

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

ГГТУ им. П.О. Сухого

 О.Д. Асенчик

"06" 04 2015

Регистрационный № УД-55-03/уч.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Учебная программа учреждения высшего образования

по учебной дисциплине для специальности

1-43 01 02 "Электроэнергетические системы и сети"

Учебная программа по дисциплине «Математическое моделирование в энергетике» разработана в соответствии с образовательным стандартом высшего образования первой ступени по специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» ОСВО-1-43 01 02-2013 и учебными планами специальности, регистрационные № № I 43-1-21/уч. 17.09.2013, I 43-1-08/уч. 12.02.2014.

СОСТАВИТЕЛЬ:

О.М. Попова, ст. преподаватель кафедры «Электроснабжение» Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

О.В. Лымарь, заместитель зав. отделом технических средств контроля за добычей нефти БелНИПИнефть, РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», кандидат технических наук;

В.И. Токочаков, доцент кафедры «Информационные технологии» Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого, кандидат технических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой «Электроснабжение» Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого (протокол № 11 от 11.05.2015 г.);

Научно-методическим советом энергетического факультета Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого (протокол № 10 от 30.06.2015 г.); УДЭ-05-03/уч

Научно-методическим советом ГГТУ им. П.О. Сухого (протокол № 5 от 01.07.2015 г.)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Целью преподавания дисциплины является подготовка студентов в области применения современных математических моделей и методов для решения задач электроэнергетики на основе алгебры матриц, теории графов, численных методов, вероятностно-статистического анализа и ПЭВМ.

Задачами дисциплины является связать математику как общетеоретическую дисциплину с практическим ее применением в автоматизированном управлении в области электроэнергетики, изучение математических моделей электрических систем и методов решения задач анализа установившихся режимов и надежности электрических систем.

В результате изучения дисциплины студент должен закрепить и развить следующие академические и социально-личностные компетенции, предусмотренные в стандарте ОСВО 1-43 01 02 2013:

- уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач;
- владеть системным и сравнительным анализом;
- уметь работать самостоятельно;
- владеть междисциплинарным подходом при решении проблем;
- иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером;
- уметь работать в коллективе;

В результате изучения дисциплины студент должен обладать следующими профессиональными компетенциями, предусмотренные в стандарте ОСВО 1-43 01 02 2013:

- осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по методам математического моделирования в энергетике;
- формировать расчетную схему электрической сети и производить ее топологический анализ;
- выбирать эффективный метод расчета режима электрических сетей;
- составлять схемы замещения электрических сетей для расчета их установившихся режимов;
- рассчитывать в матричном виде с помощью пакета MCAD режимы работы электрических сетей по узловым или контурным моделям и намечать пути их улучшения;
- рассчитывать параметры элементов электрических сетей;
- определять характеристики надежности элементов электрической системы;

– рассчитывать и анализировать вероятность сохранения структурной надежности электрической системы;

– работать с научной, технической и патентной литературой в области энергетики и смежных областях.

Для приобретения профессиональных компетенций в результате изучения дисциплины студент должен

знать:

– методы формирования и преобразование моделей установившегося режима электрических систем в матричной форме;

– математические методы решения уравнений установившегося режима при различных формах их записи на базе ПЭВМ;

– вероятностно-статистические модели и методы анализа структурной надежности электрических систем и расчеты режимов при вероятностном задании исходной информации;

– передовой отечественный и зарубежный опыт в области моделирования электрических сетей.

уметь:

– формировать узловые и контурные уравнения установившихся режимов;

– рассчитывать на ПЭВМ режимы электрических систем с помощью программных математических пакетов (MathCad и т.п.);

– определять вероятность сохранения надежности системы при коммутациях ее элементов и числовые характеристики случайных величин – параметров режима электрических сетей.

Учебная программа дисциплины разработана для дневной формы обучения.

Общее количество часов – 85, аудиторных – 48, трудоемкость дисциплины 2 зачетные единицы.

Обучение на дневной форме проходит на 3-м курсе в 5-м семестре.

Примерное распределение аудиторных часов по видам занятий для дневной формы обучения:

– лекции – 32 часа;

– лабораторные занятия – 16 часов;

Форма текущей аттестации – зачет, 5-й семестр.

Курсовая работа – 5-й семестр.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Введение. Математическое моделирование как способ анализа на всех уровнях планирования, проектирования и управления в энергетике.

Основные понятия и определения. Временная и пространственная иерархия задач в энергосистеме и математическое моделирование как способ анализа на всех уровнях планирования, проектирования и управления электрическими системами.

Тема 2. Режимы электрических систем и их классификация. Исходные данные при расчете режимов.

