



Федеральное агентство по рыболовству  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»  
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по НР  
Н.А. Кострикова  
18.05.2022

Рабочая программа дисциплины  
программы подготовки научных и научно-педагогических кадров  
в аспирантуре ФГБОУ ВО «КГТУ»

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ  
КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ**

Группа научных специальностей  
**2.4 Энергетика и электротехника**

Научная специальность

**2.4.2. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ**

**Отрасль науки: технические науки**

Институт морских технологий, энергетики и строительства

РАЗРАБОТЧИК	Кафедра энергетики
ВЕРСИЯ	1
ДАТА ВЫПУСКА	14.02.2022

## 1 ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины «**Математические методы исследования электротехнических комплексов и систем**» является изучение основных понятий, приемов и методов математического исследования процессов в электротехнических системах; формирование базовых знаний, умений и навыков для самостоятельного освоения различных технологий и программно-вычислительных комплексов.

## 2 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Дисциплина «**Математические методы исследования электротехнических комплексов и систем**» относится к образовательному компоненту «Факультатив» программы аспирантуры по научной специальности **2.4.2. Электротехнические комплексы и системы** и является базой для подготовки к кандидатскому экзамену и проведения научно-исследовательской деятельности.

## 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате изучения дисциплины «**Математические методы исследования электротехнических комплексов и систем**» аспирант должен:

### **Знать:**

- принципами математического описания электротехнических комплексов и систем;
- методы составления схем замещения электротехнических комплексов и систем и систем уравнений, описывающих процессы в этих системах;
- основы применения в электроэнергетических задачах численных методов решения систем алгебраических и дифференциальных уравнений;

### **Уметь:**

- практически применять в работе конкретный математический аппарат при исследованиях, проектировании и эксплуатации электротехнических комплексов и систем;

### **Владеть:**

- навыками составления схем замещения электротехнических комплексов и систем и расчета систем уравнений, описывающих процессы в этих схемах;
- методами математического и имитационного моделирования в научно-исследовательской деятельности;
- методами расчета установившихся режимов электротехнических комплексов и систем.

## 4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### **Тема 1. Общие сведения о математических методах исследования**

Задачи, возникающие при исследовании электротехнических комплексов и систем. Понятие математического моделирования. Математические задачи и компьютерное моделирование в электроэнергетике и электротехнике. Этапы построения и исследования математических моделей.

### **Тема 2. Построение математических моделей**

Основные допущения. Понятие о расчетных условиях. Система относительных единиц. Основные принципы составления схемы замещения. Особенности расчета в именованных и относительных единицах.

### **Тема 3. Характеристики и параметры элементов электротехнических комплексов и систем**

Математические модели электротехнических комплексов и систем, классификация моделей. Схемы замещения и математические модели линий электропередачи, трансформаторов и автотрансформаторов, токоограничивающих реакторов, синхронных и асинхронных машин. Задание нагрузок и систем при расчетах режимов.

### **Тема 4. Преобразование математических моделей**

Преобразование схем замещения. Приведение отдельных элементов электротехнических комплексов и систем к одной ступени напряжения. Особенности формирования математической модели при расчете коротких замыканий и установившихся режимов. Применение принципа наложения. Мощность короткого замыкания.

### **Тема 5. Уравнения узловых напряжений**

Схема замещения электрических систем. Формирование и матричная запись уравнений установившегося режима электрических систем. Уравнения узловых напряжений и их матричная запись. Матрица проводимостей. Электрическая сеть, как граф. Матрицы инцидентности. Использование матриц инцидентности при формировании и решении уравнений узловых напряжений.

### **Тема 6. Методы решения линейных уравнений узловых напряжений**

Прямые методы решения уравнений узловых напряжений. Метод Гаусса в алгебраической форме. Метод триангуляции матриц. Решение линейных уравнений узловых напряжений с помощью обратной матрицы. Итерационные методы решения уравнений узловых напряжений. Метод простой итерации. Условия сходимости в методе простой итерации. Метод Зейделя. Условия сходимости в методе Зейделя.

## **5 ОБЪЕМ (ТРУДОЕМКОСТЬ ОСВОЕНИЯ)**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, то есть 72 академических часа самостоятельной учебной работы аспиранта.

Распределение трудоемкости освоения дисциплины по семестрам ОП, темам и видам учебной работы аспиранта приведено ниже.

Самостоятельное освоение факультатива предусмотрено на втором году обучения, аттестация по факультативу не предусмотрена.

