

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Максимов Алексей Борисович  
Должность: директор департамента по образовательной политике  
Дата подписания: 01.09.2023 12:28:58  
Уникальный программный ключ:  
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

**УТВЕРЖДЕНО**  
Декан Факультета урбанистики и  
городского хозяйства  
Марюшин Л.А.  
« 20 » 2021г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Надежность систем энергоснабжения»**

Направление подготовки  
**13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника**

Профиль подготовки  
**Распределенная тепловая энергетика**

Квалификация (степень) выпускника  
**Магистр**

Форма обучения  
**Очная, очно-заочная**

Москва  
2021

## 1. Цели освоения дисциплины

К **основным целям** освоения дисциплины «Надежность систем энергоснабжения» следует отнести:

- формирование знаний о современных принципах, методах и средствах повышения надежности систем энергоснабжения;

- изучение способов повышения эффективности методов повышения и определения параметров надежности систем энергоснабжения, выработка навыков у студентов самостоятельно формулировать и решать задачи определения технических параметров при анализе режимов эксплуатации энергетических систем и комплексов.

- подготовка студентов к деятельности в соответствии с квалификационной характеристикой магистра по направлению, в том числе формирование умений по выявлению необходимых усовершенствований и разработке новых, более эффективных методов повышения надежности систем энергоснабжения при проектировании и эксплуатации.

К **основным задачам** освоения дисциплины «Надежность систем энергоснабжения» следует отнести:

- выработать навыки у студентов самостоятельно формулировать задачи повышения надежности систем энергоснабжения;

- научить мыслить системно на примерах повышения эффективности надежности систем энергоснабжения при реализации технологических процессов;

- научить анализировать существующие методы повышения надежности систем энергоснабжения, разрабатывать и внедрять необходимые изменения в их методике с позиций повышения эффективности;

- дать информацию о новых направлениях в совершенствовании данных методов в отечественной и зарубежной практике, развивать способности объективно оценивать преимущества и недостатки методов повышения надежности систем энергоснабжения, как отечественных, так и зарубежных;

- научить анализировать параметры надежности систем энергоснабжения, производить поиск оптимизационного решения с помощью всевозможных методов.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры

Дисциплина «Надежность систем энергоснабжения» относится к числу профессиональных учебных дисциплин по выбору базового цикла основной образовательной программы магистратуры.

«Надежность систем энергоснабжения» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами и практиками ООП:

- Проектирование и эксплуатация систем отопления и вентиляции;

- Современные проблемы теплоэнергетики, теплотехники и теплотехнологий;
- Проектирование и эксплуатация теплоэнергетических установок;
- Проектирование и эксплуатация источников и систем теплоснабжения.

### **3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

В результате освоения дисциплины (модуля) у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения как этап формирования соответствующих компетенций:

<b>Код компетенции</b>	<b>В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать</b>	<b>Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине</b>
ПК-3	способность к определению потенциал энергосбережения и повышения энергетической эффективности при проведении энергосервисных мероприятий на объектах капитального строительства	<p><b>знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• методы и средства разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства</li> </ul> <p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• применять методы и средства разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства</li> </ul> <p><b>владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• методами и автоматизированными средствами разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства</li> </ul>

### **4. Структура и содержание дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет **4** зачетные единицы, т.е. **144** академических часа (из них 18 часов – лекции, 9 часов – семинарские занятия, 9 часов – лабораторные занятия, 108 час – самостоятельная работа студентов).

Структура и содержание дисциплины «Надежность систем энергоснабжения» по срокам и видам работы отражены в Приложении 1.

## **Содержание разделов дисциплины**

### **Второй семестр**

#### **Тема 1. Введение. Задачи и исходные положения оценки надежности**

Техническая и математическая постановка задачи. Области приложения вероятностных методов расчета в энергоснабжении. Основные понятия и определения. Классификация случайных событий в задачах энергоснабжения. Зависимые и независимые, совместные и несовместные события.

#### **Тема 2. Факторы, нарушающие надежность системы электроснабжения и их математические описания**

Модели отказов элементов систем электроснабжения. Внезапные и постепенные отказы элементов. Формирование модели внезапных отказов. Формирование модели постепенных отказов. Причины повреждений основных элементов энергосетей. Случайные события как простейшая вероятностная модель. Основные теоремы теории вероятности в решении задач надежности энергоснабжения. Основные правила определения вероятности сложных событий, их применение к задачам энергоснабжения. Формула полной вероятности. Теорема гипотез.

#### **Тема 3. Случайные величины в системах электроснабжения и законы их распределения**

Ряд распределения. Многоугольник распределения. Закон распределения случайных величин. Функция распределения непрерывной случайной величины. Свойства функции распределения. Вероятность попадания случайной величины на заданный участок по функции распределения. Плотность распределения. Кривая распределения. Вероятность попадания случайной величины на заданный участок по кривой распределения.

#### **Тема 4. Числовые характеристики функционирования систем энергоснабжения**

Характеристики положения. Математическое ожидание. Мода случайной величины. Полимодальные распределения. Медиана случайной величины. Начальные моменты случайной величины. Центральные моменты случайной величины. Дисперсия и среднее квадратическое отклонение случайной величины. Вида асимметрии распределения случайных величин. Свойства числовых характеристик случайных величин.