Режимы электрических систем и их классификация. Линейные и нелинейные системы. Установившиеся режимы и переходные процессы. Постановка задачи анализа режимов при детерминированном и вероятностном задании исходной информации о нагрузках узлов сети и электростанций. Постановка задачи анализа надежности в электроэнергетике.

Тема 3. Математические модели элементов электрических систем в установившихся режимах.

Моделирование нагрузочных и генераторных узлов. Моделирование линий и трансформаторов.

Тема 4. Моделирование конфигурационных связей схем с помощью матриц инцидентий

Связный направленный граф. Аналитическое описание схем электрических систем. Матрицы соединений электрических сетей.

Тема 5. Уравнения законов Ома и Кирхгофа в матричной форме.

Запись уравнений законов Ома и Кирхгофа в матричной форме с использованием матриц инцидентий. Обобщенное уравнение состояния электрической сети. Математическая модель установившегося режима электрической системы по законам Кирхгофа.

Тема 6. Узловые и контурные модели установившихся режимов при задании нагрузок в токах и мощностях

Уравнения узловых напряжений в матричной форме. Вывод узловых уравнений в форме баланса токов на основе первого закона Кирхгофа. Матрица узловых проводимостей и ее свойства. Расчет режима по узловым уравнениям при задании нагрузок в токах и мощностях. Контурные

уравнения установившегося режима электрической системы. Вывод контурных уравнений с использованием Π матрицы инцидентий на основе второго закона Кирхгофа. Матрица контурных сопротивлений и ее свойства. Порядок расчета режима на основе контурных уравнений при задании нагрузок в токах и мощностях.

Тема 7. Матрицы обобщенных параметров и их применение для моделирования режимов

Расчет токораспределения по обобщенному уравнению состояния. Матрицы обобщенных параметров электрической сети при расчете токораспределения по принципу наложения. Расчет режима при задании нагрузок в токах и мощностях с помощью матрицы коэффициентов распределения.

Тема 8. Методы решения уравнений установившихся режимов. Сходимость итерационных методов.

Классификация методов: прямые и итерационные методы; матричные методы. Группа методов исключения неизвестных. Решение систем уравнений узловых напряжений методом исключения Гаусса. Оптимальная стратегия исключения. Преобразование сети при исключении узлов по методу Гаусса.

Итерационные методы решения систем линейных уравнений. Сходимость итерационных методов. Матричный степенной ряд и его сходимость. Понятие нормы, собственных значений и чисел обусловленности матрицы. Теорема сходимости итерации и ее следствия. Факторы, влияющие на сходимость линейных уравнений узловых напряжений.

Решение нелинейных уравнений установившихся режимов итерационными методами первого порядка – методами простой и ускоренной итерации (метод Гаусса-Зейделя). Сходимость нелинейных итерационных процессов. Принцип сжатых отображений. Ускорение сходимости введением ускоряющего коэффициента. Факторы, влияющие на сходимость итерации для нелинейных узловых уравнений. Решение нелинейных уравнений узловых напряжений путем обращения матрицы узловых проводимостей. Матрица узловых собственных и взаимных сопротивлений, ее получение, физический смысл ее элементов. Обращенная форма уравнений узловых напряжений, ее недостатки и достоинства. Решение обращенных уравнений итерационными методами.

Тема 9. Метод Ньютона для решения нелинейных узловых уравнений при расчете нормальных и утяжеленных режимов

Решение систем нелинейных уравнений режимов итерационными методами второго порядка.

Метод Ньютона для нахождения корней нелинейного уравнения. Геометрическая интерпретация метода, условия сходимости. Решение систем нелинейных уравнений методом Ньютона.

Решение систем нелинейных уравнений узловых напряжений в форме баланса токов методом Ньютона и “по параметру”. Модифицированный метод Ньютона (метод секущих). Сходимость метода Ньютона при расчете нормальных и утяжеленных режимов. Применение оптимальной стратегии исключения при использовании метода Гаусса на каждом шаге метода Ньютона.

Тема 10. Вероятностно-статистические методы анализа структурной надежности и режимов электрических систем

Применение вероятностно-статистического анализа в электроэнергетике. Типы событий и связь между ними. Элементы алгебры событий и ее законы. Понятие комбинаторики и ее использование в энергетике. Модели непрерывных и дискретных распределений. Показатели надежности элементов электрических систем. Основные математические методы исследования структурной надежности электрических систем. Учет вероятностных характеристик исходной режимной информации при анализе установившихся режимов электрических систем.

ХАРАКТЕРИСТИКА КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Цель курсовой работы: Приобретение навыков расчета и анализа режимов электрических сетей с использованием матричных моделей и ЭВМ; формирование способности самостоятельно и творчески решать научные, инженерно-технические вопросы.

Примерный объем задания – 40 часов, 1 зачетная ед.

Тема: Применение матричных моделей электрической сети для расчета и анализа установившихся режимов.

