрической изоляции при решении задач проектирования электроизоляционных систем в электротехнических устройствах;

- Применение математических моделей и программных комплексов для численного анализа физических процессов в электрической изоляции;

- Программное, лингвистическое аппаратурное обеспечение систем автоматизированного проектирования электрической изоляции;

- Разработка и применение логических методов анализа рисков отказов при усовершенствовании методов расчета показателей надежности и долговечности электрической изоляции;

- Разработка методов расчета параметров технологического и испытательного оборудования, предназначенного для производства и ремонта электротехнических и радиоэлектpонных материалов, изоляции электроэнергетического, электротехнического и радиоэлектронного оборудования, кабелей и проводов;

1. **Нанокерамика: технология, структура, свойства**

- Разработка устройств для эффективного компактирования наноразмерных металлических, оксидных, нитридных, углеродных порошков;

- Создание технологического оборудования для реализации методов и средств активированного спекания порошковых компактов;

- Исследование структуры и свойств оксидной нанокерамики

- Отработка оптимальной технологии получения нанокерамики;

- Исследование структуры и свойств нитридной, диопсидовой керамики;

- Изучение углеродных структур – феллеренов, нанотрубок;

- Твердотельные топливные элементы на основе диоксида циркония;

- Модифицирование и спекание керамики с использованием искровых разрядов и плазменных технологий.

1. **Использованиесовременных композиционных материалов**

Методы расчета электрических, прочностных и тепловых свойств углеродных коллекторов, созданных на базе композиционных материалов и углеродных нанотрубок;

Конструкции якорей и якорных обмоток машин постоянного тока различной мощности. Конструкции коллекторов и щеточных узлов, созданных на базе композиционных материалов.

Применение новых композиционных материалов на основе антифрикционных графитов и углеродных волокон для коллекторов и контактных колец электрических машин. Особенности конструкций углеродных коллекторов. Особенности проектирования и расчета ресурса и долговечности электрических машин с коллекторами из углеродных материалов, содержащих нанотрубки.

Исследование композиций «нанопорошок - полимер» с целью поиска материалов, перспективных при разработке приборов и устройств электротехники.

**Основная литература**

1. Матялис А.П. Изоляция электрических машин, Томск, ТПИ, 1985. -95с.
2. Аникеенко В.М. Основы кабельной техники. –Томск: ТПУ, 2005.-290 с.
3. Гауэр Дж. Оптические системы связи. - М.: Радио и связь, 1989.
4. Гефле О.С. Кабели связи. - Томск: Изд.ТПУ, 1999.
5. Анненков Ю.М. Перспективные материалы и технологии. Электронная презентация курса лекций, библиотека ТПУ.
6. Михайлов М.М. Основы электротехнологий. Учеб. пособие. Томск, ТПУ, 1998, 234 с.
7. Михайлов М.М., Суржиков А.П., Анненков Ю.М., Меркулов В.И. Основы электротехнологий. Метод.указания к выполнению лаб-ных работ. Томск, ТПУ, 2000, 84 с.
8. Хазановский П.М. Надежность изоляции асинхронных двигателей низкого напряжения. –М.: Информэлектро, 1977. –46с.
9. Ваксер Н.М. Изоляция электрических машин. Л. –1985. –83с.
10. Анненков Ю.М. Основы электротехнологий. Учеб. пособие. Томск, ТПУ, 2006, 205 с.

# Анненков Ю.М. «Дефектообразование и массоперенос в ионных структурах при интенсивном облучении». Диссертация на соис. уч. степ. д.ф.м.н. 2002, Томск, 439с.

1. Ивашутенко А. С. Корундо-циркониевая нанокерамика, полученная с использованием высокоинтенсивных потоков энергии. Диссетрация на соискание уч. степени кандидата технич. наук, Томск, 20010г., 147с.
2. Акарачкин С. А., Анненков Ю. М., Ивашутенко А.С., Сивков А. А. Радиальный магнитно-импульсный пресс с совмещёнными схемами Θ- и Z-пинчей // Электричество – 2012. - №6. С. 25-29.

14. Электрофизические основы техники высоких напряжений. Учебник. Бортник И.М., Верещагин И.П., Вершинин Ю.Н. и др./ под ред. Верещагина И.П., Ларионова В.П.. –М.: Энергоатомиздат, 1993. –543 с.

15. Пешков И.Б. Обмоточные провода. Учебник. –М.: Энергоатомиздат, 1995. 416 с.

**Дополнительная литература**

1. Электрические изоляторы. Костюков Н.С., Минаков Н.В., Князев В.А. / под ред. Костюкова Н.С.. –М.: Энергоатомиздат, 1984. 296 с.

2. Тугов И.И., Костыркин Г.И. Химия и физика полимеров. Учебное пособие. –М.: Химия, 1991. –368 с.

3. Электрические свойства полимеров. /Под ред. Сажина Б.И.. –Л.: Химия, 1986. 224 с.

4. Ушаков В.Я. Изоляция высоковольтных установок –М.: Атомиздат, 1994. –496 с.

5. Койков С.Н., Цикин А.Н. Электрическое старение твердых диэлектриков и надежность диэлектрических деталей. –Л.: Энергия, 1968. –186 с.

ПРОГРАММА-МИНИМУМ кандидатского экзамена по специальности 05.09.02 «Электротехнические материалы и изделия» утверждена Приказом Минобразования и науки РФ от 17.02.2004 г. № 696

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА кандидатского экзамена по специальности 05.09.02 – Электротехнические материалы и изделия «Региональные компоненты» утверждена Решением научного технического Совета Электротехнического института от 12.03. 2014 г. Протокол №86

Составитель: научный руководитель программы аспирантской подготовки Леонов А.П.