#### **Тема 5. Математические модели и их количественные описания**

Биномиальное распределение случайных величин в задачах надежности энергоснабжения. Задачи, решаемые с помощью биномиального распределения. Формула Бернулли. Схема Бернулли как модель включенного, выключенного состояний элементов. Распределение вероятностей. Коэффициенты разложения бинома.

Распределение Пуассона – модель для оценки вероятности наступления определенного числа событий. Определение распределения Пуассона. Формула Пуассона. Многоугольники распределения. Числовые

характеристики. Задачи, решаемые с использованием распределения Пуассона. Поток событий. Свойства пуассоновского потока событий. Задачи, решаемые в пуассоновском потоке событий.

Показательное распределение – модель оценки наработки на отказ. Определение показательного распределения. Плотность и функция распределения показательного закона. Вероятность попадания в заданный интервал показательного распределенной случайной величины. Числовые характеристики показательного распределения. Функция надежности. Показательный закон надежности.

Закон равномерного распределения вероятностей. Определение задач практики, распределяющихся по закону равномерной плотности. Функция распределения для равномерной плотности. Числовые характеристики.

Нормальный закон распределения нагрузки в системах энергоснабжения. Особенность нормального закона распределения случайных величин в системах энергоснабжения. Плотность вероятности распределения. Оценка воздействий числовых характеристик – математического ожидания и среднего квадратического отклонения на форму кривой распределения нормального закона. Функция распределения нормального закона. Вероятность попадания случайной величины на заданный участок. Вероятность отклонения случайной величины относительно центра рассеивания. Правило трех сигм.

#### **Тема 6. Математические модели и количественные расчеты надежности систем электроснабжения**

Метод расчета показателей надежности схем энергоснабжения по средним значениям вероятностей состояния элементов. Понятие «элемент» и «система» в расчетах надежности. Средние вероятности состояния элемента. Использование статистических данных состояния элементов. Вероятности отказового и безотказового состояния схем с последовательным соединением элементов. Вероятности отказового и безотказового состояния схем с параллельным соединением элементов.

Метод анализа вероятностей состояний системы и метод с использованием формулы полной вероятности. Определение показателей надежности различных состояний системы с учетом логики функционирования сети. Преимущества метода анализа вероятностей состояний. Область применения и последовательность расчетов. Интерпретация формулы полной вероятности для определения надежной работы схемы. Область ее приложения. Теорема разложения на множители как средство практического применения формулы полной вероятности в расчетах надежности схем электроснабжения. Расчет схемы типа «мостик». Расчет схемы типа «двойной мостик».

Методы структурного анализа сложных схем и использование их для оценки надежности. Применение методов структурного анализа для исследования схем систем энергоснабжения. Задачи, решаемые с помощью методов минимальных путей и минимальных сечений. Минимальные пути для схемы типа «мостик». Минимальные сечения для схемы типа «мостик».

Правило определения надежной работы схем по методу минимальных путей.  
Определение отказового состояния схем по методу минимальных сечений.

### **Тема 7. Техничко-экономическая оценка недоотпуска энергии и эффективности надежного энергоснабжения**

Характеристики потребителей и последствия от нарушения их энергоснабжения. Характеристика потребителей и их требований к надежности. Ущерб от нарушений энергоснабжения. Нормирование показателей надежности энергоснабжения.

## **5. Образовательные технологии**

Методика преподавания дисциплины «Надежность систем энергоснабжения» и реализация компетентностного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных и интерактивных форм проведения групповых, индивидуальных, аудиторных занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся:

- подготовка к выполнению практических работ в аудиториях вуза и на мощностях предприятий-партнеров;

- подготовка, представление и обсуждение презентаций на семинарских занятиях;

- организация и проведение текущего контроля знаний студентов в форме бланкового тестирования;

- использование интерактивных форм текущего контроля в форме аудиторного и внеаудиторного интернет-тестирования;

- проведение мастер-классов экспертов и специалистов по надежности энергоснабжения, а также эффективных методов эксплуатации энергетического оборудования и объектов.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определен главной целью образовательной программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием дисциплины «Надежность систем энергоснабжения» и в целом по дисциплине составляет 50% аудиторных занятий. Занятия практического типа составляют 33% от объема аудиторных занятий.

## **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

В процессе обучения используются следующие оценочные формы самостоятельной работы студентов, оценочные средства текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций:

### **Во втором семестре**

- устный опрос;
- тестирование;

– экзамен.

Оценочные средства текущего контроля успеваемости включают контрольные вопросы и задания в форме бланкового и (или) компьютерного тестирования, для контроля освоения обучающимися разделов дисциплины.

Образцы вопросов для тестовых заданий, контрольных вопросов и заданий для проведения текущего контроля, приведены в приложении 2.

### **6.1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)**

#### **6.1.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.**

**В результате освоения дисциплины (модуля) формируются следующие компетенции**

<b>Код компетенции</b>	<b>В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать</b>
ПК-3	способность к определению потенциал энергосбережения и повышения энергетической эффективности при проведении энергосервисных мероприятий на объектах капитального строительства

В процессе освоения образовательной программы данные компетенции, в том числе их отдельные компоненты, формируются поэтапно в ходе освоения обучающимися дисциплин (модулей), практик в соответствии с учебным планом и календарным графиком учебного процесса.