Содержание задания:

1. Формирование узловых и контурных уравнений установившегося режима электрической сети.

2. Расчет режима электрической сети и при задании нагрузок в токах.
3. Расчет режима электрической сети по узловым уравнениям при задании нагрузок в мощностях с использованием итерационных методов.
4. Расчет утяжеленного режима (max, min, откл., ветви).
5. Анализ результатов расчета режимов. Анализ сходимости итерационных методов.

Выводы.

Графическая часть:

1. Схема сети с результатами расчетов режимов.
2. Графики сходимости итерации.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ ДЛЯ ДНЕВНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов		Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия		
1.	Введение. Математическое моделирование как способ анализа на всех уровнях планирования, проектирования и управления электрическими системами	1			Зачет,
2.	Режимы электрических систем и их классификация. Исходные данные при расчете режимов.	1			Зачет,
3.	Математические модели элементов электрических систем	1	2		Зачет, защита л/р
4.	Моделирование конфигурационных связей схемы с помощью матриц инцидентий	2	2		Зачет, защита л/р
5.	Уравнения законов Ома и Кирхгофа в матричной форме	4	2		Зачет, защита л/р
6.	Узловые и контурные модели установившихся режимов при задании нагрузок в токах и мощностях	4	4		Зачет, защита л/р
7.	Матрицы обобщенных пара-	1	2		Зачет, за-

	метров и их применение для моделирования режимов				щита л/р
8.	Методы решения уравнений установившихся режимов. Сходимость итерационных методов	6	2		Зачет, защита л/р
9.	Метод Ньютона для решения нелинейных узловых уравнений при расчете нормальных и утяжеленных режимов	4			
10	Вероятностно-статистические методы анализа структурной надежности и режимов электрических систем	8	2		Зачет, защита л/р
Всего		32 ✓	16 ✓		

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Электрические системы. Математические задачи электроэнергетики / Под ред. В.А. Веникова.: Учебник. - 2-е изд. перераб. и дополн. – М.: Высшая школа, 1981. – 288 с.
2. Электрические системы. Электрические сети / Под ред. В.А. Веникова, В.А. Строева. – М.: Высшая школа, 1998. – 510 с.
3. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
4. Электрические системы: Режимы работы электрических сетей и систем / Под ред. В.А. Веникова. – М.: Высшая школа, 1975. – 344 с.
5. Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 203 с.

Дополнительная литература

1. Идельчик В.И. Расчеты и оптимизация режимов электрических систем и сетей. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 287 с.
2. Электрические системы. Том 1. Математические задачи электроэнергетики / Под ред. В.А. Веникова.: – М.: Высшая школа, 1970. – 334 с
3. Демидович И.А., Марон Б.П. Основы вычислительной математики. – М.: Физматгиз, 1964, – 510 с.
4. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. – Киев: Наука, 1977. – 766 с.
5. Китушин В.Г. Надежность энергетических систем, – Москва: Высшая школа, 1984.
6. Анищенко В.А. Надежность систем электроснабжения: Учебное пособие / В.А. Анищенко. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – 160 с.
7. Электрические системы. Том 3. Электрические сети. Под ред. В.А.

Веникова. - М.: Высшая школа, 1971. – 330 с.

8. Шиманская-Семенова Т.А. Применение матричных моделей для расчета и анализа режимов электрических сетей: методическое пособие для выполнения курсовой работы и изучения дисциплины «Математические модели в энергетике» для студентов специальности 1- 43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» / Т.А. Шиманская-Семенова. – Минск: БНТУ, 2010 – 158 с.

9. Математическое моделирование в энергетике [Электронный ресурс] : практикум для студентов специальности 1-43 01 02 "Электроэнергетические системы и сети" / сост. Т. В. Алферова, О. М. Попова ; Министерство образования Республики Беларусь, Учреждение образования "Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого", Кафедра "Электроснабжение". - Гомель : ГГТУ, 2009. - 61 с. УДК 519.711.3(075.8) ББК 31в631.0я73

10. Математическое моделирование в энергетике [Электронный ресурс] : методические указания к курсовой работе по одноименному курсу для студентов специальности 1-43 01 02 "Электроэнергетические системы и сети" дневной формы обучения / А. С. Фиков, Т. В. Алферова ; Министерство образования Республики Беларусь, Учреждение образования "Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого", Кафедра "Электроснабжение". - Гомель : ГГТУ, 2012. - 43 с. УДК 519.711.3:621.3(075.8) ББК 31в631.0я73

Список литературы сверен В.В. / Фришман В.В.

Средства диагностики результатов учебной деятельности

Оценка уровня знаний студентов производится по десятибалльной шкале.

Для оценки достижений студента рекомендуется использовать следующий диагностический инструментарий:

- защита выполненных и оформленных лабораторных работ;
- собеседование при проведении индивидуальных и групповых консультаций;
- сдача зачета.

