

Методические материалы для обучающихся
по освоению дисциплины

Надежность систем теплоснабжения
наименование дисциплины

Направление подготовки: 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»
код и наименование направления подготовки / специальности

Направленность (профиль): Энергообеспечение в Арктической зоне РФ
наименование направленности (профиля) / специализации

Составитель – Судак С.Н., канд. техн. наук, доцент кафедры строительства, энергетики и транспорта ФГАОУ ВО «МГТУ»

Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины «Надежность электроснабжения» рассмотрены и одобрены на заседании кафедры СЭиТ «07» марта 2024г., протокол № 7

Общие положения

Цель методических материалов по освоению дисциплины - получение знаний о современной теории надежности в технике и применении её методов в системах электроснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства транспортных систем.

Освоение дисциплины осуществляется на аудиторных занятиях и в процессе самостоятельной работы обучающихся. Основными видами аудиторной работы по дисциплине являются занятия лекционного и семинарского типа. Конкретные формы аудиторной работы обучающихся представлены в учебном плане образовательной программы и в рабочих программах дисциплин.

Изучение рекомендуется начать с ознакомления с рабочей программой дисциплины (модуля), ее структурой и содержанием, фондом оценочных средств.

Работая с рабочей программой, необходимо обратить внимание на следующее:

- некоторые разделы или темы дисциплины не разбираются на лекциях, а выносятся на самостоятельное изучение по рекомендуемому перечню основной и дополнительной литературы и учебно-методическим разработкам;

- усвоение теоретических положений, методик, расчетных формул, входящих в самостоятельно изучаемые темы дисциплины, необходимо самостоятельно контролировать с помощью вопросов для самоконтроля;

- содержание тем, вынесенных на самостоятельное изучение, в обязательном порядке входит составной частью в темы текущего контроля и промежуточной аттестации.

Каждая рабочая программа по дисциплине сопровождается методическими материалами по ее освоению.

Отдельные учебно-методические разработки по дисциплине учебные пособия или конспекты лекций, методические рекомендации по выполнению практических работ и решению задач и т.п. размещены в ЭИОС МАУ.

Обучающимся рекомендуется получить в библиотеке МАУ учебную литературу, необходимую для работы на всех видах аудиторных занятий, а также для самостоятельной работы по изучению дисциплины.

Виды учебной работы, сроки их выполнения, запланированные по дисциплине, а также система оценивания результатов, зафиксированы в технологической карте дисциплины:

Таблица 1 - Технологическая карта дисциплины (промежуточная аттестация - зачет с оценкой)

Дисциплина «Надежность систем теплоснабжения»

№	Контрольные точки	Зачетное количество баллов		График прохождения
		min	max	
Текущий контроль				
1.	Посещение лекций (11 лекции)	20	33	16-ая неделя
Нет посещений – 0 баллов, (3 лекции) 25 % - 2,75 баллов; (11 лекции) 75% - 8,25 баллов; (11 лекции) 100 % - 20 баллов				
2.	Практические работы (11 пр.р.)	20	33	По расписанию
Выполнение одной пр в срок – 3 балла, не в срок – 1,8 балла (выполнение фиксируется преподавателем)				
Выполнение и защита расчетно-графической работы		20	34	

Выполнение одной п/р в срок – 34 балла, не в срок – 20 баллов (выполнение фиксируется преподавателем)			
ИТОГО	60	100	16-ая неделя
Промежуточная аттестация – зачет с оценкой			
ИТОГОВЫЕ БАЛЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	60	100	
<p>Если обучающийся набрал зачетное количество баллов согласно установленному диапазону по дисциплине с дифференцированным зачетом, то он считается аттестованным с оценкой согласно шкале баллов для определения итоговой оценки:</p> <p>91 - 100 баллов - оценка «5» 81-90 баллов - оценка «4» 60-80 баллов - оценка «3» менее 60 баллов - оценка «2»</p> <p>Итоговая оценка проставляется в ведомость и зачетную книжку обучающегося</p>			

Работа по изучению дисциплины должна носить систематический характер. Для успешного усвоения теоретического материала по предлагаемой дисциплине необходимо регулярно посещать лекции, активно работать на учебных занятиях, выполнять письменные работы по заданию преподавателя, перечитывать лекционный материал, значительное внимание уделять самостоятельному изучению дисциплины.