#### **6.1.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, формируемых по итогам освоения дисциплины (модуля), описание шкал оценивания**

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

**ПК-3 - способность к определению потенциал энергосбережения и повышения энергетической эффективности при проведении энергосервисных мероприятий на объектах капитального строительства**

Показатель	Критерии оценивания			
	Оценка «неудовлетворительно» или отсутствие сформированности компетенции	Оценка «удовлетворительно» или низкой уровень освоения компетенции	Оценка «хорошо» или повышенный уровень освоения компетенции	Оценка «отлично» или высокий уровень освоения компетенции
<p><b>знать:</b> методы и средства разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства</p>	<p>Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: методы и средства разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства</p>	<p>Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: методы и средства разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: методы и средства разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: методы и средства разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства, свободно оперирует приобретенными знаниями.</p>



<p><b>уметь:</b> применять методы и средства разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства</p>	<p>Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет применять методы и средства разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства</p>	<p>Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: применять методы и средства разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.</p>	<p>Обучающийся частично демонстрирует соответствие следующих умений: применять методы и средства разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: применять методы и средства разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.</p>
<p><b>владеть:</b> методами и автоматизированными средствами разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства</p>	<p>Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методами и автоматизированными средствами разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства</p>	<p>Обучающийся владеет методами и автоматизированными средствами разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства в неполном объеме, допускаются значительные</p>	<p>Обучающийся частично владеет методами и автоматизированными средствами разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства, навыки освоены, но допускаются</p>	<p>Обучающийся в полном объеме владеет методами и автоматизированными средствами разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства, свободно применяет полученные</p>

		ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	навыки в ситуациях повышенной сложности.
--	--	--	---	--

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

**Форма промежуточной аттестации: экзамен.**

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Надежность систем энергоснабжения» (прошли промежуточный контроль, выполнили весь объем лабораторных работ, выступили с докладом на семинарском занятии)

Шкала оценивания	Описание
Отлично	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

Хорошо	Студент показывает достаточный уровень теоретических и практических знаний, свободно оперирует категориальным аппаратом. Умеет анализировать практические ситуации, но допускает некоторые погрешности. Ответ построен логично, материал излагается грамотно.
Удовлетворительно	Студент показывает знание основного лекционного и практического материала. В ответе не всегда присутствует логика изложения. Студент испытывает затруднения при приведении практических примеров.
Неудовлетворительно	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

Фонды оценочных средств представлены в приложениях к рабочей программе.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) основная литература:**

1. Пантелеев В.И. Многоцелевая оптимизация и автоматизированное проектирование управления качеством электроснабжения в электроэнергетических системах: монография [Электронный ресурс]: монография / В.И. Пантелеев, Л.Ф. Поддубных. — Электрон. дан. — Красноярск: СФУ, 2009. — 194 с.

2. Аполлонский С.М. Надежность и эффективность электрических аппаратов [Электронный ресурс]: учеб. пособие / С.М. Аполлонский, Ю.В. Куклев. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2011. — 448 с.

3. Можаяева С.В. Экономика энергетического производства [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2011. — 272 с.

4. Агарков А.П. Теория организации. Организация производства на предприятиях. Интегрированное учебное пособие [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.П. Агарков, Р.С. Голов, А.М. Голиков. — Электрон. дан. — Москва: Дашков и К, 2010. — 260 с.

5. Бочаров П.П. Теория вероятностей и математическая статистика [Электронный ресурс]: учеб. пособие / П.П. Бочаров, А.В. Печинкин. — Электрон. дан. — Москва: Физматлит, 2005. — 296 с.

### **б) дополнительная литература:**

1. Королев В.Ю. Математические основы теории риска [Электронный

ресурс]: учеб. пособие / В.Ю. Королев, В.Е. Бенинг, С.Я. Шоргин. — Электрон. дан. — Москва: Физматлит, 2011. — 620 с.

2. Диагностика автоматизированного производства [Электронный ресурс]: монография / С.Н. Григорьев [и др.]. — Электрон. дан. — Москва: Машиностроение, 2011. — 600 с.

3. Котельные установки. Том IV-18 [Электронный ресурс] / Ю.А. Рундыгин [и др.]. — Электрон. дан. — Москва: Машиностроение, 2009. — 400 с.

4. Сахин В.В. Устройство и действие энергетических установок. Кн. 2. Газовые турбины. Теплообменные аппараты: учебное пособие [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2015. — 133 с.

5. Свешников А.А. Прикладные методы теории вероятностей [Электронный ресурс]: учеб. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2012. — 480 с.

#### **в) программное обеспечение и интернет-ресурсы:**

Программное обеспечение не предусмотрено.

Интернет-ресурсы включают учебно-методические материалы в электронном виде, представленные на сайте (<http://lib.mami.ru/ebooks/> в разделе «Библиотека»).