Рабочая программа дисциплины «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ»

Таблица 1 - Объем (трудоёмкость освоения) в очной форме обучения и структура дисциплины

Номер и наименование темы, вид учебной работы	Объем учебной работы, ч				
	Контактная работа			СР	Всего
	Лекции	ЛЗ	ПЗ		
<b>2 год обучения, трудоемкость – 2 ЗЕТ (72 час.)</b>					
Тема 1. Общие сведения о математических методах исследования	-	-	-	12	12
Тема 2. Построение математических моделей	-	-	-	12	12
Тема 3. Характеристики и параметры элементов электротехнических комплексов и систем	-	-	-	12	12
Тема 4. Преобразование математических моделей	-	-	-	12	12
Тема 5. Уравнения узловых напряжений	-	-	-	12	12
Тема 6. Методы решения линейных уравнений узловых напряжений	-	-	-	12	12
<b>Учебные занятия</b>	-	-	-	<b>72</b>	<b>72</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>не предусмотрено</b>				
<b>Итого по дисциплине</b>					<b>72</b>
<b>Итого по курсу</b>					<b>72</b>

*ЛЗ - лабораторные занятия, ПЗ – практические занятия, СР – самостоятельная работа*

## 7 САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Таблица 3 – Объем (трудоёмкость освоения) и формы СР

№ п/п	Виды (содержание) СР	Кол-во часов Очная форма	Формы контроля (аттестации)
1	Общие сведения о математических методах исследования	12	Самоконтроль
2	Построение математических моделей	12	Самоконтроль
3	Характеристики и параметры элементов электротехнических комплексов и систем	12	Самоконтроль
4	Преобразование математических моделей	12	Самоконтроль
5	Уравнения узловых напряжений	12	Самоконтроль
6	Методы решения линейных уравнений узловых напряжений	12	Самоконтроль
<b>Итого</b>		<b>72</b>	

Примерные тематики научно-исследовательских, творческих работ и рефератов:

1. Симплекс метод как метод линейного программирования
2. Общая постановка оптимизационных задач в энергетике
3. Опорный план – способы построения

4. Метод потенциалов как модификация транспортной задачи
5. Транспортная задача с учетом транзита мощности
6. Транспортная задача с учетом ограничения пропускной способности линий электропередачи
7. Критерии оптимальности структуры транспорта в транспортной задаче
8. Методы решения уравнений состояния электрической системы
9. Метод Гаусса с обратным ходом
10. Схема Жордана
11. Метод простой итерации
12. Метод Зейделя
13. Схема главной диагонали
14. Критерий сходимости и условие завершения итерационного процесса
15. Схема замещения как связанный граф
16. Первая матрица инцидентий
17. Узловое уравнение для схемы замещения
18. Матрица токов в разомкнутой схеме замещения
19. Матрица напряжений на ветвях
20. Разделение схемы замещения на дерево и хорды
21. Вторая матрица инцидентий
22. Разделении схемы на дерево и хорды
23. Разделение матриц инцидентий на блоки в соответствии с разделением схемы замещения на дерево и хорды
24. Получение матрицы контуров по матрице соединений
25. Свойства матрицы произведений
26. Независимые параметры режима – независимые токи и независимые значения напряжений на ветвях сложной схемы
27. Выражение напряжений на ветвях схемы с помощью уравнения закона Ома
28. Выражение токов в ветвях схемы с помощью уравнения закона Ома
29. Применение уравнений состояний для определения токов в ветвях сложной схемы
30. Обобщенное уравнение состояния

## **8 УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ АСПИРАНТА**

### **Основная литература:**

1. Моделирование в электроэнергетике [Электронный ресурс]: учеб.пособие / А.Ф. Шаталов, И. Воротников, М. Мастепаненко, и др. ; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Ставропольский государственный аграрный университет. - Ставрополь : Агрус, 2014. - 140 с. (ЭБС «Университетская библиотека онлайн»).

2. Костин, В.Н. Электроэнергетические системы и сети : учеб. пособие / В. Н. Костин. - Санкт-Петербург : Троицкий мост, 2015. - 304 с.

### **Дополнительная литература**

1. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592с.
2. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле: Учебник для вузов/ Л.А. Бессонов, 9-е изд. – М.: Гардарики, 2001. – 317 с.
3. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник для вузов/ Л.А. Бессонов, 9-е изд. – М.: Гардарики, 2001. – 638 с.
4. Мельников Н.А. Электрические сети и системы: учеб. / Н. А. Мельников, 2-е изд., стереотип. - Москва: Энергия, 1975. – 463 с.
5. Голубев М. Л. Методы расчета токов короткого замыкания в распределительных сетях. М.: Энергия, 1967. – 59 с. (ЭБС «Университетская библиотека онлайн»).
6. Короткие замыкания и несимметричные режимы электроустановок: учебное пособие для студентов вузов / И.П. Крючков, В.А. Старшинов, Ю.П. Гусев, М.В. Пираторов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 471 с.
7. Переходные процессы в электроэнергетических системах: учебник для вузов / И.П. Крючков, В.А. Старшинов, Ю.П. Гусев, М.В. Пираторов; под ред. И.П. Крючкова. – 2-е изд., стер.– М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 414 с.
8. Рекус Г.Г. Сборник задач и упражнений по электротехнике и основам электроники: учеб. пособие / Г.Г. Рекус, А.И. Белоусов. – изд. 2-е, перераб.- М.: Директ-Медиа, 2014. – 417 с. (ЭБС «Университетская библиотека онлайн»)