Важным условием успешного освоения дисциплины является создание самим обучающимся системы правильной организации труда, позволяющей распределить учебную нагрузку равномерно в соответствии с календарным учебным графиком.

1. Методические рекомендации при работе на занятиях лекционного типа

К занятиям **лекционного типа** относятся лекции и иные учебные занятия, предусматривающие преимущественную передачу учебной информации преподавателем.

Лекция представляет собой последовательное изложение преподавателем учебного материала, как правило, теоретического характера. Цель лекционного занятия – организация целенаправленной познавательной деятельности обучающихся по овладению программным материалом учебной дисциплины.

В ряде случаев лекция выполняет функцию основного источника информации, например, при отсутствии учебников и учебных пособий; в случае, когда новые научные данные по той или иной теме не нашли отражения в учебниках; отдельные разделы и темы очень сложные для самостоятельного изучения обучающимися.

В ходе проведения занятий лекционного типа необходимо вести конспектирование излагаемого преподавателем материала.

Наиболее точно и подробно в ходе лекции записываются следующие аспекты: название лекции; план; источники информации по теме; понятия, определения; основные формулы; схемы; принципы; методы; законы; гипотезы; оценки; выводы и практические рекомендации.

Конспект - это не точная запись текста лекции, а запись смысла, сути учебной информации. Конспект пишется для последующего чтения и это значит, что формы записи следует делать такими, чтобы их можно было легко и быстро прочитать спустя некоторое время. Конспект должен облегчать понимание и запоминание учебной информации.

Рекомендуется задавать лектору уточняющие вопросы с целью углубления теоретических положений, разрешения противоречивых ситуаций. При подготовке к занятиям семинарского типа, можно дорабатывать свой конспект лекции, делая в нем соответствующие записи из изученной литературы, указанной в рабочей программе дисциплины.

Тематика лекций дается в рабочей программе дисциплины.

2. Методические рекомендации по подготовке и работе на практических занятиях

Практическое занятие - это форма организации учебного процесса, предполагающая выполнение студентами по заданию и под руководством преподавателя одной или нескольких практических работ. И если на лекции основное внимание студентов сосредоточивается на разъяснении теории конкретной учебной дисциплины, то практические занятия служат для обучения методам ее применения. Главной их целью является усвоение метода использования теории, приобретение практических умений, необходимых для изучения последующих дисциплин.

Подготовку к практическому занятию лучше начинать сразу же после лекции по данной теме или консультации преподавателя. Необходимо подобрать литературу, которая рекомендована для подготовки к занятию и просмотреть ее. Любая теоретическая проблема должна быть осмыслена студентом с точки зрения ее связи с реальной жизнью и возможностью реализации на практике.

Целью практических занятий является закрепление теоретических знаний и навыков самостоятельной работы, полученных в процессе обучения по данной дисциплине.

Задачи практических занятий:

1. Выработать навыки по практическому использованию знаний в области надежности электроснабжения.

2. Развить у студентов навыки самостоятельной работы с учебником, законодательными, подзаконными и нормативными актами, умение работать в команде.

Практические занятия рекомендуется проводить согласно следующему плану. План проведения практического занятия.

1. Цель занятия.

2. Краткие теоретические сведения.

3. Блиц-опрос студентов.

4. Решение задач.

5. Анализ качества выполнения индивидуальных домашних заданий и разбор типовых ошибок.

6. Выводы и обобщение результатов.

7. Домашнее задание и задание на самостоятельную проработку.

На первом занятии целесообразно устроить входной контроль, на последнем – комплексную проверку качества знаний студентов. При изложении кратких теоретических сведений рекомендуется систематизировать и обобщить материал, выделив при этом главные моменты. В процессе изложения материала целесообразно вовлекать студентов в его анализ, активизировать процесс мышления студентов за счет средств интенсивного обучения. Блиц-опрос студентов или небольшая самостоятельная работа по теме практического занятия позволят лучше усвоить ход решения задач, понять их сущность. При решении задач можно использовать разные формы.