Полезные учебно-методические и информационные материалы представлены на сайтах:

[http://window.edu.ru/catalog/resources?p\\_nr=50&p\\_rubr=2.2.75.27.7&p\\_page=3](http://window.edu.ru/catalog/resources?p_nr=50&p_rubr=2.2.75.27.7&p_page=3)

<http://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-laboratornoy-ustanovki-po-spetsialnosti-promyshlennaya-teploenergetika>

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Специализированная учебная лаборатория кафедры «Промышленная теплоэнергетика» Ауд. АВ2406, оснащенная лабораторными установками:

- «Определение коэффициента температуропроводности стали методом регулярного режима»;

- «Определение коэффициента теплопередачи при вынужденном течении жидкости в трубе (труба в трубе)»;

- «Определение коэффициента теплопередачи методом регулярного режима»;

- «Определение коэффициента теплоотдачи при пузырьковом кипении жидкости на цилиндре»;

- «Определение коэффициента теплопроводности твердых тел методом цилиндрического слоя».

Мультимедийная аудитория кафедры «Промышленная теплоэнергетика» Ауд. АВ2415, оснащенная оргтехникой и мультимедиа средствами (проектор, ПК и др.), экспериментальная котельная на базе ОАО ВТИ (на основании Договора о сотрудничестве) с системой КИП и автоматики.

## **9. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов**

1. Марюшин Л.А., Сенникова О.Б., Савельев И.Л. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов. Направление подготовки: 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», профиль «Распределенная тепловая энергетика». – М.: Изд-во Московского политеха, - 46 с.

## **10. Методические рекомендации для преподавателя**

Преподавание дисциплины «Надежность систем энергоснабжения» имеет своей целью ознакомить студентов с достижениями в области прикладной теплоэнергетики и теоретической теплотехники, добиться уяснения ими основных параметров надежности при проектировании, моделировании и эксплуатации энергооборудования и энергосистем, порядка их применения, привить им практические навыки использования этих знаний к конкретным производственным ситуациям.

Преподавание дисциплины осуществляется в соответствии с ФГОС ВО.

*Целью* методических рекомендаций является повышение эффективности теоретических и практических занятий вследствие более четкой их организации преподавателем, создания целевых установок по каждой теме, систематизации материала по курсу, взаимосвязи тем курса, полного материального и методического обеспечения образовательного процесса.

*Средства обеспечения освоения дисциплины*

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие средства:

- рекомендуемую основную и дополнительную литературу;
- методические указания и пособия;
- контрольные задания для закрепления теоретического материала;
- электронные версии федеральных законов, учебников и методических указаний для выполнения практических работ и самостоятельной работы магистров.

*Методические рекомендации по организации изучения дисциплины*

Для максимального усвоения дисциплины рекомендуется изложение лекционного материала с элементами обсуждения.

В качестве методики проведения практических занятий можно предложить

1. Семинар – обсуждение существующих точек зрения на проблему и пути ее решения.
2. Тематические доклады, позволяющие вырабатывать навыки публичных выступлений.

Для максимального усвоения дисциплины рекомендуется проведение письменного опроса (тестирование) магистров по материалам лекций и

практических работ. Подборка вопросов для тестирования осуществляется на основе изученного теоретического материала. Такой подход позволяет повысить мотивацию магистров при конспектировании лекционного материала.

Для освоения навыков поисковой и исследовательской деятельности магистр пишет контрольную работу или реферат по выбранной (свободной) теме.

*Лекции* проводятся в основном посредством метода устного изложения с элементами проблемного подхода и беседы.

*Семинарские занятия* могут иметь разные формы (работа с исследовательской литературой, анализ данных нормативной и справочной литературы, слушание докладов и др.), выбираемые преподавателем в зависимости от интересов магистров и конкретной темы.

*Самостоятельная работа* магистров включает в себя элементы реферирования и конспектирования научно-исследовательской литературы, подготовки и написания научных текстов, отработку навыков устных публичных выступлений.

Проверка качества усвоения знаний в течение семестра осуществляется в устной форме, путем обсуждения проблем, выводимых на семинарах и письменной, путем выполнения магистрами разных по форме и содержанию работ и заданий, связанных с практическим освоением содержания дисциплины. Магистры демонстрируют в ходе проверки умение анализировать значимость и выявлять специфику различных проблем и тем в рамках изучаемой дисциплины и ее компонентов, знание научной и учебно-методической литературы. Текущая проверка знаний и умений магистров также осуществляется через проведение ряда промежуточных тестирований. Итоговая аттестация по дисциплине предполагает устный зачет или экзамен, на которых проверяется усвоение материала, усвоение базовых понятий дисциплины.

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» и профилю «Распределенная тепловая энергетика».