## **9 ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Информационные технологии**

В ходе освоения дисциплины аспиранты используют возможности интерактивной коммуникации со всеми участниками и заинтересованными сторонами образовательного процесса, ресурсы и информационные технологии посредством электронной информационной образовательной среды университета. Аспирантам и научно-педагогическим работникам обеспечен доступ к ЭБС, наукометрическим базам данных и к полнотекстовым ресурсам, справочно-правовой системе «ГАРАНТ», профессиональной справочной системе «Техэксперт».

### **Веб-сайты с электронными ресурсами по специальности:**

1. Программное обеспечение (лицензионное), базы данных, информационно-справочные и поисковые системы: Консультант Плюс. Официальный сайт компании [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>, свободный (дата посещения 30.08.2022).
2. Электронная библиотека научных публикаций «eLIBRARY.RU» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://elibrary.ru>, свободный (дата посещения 30.08.2022).
3. Электронно-библиотечная система издательства «Лань» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://e.lanbook.com>, свободный (дата посещения 30.08.2022)
4. Электронно-библиотечная система издательства «Юрайт» [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://biblio-online.ru>, свободный (дата посещения 30.08.2022)
5. Национальная технологическая инициатива Энерджинет [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://energynet.ru>, свободный (дата посещения 30.08.2022)

## 10 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для самостоятельной работы по дисциплине «**Математические методы исследования электротехнических комплексов и систем**», предусмотренной учебным планом подготовки аспирантов, имеется необходимая материально-техническая база, соответствующая действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам: учебные аудитории, оборудованные комплектом мебели; комплект проекционного мультимедийного оборудования; компьютеры с доступом к сети Интернет. Для организации самостоятельной работы по дисциплине используется материально-техническая база кафедры энергетики, главного учебного корпуса (г. Калининград, Советский проспект, 1, ГУК), ауд. 116 (компьютерный класс) - учебная аудитория для проведения лабораторных занятий, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, укомплектованная специализированной (учебной) мебелью - учебной доской, столом преподавателя, партами, стульями. В процессе работы могут использоваться компьютеры с подключением к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации, комплект лицензионного программного обеспечения. Последние оснащены операционной системой Windows 10 (получаемой по программе Microsoft "Open Value Subscription" license V6465252 дата окончания 29.02.2024), офисным приложением MS Office Standard 2010 (получаемым по программе Microsoft "Open Value Subscription" license V6465252 дата окончания 29.02.2024), Kaspersky Endpoint Security (17E0-210119-091510-800-717 до 13.02.2022), Google Chrome (GNU). Программный комплекс AutoDesk для учебных заведений Education Master Suite: AutoCAD, AutoCAD Civil 3D (Договор #110001955026, Договор #110001703865, Договор #110001781500). Программа MathCAD 2015 (Лицензия 3A1843569 от 26.04.2013). Система визуального моделирования систем управления solidThinking Embed (Акт передачи прав от 06.10.2014 № Pr000320, передача лицензии solidThinking). Программа схемотехнического моделирования Multisim Education (Лицензионное соглашение №779878-3515 от 28.11.2014).

Для самостоятельной работы аспирантов используется помещение для самостоятельной работы по адресу г. Калининград, Советский проспект, 1, ГУК, ауд. 155б. Помещение оснащено столами и стульями, имеется 10 компьютеров с подключением к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации, комплект лицензионного программного обеспечения. Типовое ПО на всех ПК: 1. Операционная система Windows XP (получаемая по программе Microsoft "Open Value Subscription" license V6465252 дата окончания 29.02.2024); 2. Офисное приложение MS Office 2010 ((получаемое по программе Microsoft "Open Value Subscription" license V6465252 дата окончания 29.02.2024); 3. Kaspersky Endpoint Security (17E0-210119-091510-800-717 до 13.02.2022); 4. Google Chrome (GNU); 5. Эффектон (договор №348 от 29 августа 2013). Программа составлена в соответствии с требованиями ФГТ с учетом рекомендаций и Примерной ОП ВО по научной специальности 2.4.2. «Электротехнические комплексы и системы».

## **11 ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ**

Оценочные средства по дисциплине представляются в виде фонда оценочных средств (ФОС). Требования к структуре и содержанию ФОС по дисциплине определяются Положением по ФОС.