Примерный перечень лабораторных занятий

1. Первая матрица инцидентий в представлении и анализе электрических сетей расчет токораспределения в разомкнутой сети.
2. Аналитическое описание схемы сети с помощью второй матрицы соединений "ветви-контур".
3. Определение матриц обобщенных параметров электрической сети.

4. Расчет режима электрической сети с использованием матрицы коэффициентов распределения.
5. Расчет режимов электрической сети по узловым и контурным уравнением итерационными методами при задании нагрузок в токах.
6. Числовые характеристики случайных величин – параметров режимов электрических систем.

Примерный перечень контрольных вопросов
для самостоятельной работы

1. Понятие об электрических системах, режимах, параметрах.
2. Линейные и нелинейные системы. Электромагнитные и электро-механические переходные процессы.
3. Задача анализа режимов при детерминированном и вероятностном задании исходной информации о нагрузках узлов сети, электростанций.
4. Задачи надежности в электроэнергетике.
5. Исходные данные при расчете режимов.
6. Схемы замещения электрической системы.
7. Уравнения состояний линейной электрической цепи на основе законов Ома и Кирхгофа.
8. Теория графов. Определение элементов, связный направленный граф. Принцип ярусности.
9. Матрицы соединений электрических систем.
10. Уравнения законов Кирхгофа и Ома в матричной форме.
11. Обобщенное уравнение состояния электрической сети.
12. Определение токораспределения разомкнутой сети.
13. Уравнение узловых напряжений в матричной форме (вывод уравнения).
14. Формирование матрицы узловых проводимостей.
15. Свойства матрицы узловых проводимостей.
16. Расчет установившегося режима на основе уравнения узловых напряжений при задании нагрузок в токах и мощностях
17. Вывод контурного уравнения в матричной форме.
18. Формирование матрицы контурных сопротивлений.
19. Свойства матрицы контурных сопротивлений.
20. Расчет установившегося режима на основе контурных уравнений при задании нагрузок в токах и мощностях.
21. Особенности систем уравнений установившихся режимов.
22. Классификация методов решения уравнений установившихся режимов и их характеристика.
23. Метод исключения неизвестных.

24. Решение систем линейных уравнений узловых напряжений методом Гаусса с обратным ходом.

25. Решение систем линейных уравнений узловых напряжений методом Гаусса без обратного хода.

26. Факторы, влияющие на точность решения по методу Гаусса.

27. Специфика линейных уравнений установившихся режимов.

28. Итерационные методы решения систем линейных уравнений.

29. Метод простой итерации.

30. Метод ускоренной итерации.

31. Сходимость процессов при решении систем линейных уравнений итерационными методами. Условия сходимости.

32. Решение систем нелинейных уравнений установившихся режимов итерационными методами.

33. Факторы, влияющие на сходимость итераций для нелинейных уравнений.

34. Решение нелинейных уравнений методом Ньютона.

35. Геометрическая интерпретация метода, условия сходимости.

36. Решение систем нелинейных уравнений узловых напряжений методом Ньютона.

37. Формирование матрицы Якоби.

38. Решение уравнений узловых напряжений путем обращения матрицы узловых проводимостей.

39. Матрица узловых собственных и взаимных сопротивлений.

40. Основные понятия теории вероятности.

41. Связи между событиями.

42. Вероятность события. Определение вероятности сложных событий в энергетике.

43. Формула Бернулли и общие случаи определения вероятности повреждения оборудования.

44. Случайные величины в энергетике. Дискретные, непрерывные случайные величины.

45. Числовые характеристики случайных величин.

46. Статистический ряд, многоугольник распределения вероятности.

47. Функция и плотность распределения вероятности.

48. Законы распределения случайных величин.

49. Определение вероятности, подчиняющейся нормальному закону распределения.

50. Определение вероятности, подчиняющейся равномерному закону распределения.

51. Определение вероятности по закону Пуассона.

52. Определение вероятности, подчиняющейся биномиальному закону распределения.

53. Качественные определения основных показателей надежности.

54. Количественные показатели надежности.

55. Аналитическая взаимосвязь основных показателей надежности.
 56. Расчетные формулы показателей надежности, их упрощение и область применения.
 57. Количественные показатели восстановления.
 58. Расчетные формулы показателей восстановления.
 59. Логические схемы расчета надежности.
 60. Типовые логические схемы расчета надежности.
 61. Частные случаи типовых логических схем расчета надежности.
 62. Реальные соединения элементов при расчете надежности.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1. Передача и распределение электроэнергии	Электроснабжение	Согласовано	№ 11 от 11.05.2015
2. Электроснабжение промышленных предприятий	Электроснабжение	Согласовано	№ 11 от 11.05.2015