Авторы

Доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика»  
к.т.н., доцент

Л.А. Марюшин

Программа обсуждена на заседании кафедры «Промышленная теплоэнергетика». Протокол от 30 августа 2021 г. № 1

Заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика»  
к.т.н., доцент

Л.А. Марюшин

Руководитель ООП

В.С. Тимохин

**Структура и содержание дисциплины «Надежность систем энергоснабжения» по направлению подготовки  
13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

	Раздел	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость в часах					Виды самостоятельной работы студентов					Формы аттестации		
				Л	П/С	Лаб	СРС	КСР	К.Р.	К.П.	РГР	Тест	УО	Э	З	
	Второй семестр	2														
Тема 1	Лекция	2	1	2			10									
	Семинарское занятие	2	1		1											
Тема 2	Лекция	2	2-3	3			17									
	Семинарское занятие	2	2-3		1											
	Лабораторные занятия		3			1										
Тема 3	Лекция	2	4	3			17									
	Семинарское занятие	2	4		2											
	Лабораторные занятия	2	4			2										
Тема 4	Лекция	2	5	2			16									
	Семинарское занятие	2	5-6		1											
	Лабораторные занятия	2	6			2										
Тема 5	Лекция	2	7	3			16									
	Семинарское занятие	2	7		2											
	Лабораторные занятия	2	7			2										
Тема 6	Лекция	2	8	3			16									
	Семинарское занятие	2	8													
	Лабораторные занятия		8			2										
Тема 7	Лекция	2	9	2			16									
	Семинарское занятие	2	9		2											
	Форма аттестации	2	9												+	
	Всего часов по дисциплине во втором семестре	144		18	9	9	108	0								



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Направление подготовки: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
ОП (профиль): «Распределенная тепловая энергетика»  
Форма обучения: Очная, очно-заочная

Кафедра: «Промышленная теплоэнергетика»

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**«Надежность систем энергоснабжения»**

1. Паспорт фонда оценочных средств
2. Оценочные средства
3. Перечень практических работ
4. Вопросы для самостоятельного изучения
5. Тематика лабораторных работ
6. Примеры задач для семинарских занятий
7. Вопросы для самопроверки
8. Вопросы к экзамену

Москва  
2021

## 1. Паспорт фонда оценочных средств

<b>Надежность систем энергоснабжения</b>					
<b>ФГОС ВО 13.04.01 Теплотехника и теплоэнергетика</b>					
<b>КОМПЕТЕНЦИИ</b>		<b>Перечень компонентов</b>	<b>Технология формирования</b>	<b>Форма оценочного средства</b>	<b>Степени уровней освоения компетенций</b>
<b>ИНДЕКС</b>	<b>ФОРМУЛИРОВКА</b>				
ПК-3	способность к определению потенциал энергосбережения и повышения энергетической эффективности при проведении энергосервисных мероприятий на объектах капитального строительства	Знать: методы и средства разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства	Лекция, семинарские занятия, лабораторные занятия, решение ситуационных задач, СРС	Экзамен, тестирование, устный опрос	Базовый уровень: готов к разработке мероприятий по совершенствованию технологии производства. Повышенный уровень: готов к разработке мероприятий по совершенствованию технологии производства в нестандартных производственных ситуациях с их последующим анализом

## 2. Оценочные средства

№ ОС	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в ФОС
1	Устный опрос собеседование, (УО)	Средство контроля, организованное как специальная беседа педагогического работника с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.	Вопросы по темам/разделам дисциплины
2	Тест (Т)	Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.	Фонд тестовых заданий

## 3. Перечень практических работ

1. Определение вероятностей элементарных событий.
2. Определение вероятностей сложных событий.
3. Определение вероятностей с использованием формулы полной вероятности.
4. Расчет вероятности сложных событий с использованием теоремы гипотез.
5. Решение задач с биномиальным и равномерным распределением вероятностей событий в системах энергоснабжения.
6. Пуассоновское распределение в задачах надежности энергоснабжения.
7. Разработка модели исследования системы энергоснабжения.
8. Исследование параметров надежности заданной системы в зависимости от длительности производства регламентных работ.
9. Нормальное распределение в задачах надежности энергоснабжения.
10. Экспоненциальный закон надежности.
11. Исследование параметров надежности рассматриваемой схемы в зависимости от протяженности линий связи.
12. Исследование параметров надежности системы энергоснабжения в зависимости от качества изготовления элементов энергосистем.

#### **4. Вопросы для самостоятельного изучения**

1. Понятия о режимной надежности и требования к ней: общая характеристика средств повышения устойчивости и противоаварийного управления.
2. Противоаварийное управление в схеме станция-система.
3. Противоаварийное управление в объединении из двух энергосистем соизмеримой мощности, живучесть энергосистем.
4. Выбор структуры генерирующей мощности.
5. Выбор величины установленной генерирующей мощности и величины аварийных резервов, планирование режимов генерирующей мощности, выбор структуры и величины оперативного резерва в энергосистеме, ущерба в энергетической системе от ненадежности.

#### **5. Тематика лабораторных работ**

1. Исследование дискретной и непрерывной случайных величин.
2. Освоение статистического пакета «Анализ данных» на примере исследования распределения Пуассона.
3. Статистический эксперимент, обработка первичных данных, подбор аналитической модели.
4. Исследование вероятностного явления возникновения недоотпуска электроэнергии в неоднородной концентрированной энергосистеме.
5. Построение компьютерной вероятностной модели нарушения связи источников питания с узлом нагрузки в энергосети.

Все лабораторные работы выполняются в соответствии с «Методическими указаниями по выполнению лабораторных работ по курсу «Надежность систем энергоснабжения»».

## 6. Примеры задач для семинарских занятий

**Задача 1.** Вероятность выхода из строя электрического прибора равна  $P$ . Для повышения надёжности в прибор поставлены  $m$  дублирующих ветвей. Определить, во сколько раз ( $k$ ) увеличится надёжность прибора, если под надёжностью понимать вероятность безотказной работы.