## **12 ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ И ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

По курсу предусмотрено проведение лекционных занятий, на которых изучается основной систематизированный материал. В ходе лекционного занятия аспиранту следует вести конспект лекции, который должен содержать реферативную запись основных вопросов лекции, предложенных преподавателем схем (при их демонстрации), основных источников литературы по темам, выводы по каждому вопросу. Конспект должен быть выполнен в отдельной тетради по предмету. Он должен быть аккуратным, хорошо читаемым, не содержать не относящуюся к теме информацию или рисунки.

При подготовке к лекции аспиранту необходимо просматривать рабочую программу дисциплины для минимизации времени вступительной части. На отдельные лекции необходимо приносить соответствующий материал на бумажных носителях, заранее предоставленный преподавателем (таблицы, графики, схемы). Данный материал будет охарактеризован, прокомментирован, дополнен непосредственно на лекции. Перед очередной лекцией необходимо повторить по конспекту материал предыдущей лекции. При затруднениях в восприятии материала следует обратиться к основным и дополнительным литературным источникам. Если вопросы по лекционному материалу сохраняются после работы с литературой, необходимо обратиться к лектору за разъяснениями.

В ходе практических занятий рассматриваются вопросы прикладных расчетов по основным разделам дисциплины. При работе на практических занятиях важно доводить каждую задачу до окончательного решения, демонстрировать понимание проведенных расчетов, в случае затруднений обращаться к преподавателю. На практические занятия по рекомендации преподавателя необходимо приносить с собой рекомендованную литературу. До очередного практического занятия по рекомендованным литературным источникам аспиранту необходимо проработать теоретический материал соответствующей темы занятия, при этом следует обязательно использовать не только лекции, учебную и научную литературу, но и нормативно-правовые документы, поскольку в них могут быть внесены изменения и дополнения, которые не всегда отражены в учебной литературе.

Самостоятельная работа как вид деятельности аспиранта многогранна и играет определяющую роль в развитии способности самостоятельно решать исследовательские задачи. В качестве форм самостоятельной работы при изучении дисциплины предлагаются: работа с научной и учебной литературой; конспектирование текста; решение задач и упражнений; углубленное изучение вопросов по тематике лекционных и практических занятий; подготовка к зачету. При выполнении самостоятельной работы аспиранту следу-



ет сконцентрироваться на: получении навыков научно-исследовательской работы на основании анализа текстов литературных источников и применения различных методов исследования; выработке умения самостоятельно и критически подходить к изучаемому материалу.

При самостоятельной работе с научной литературой аспиранту рекомендуется конспектировать изученный материал. Конспекты научной должны быть выполнены аккуратно, содержать ответы на каждый поставленный в теме вопрос, иметь ссылку на источник информации с обязательным указанием автора, названия и года издания используемой научной литературы. Конспект может быть опорным (содержать лишь основные ключевые позиции), но при этом позволяющим дать полный ответ по вопросу, может быть подробным. Объем конспекта определяется самим аспирантом. В процессе работы с учебной и научной литературой аспирант может: делать записи по ходу чтения в виде простого или развернутого плана (создавать перечень основных вопросов, рассмотренных в источнике); составлять тезисы (цитирование наиболее важных мест статьи или монографии, короткое изложение основных мыслей автора); готовить аннотации (краткое обобщение основных вопросов работы).

### **13 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

При изучении дисциплины аспирант должен добросовестно посещать лекции и практические занятия, вести конспект лекций.

Учебным планом предусмотрена самостоятельная работа аспирантов. Эта работа предполагает:

- работа с научной и учебной литературой;
- конспектирование текста;
- решение задач и упражнений;
- углубленное изучение вопросов по тематике лекционных и практических занятий;
- подготовка к зачету.

Аспирант обязан в полном объеме использовать время самостоятельной работы, предусмотренное настоящей рабочей программой, для изучения соответствующих разделов дисциплины, и своевременно обращаться к преподавателю в случае возникновения затруднений при выполнении самостоятельной работы.

Содержание внеаудиторной самостоятельной работы и распределение объема на нее определяется по темам дисциплины согласно тематическому плану рабочей программы.

#### **14 СВЕДЕНИЯ О РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ И ЕЕ СОГЛАСОВАНИИ**

Рабочая программа дисциплины «**Математические методы исследования электротехнических комплексов и систем**» представляет собой образовательный компонент программы по подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности **2.4.2. Электротехнические комплексы и системы**.

Авторы программы - М.Н. Кириллов, к.т.н., доцент кафедры энергетики  
М.С. Харитонов, к.т.н., доцент кафедры энергетики

Рабочая программа дисциплины рассмотрена и одобрена на заседании кафедры энергетики (протокол № 3 от 14.02.2022 г.).

Заведующий кафедрой энергетики

д.т.н., профессор В.Ф. Белей

Согласовано:

Зам. директора по НиМД ИМТЭС

Е.С. Землякова

Начальник УПК ВНК

Н.Ю. Ключко