*Решение:* Вероятность того, что откажут все параллельные ветви

$$\text{(событие } A\text{): } P(A) = \prod_{i=1}^m P_i = P^m.$$

Вероятность того, что не откажет хотя бы одна из параллельных ветвей (событие  $B$ ):  $P(B) = 1 - P(A) = 1 - P^m$ .

Надёжность одной ветви:  $R = 1 - P$

$$\text{Искомая величина: } k = \frac{P(B)}{R} = \frac{1 - P^m}{1 - P}$$

*Дополнение:* При относительно малых вероятностях повреждений, которые характерны для элементов ЭЭС, например  $P = 0,01$ :

$$k_2 = \frac{1 - (0,01)^2}{1 - 0,01} = 0,01, \quad k_3 = \frac{1 - (0,01)^3}{1 - 0,01} = 1,0101.$$

**Задача 2.** Две цепи электроснабжения работают параллельно на общую нагрузку (рис. 1.3). Вероятность аварийного простоя одной цепи  $q_1 = 0,6 \cdot 10^{-3}$ , второй  $q_2 = 0,8 \cdot 10^{-3}$ . Принимая аварийные состояния цепей независимыми, определить вероятность аварийного простоя двухцепной электропередачи для двух случаев:

а) отказ электропередачи происходит при отказе одной из цепей (любой);

б) отказ электропередачи происходит при отказе только обеих цепей.

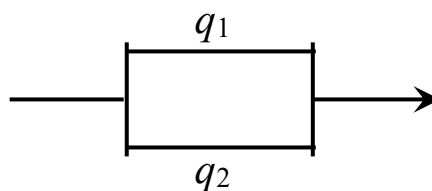


Рис. 1. Схема питания

*Решение:*

а) На основании теоремы сложения вероятностей (логическая схема «или»):

$$q = q_1 + q_2 = 0,6 \cdot 10^{-3} + 0,8 \cdot 10^{-3} = 1,4 \cdot 10^{-3}.$$

б) На основании теоремы умножения вероятностей (логическая схема «и»):

$$q = q_1 \cdot q_2 = (0,6 \cdot 10^{-3}) \cdot (0,8 \cdot 10^{-3}) = 4,8 \cdot 10^{-6}$$

*Дополнение:* Вероятность безаварийной работы:

$$P = P_1 + P_2 - P_1 P_2 = 0,9994 + 0,9992 - 0,9994 \cdot 0,9992 = 0,9999996.$$

**Задача 3.** Питание потребителя осуществляется по одной цепи, состоящей из кабельной линии, трансформатора, выключателя (рис. 2). Вероятность безотказной работы за время  $t$  для этих элементов:  $P_{\text{кл}} = 0,7, P_{\text{Т}} = 0,8, P_{\text{В}} = 0,9$ . Отказ любого элемента приводит к перерыву питания, причем отказы взаимно независимы. Найти вероятность безотказной работы передачи.

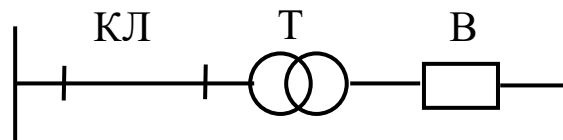


Рис. 2. Схема питания

*Решение:* Обозначим:  $A_{\text{КЛ}}$  — безотказная работа линии,  $A_{\text{Т}}$  — трансформатора,  $A_{\text{В}}$  — выключателя,  $A$  — всей системы. По теореме умножения для независимых событий:

$$P(A) = P(A_{\text{КЛ}}) \cdot P(A_{\text{Т}}) \cdot P(A_{\text{В}}) = 0,7 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 0,504.$$

*Дополнение:* Вероятность отказа этой системы:

$$P(B) = (1 - P_{\text{КЛ}}) + (1 - P_{\text{Т}}) + (1 - P_{\text{В}}) - (1 - P_{\text{КЛ}})(1 - P_{\text{Т}}) - (1 - P_{\text{КЛ}})(1 - P_{\text{В}}) - (1 - P_{\text{Т}})(1 - P_{\text{В}}) + (1 - P_{\text{КЛ}})(1 - P_{\text{Т}})(1 - P_{\text{В}}).$$

**Задача 4.** Силовые трансформаторы изготавливаются тремя заводами, причем вероятность того, что трансформатор выпущен на первом заводе равна 0,2, на втором — 0,3, на третьем — 0,5. Вероятности того, что при определённых условиях работы трансформатор сохранит работоспособность в течение 25 лет, для первого, второго и третьего заводов соответственно равны: 0,9; 0,92; 0,808. Чему равна вероятность того, что поступивший для монтажа трансформатор сохранит работоспособность в течение 25 лет?

*Решение:* Этот трансформатор может оказаться с первого завода (событие  $H_1$ ), со второго ( $H_2$ ), с третьего ( $H_3$ ). Интересующее нас событие  $A$  имеет вероятность

$$P(A) = \sum_{i=1}^3 P(H_i) \cdot P(A|H_i) = 0,2 \cdot 0,9 + 0,3 \cdot 0,92 + 0,5 \cdot 0,808 = 0,86.$$

**Задача 5.** Энергосистема ограничивает промышленное предприятие в потреблении электрической мощности. При этом в течение года возможны дефициты в 5, 10 и 15 МВт с вероятностями соответственно 0,001, 0,0004 и 0,0002. Определить математическое ожидание недоотпуска электроэнергии промышленному предприятию за год.

*Решение:*

$$M[P] = \sum_{i=1}^3 p_i x_i = 0,001 \cdot 5 + 0,0004 \cdot 10 + 0,0002 \cdot 15 = 0,012 \text{ МВт}.$$

В году 8760 часов.  $M[W] = 8760 \cdot M[P] = 8760 \cdot 0,012 = 105,12$  МВт·ч.

**Задача 6.** Пропускная способность канала связи в системах телемеханики зависит от появления ошибки внутри канала (рис. 3). На вход канала могут подаваться два сигнала  $x_1$  и  $x_2$ . На выходе принимаются соответственно  $y_1$  и  $y_2$ ; 40 % времени канал занят передачей сигнала  $x_1$  и 60% времени – сигнала  $x_2$ . Вероятность безошибочной передачи сигнала  $x_1$  как  $y_1$  равна 0,75. Вероятность того, что входной сигнал  $x_1$  будет ошибочно принят как  $y_2$ , равна 0,25. Аналогично, вероятность того, что сигнал, первоначально переданный как  $x_2$  будет принят, как  $y_2$  и  $y_1$  равна соответственно 0,9 и 0,1. При заданных условиях получен выходной сигнал  $y_1$ .

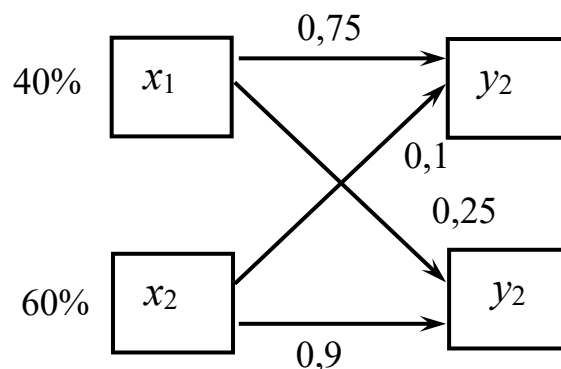


Рис. 1.4. Схема канала связи

Какова вероятность того, что исходный сигнал был  $x_1$ ?

*Решение:* Вероятности гипотез:

$$P(H_1) = 0,4, P(H_2) = 0,6.$$

Условные вероятности события «получен входной сигнал  $y_1$ » равны:

$$P(y_1|H_1) = 0,75, P(y_1|H_2) = 0,25.$$

По теореме Байеса:

$$P(H_1|y_1) = \frac{P(H_1)P(y_1|H_1)}{P(H_1)P(y_1|H_1) + P(H_2)P(y_1|H_2)} = \frac{0,4 \cdot 0,75}{0,4 \cdot 0,75 + 0,6 \cdot 0,1} = 0,83$$

## 7. Вопросы для самопроверки

1. Назовите главные цели курса надежности энергосистем.
2. Понятие надежности оборудования, установки или системы.
3. Перечислите задачи оценки схемной и режимной надежности.
4. Понятия случайного события и случайной величины.
5. Случайные события, их частота и вероятность.
6. Понятия несовместного и совместного событий.
7. Сущность закона больших чисел и его проявления.
8. Понятия дискретной и непрерывной случайных (вероятностных) величин.
9. Представление случайной величины статистическим рядом распределения.
10. Интегральная и дифференциальная функции распределения случайной величины.
11. Понятие математического ожидания случайной величины.
12. Понятие дисперсии случайной величины.
13. Для чего рассчитываются числовые характеристики случайных величин?
14. Способы или формы представления случайных величин.
15. Кратко опишите способы графического представления случайных величин.
16. Сглаживание статистических рядов и их роль при подборе аналитических описаний распределений.
17. Суть методов сглаживания аддитивных и мультипликативных составляющих в экспериментальных данных вероятностных экспериментов.
18. Каким образом можно оценить качество аналитического описания статистического материала?
19. Понятия аварийного, ремонтного, эксплуатационного и нагрузочного резервов.
20. Представление о недоотпуске энергии на примере простейшей вероятностной модели энергосистемы типа «генерация-потребление».
21. Что такое датчик случайных чисел?
22. Опишите общую схему определения недоотпуска электроэнергии методом статистических испытаний.
23. Как распределяется случайная величина нерегулярных отклонений графика нагрузки от прогнозируемого?
24. Что такое ряд распределения коэффициентов располагаемой мощности групп однотипных генераторов?
25. Что такое ряд распределения коэффициентов нерегулярных отклонений нагрузки?
26. Что такое функция распределения коэффициентов располагаемой мощности группы однотипных генераторов?
27. Что такое функция распределения коэффициентов нерегулярных отклонений нагрузки?



28. Представление о схемной надежности.
29. Понятие отказа, виды отказов.
30. Частота отказов, характерный график изменения частоты отказов в течение срока эксплуатации оборудования.
31. Представление о доверительной вероятности случайной величины.
32. Понятие времени восстановления.
33. Понятие наработки на отказ.
34. Понятие коэффициента готовности.
35. Понятие коэффициента вынужденного простоя.
36. Понятие вероятности безотказной работы.
37. Понятие частоты плановых ремонтов.
38. Понятие коэффициента планового ремонтного простоя.

## 8. Вопросы к экзамену

1. Техническая и математическая постановка задачи.
2. Области приложения вероятностных методов расчета в энергоснабжении.
3. Классификация случайных событий в задачах энергоснабжения.
4. Зависимые и независимые, совместные и несовместные события.
5. Модели отказов элементов систем электроснабжения.
6. Внезапные и постепенные отказы элементов.
7. Формирование модели внезапных отказов.
8. Формирование модели постепенных отказов.
9. Причины повреждений основных элементов энергосетей.
10. Случайные события как простейшая вероятностная модель.
11. Основные теоремы теории вероятности в решении задач надежности энергоснабжения.
12. Основные правила определения вероятности сложных событий, их применение к задачам энергоснабжения.
13. Формула полной вероятности.
14. Теорема гипотез.
15. Ряд распределения.
16. Многоугольник распределения.
17. Закон распределения случайных величин.
18. Функция распределения непрерывной случайной величины.
18. Свойства функции распределения.
19. Вероятность попадания случайной величины на заданный участок по функции распределения.
20. Плотность распределения случайной величины.
21. Кривая распределения случайной величины.
22. Вероятность попадания случайной величины на заданный участок по кривой распределения.
23. Характеристики положения.
24. Математическое ожидание.
25. Мода случайной величины.
26. Полимодальные распределения.
27. Медиана случайной величины.
28. Начальные моменты случайной величины.
30. Центральные моменты случайной величины.
31. Дисперсия и среднее квадратическое отклонение случайной величины.
32. Вид асимметрии распределения случайных величин.
33. Свойства числовых характеристик случайных величин.
34. Биномиальное распределение случайных величин в задачах надежности энергоснабжения.
35. Задачи, решаемые с помощью биномиального распределения.
36. Формула Бернулли.

37. Схема Бернулли как модель включенного, выключенного состояний элементов.
38. Распределение вероятностей.
39. Коэффициенты разложения бинома.
40. Распределение Пуассона – модель для оценки вероятности наступления определенного числа событий.
41. Определение распределения Пуассона.
42. Формула Пуассона.
43. Многоугольники распределения. Числовые характеристики.
44. Задачи, решаемые с использованием распределения Пуассона.
45. Поток событий.
46. Свойства пуассоновского потока событий.
47. Задачи, решаемые в пуассоновском потоке событий.
48. Показательное распределение – модель оценки наработки на отказ.
49. Определение показательного распределения.
50. Плотность и функция распределения показательного закона.
51. Вероятность попадания в заданный интервал показательно распределенной случайной величины.
52. Числовые характеристики показательного распределения.
53. Функция надежности. Показательный закон надежности.
54. Закон равномерного распределения вероятностей.
55. Определение задач практики, распределяющихся по закону равномерной плотности.
56. Функция распределения для равномерной плотности. Числовые характеристики.
57. Нормальный закон распределения нагрузки в системах энергоснабжения.
58. Особенность нормального закона распределения случайных величин в системах энергоснабжения.
59. Плотность вероятности распределения.
60. Оценка воздействий числовых характеристик – математического ожидания и среднего квадратического отклонения на форму кривой распределения нормального закона.
61. Функция распределения нормального закона.
62. Вероятность попадания случайной величины на заданный участок.
63. Вероятность отклонения случайной величины относительно центра рассеивания.
64. Правило трех сигм.
65. Метод расчета показателей надежности схем энергоснабжения по средним значениям вероятностей состояния элементов.
66. Понятие «элемент» и «система» в расчетах надежности.
67. Средние вероятности состояния элемента.
68. Использование статистических данных состояния элементов.
69. Вероятности отказового и безотказового состояния схем с последовательным соединением элементов.

70. Вероятности отказового и безотказового состояния схем с параллельным соединением элементов.

71. Метод анализа вероятностей состояний системы и метод с использованием формулы полной вероятности.

72. Определение показателей надежности различных состояний системы с учетом логики функционирования сети.

73. Преимущества метода анализа вероятностей состояний.

74. Область применения и последовательность расчетов.

75. Интерпретация формулы полной вероятности для определения надежной работы схемы. Область ее приложения.

76. Теорема разложения на множители как средство практического применения формулы полной вероятности в расчетах надежности схем энергоснабжения.

77. Расчет схемы типа «мостик».

78. Расчет схемы типа «двойной мостик».

79. Методы структурного анализа сложных схем и использование их для оценки надежности.

80. Применение методов структурного анализа для исследования схем систем энергоснабжения.

81. Задачи, решаемые с помощью методов минимальных путей и минимальных сечений.

82. Минимальные пути для схемы типа «мостик».

83. Минимальные сечения для схемы типа «мостик».

84. Правило определения надежной работы схем по методу минимальных путей.

85. Определение отказового состояния схем по методу минимальных сечений.

86. Характеристики потребителей и последствия от нарушения их энергоснабжения.

87. Характеристика потребителей и их требований к надежности.

88. Ущерб от нарушений энергоснабжения.

89. Нормирование показателей надежности энергоснабжения.