Например, преподаватель, решая задачу на доске, поясняет ее и привлекает к работе всю группу путем вопросов, постоянно подводя студентов к правильному решению. Другая форма решения задач - самостоятельная работа студентов под контролем преподавателя с пояснением наиболее трудных моментов. Возможно решение задачи на доске студентом, но в этом случае преподаватель руководит процессом решения и вовлекает в работу всю группу. Как правило, защита индивидуальных домашних заданий должна проводиться во внеаудиторное время, а на практическом занятии следует показать типовые ошибки, проанализировать результаты выполнения и защиты индивидуальных заданий, отметить лучшие и худшие из них, предложить студентам в виде деловой игры принять решение по устранению замечаний.

Индивидуальное домашнее задание может выдаваться по расчетно-графической работе. В конце практического занятия преподаватель называет тему следующего, указывает разделы теоретического материала, которые студент должен освоить для наиболее эффективного решения задач, выдает домашнее задание. В процессе проведения практических занятий используются классические и современные педагогические технологии. Итогом практических занятий является выполнение расчетно-графической работы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

Тема: **Определение вероятностей отказов и безотказной работы систем**

Цель:

- приобретение знаний по теме и закрепления теоретического материала, изученного на лекциях и самостоятельно.
- научиться определять вероятности передачи мощности при различных нарушениях в электроснабжении и вероятности безотказной работы для простейших схем систем;
- повышение навыков и умения в анализе надежности систем теплоснабжения, энергетических систем.

При подготовке к практическому занятию используется теоретический материал и примеры решения задач, изложенный в [1, 2].

Необходимые средства обучения: В процессе обучения студенты используют

- слайд-показ учебного материала,
- методические указания по теме практической работы;

План проведения практического занятия.

1. Цель занятия.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Блиц-опрос студентов.
4. Решение задач.
5. Анализ качества выполнения индивидуальных домашних заданий и разбор типовых ошибок.
6. Выводы и обобщение результатов.
7. Домашнее задание и задание на самостоятельную проработку.

Используемая литература:

1. Беляев С.А., Литвак В.В., Солод, С.С.. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС. – Томск: Изд-во НТЛ, 2008 – 218 с. <https://e.lanbook.com/book>
2. Надежность систем энергетики и их оборудования: Справочное издание. В 4 т. Т.4: Надежность систем теплоснабжения / Е.В. Сеннова, А.В. Смирнов, А.А. Ионин и др. – Новосибирск: Наука, 2000. – 351 с.
3. Савина Н.В. Надежность систем электроэнергетики [электронный ресурс]: учеб. пособие/ Н.В. Савина – Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2011. – 268 с., 1898 Кб. Режим доступа: <http://rucont.ru>

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

Тема: **Составление функции работоспособности (ФР) и неработоспособности (ФНР) схемы: модели отказов невосстанавливаемых элементов**

Цель:

- приобретение знаний по теме и закрепления теоретического материала, изученного на лекциях и самостоятельно.
- научиться составлять функции работоспособности (ФР) и неработоспособности (ФНР) схемы: модели отказов восстанавливаемых элементов;
- повышение навыков и умения в анализе надежности систем электроснабжения, электроэнергетических систем.

При подготовке к практическому занятию используется теоретический материал и примеры решения задач, изложенный в [1].

Необходимые средства обучения: В процессе обучения студенты используют

- слайд-показ учебного материала,
- методические указания по теме практической работы;

План проведения практического занятия.

1. Цель занятия.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Блиц-опрос студентов.
4. Решение задач.
5. Анализ качества выполнения индивидуальных домашних заданий и разбор типовых ошибок.
6. Выводы и обобщение результатов.
7. Домашнее задание и задание на самостоятельную проработку.

Используемая литература:

1. Беляев С.А., Литвак В.В., Солод, С.С.. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС. – Томск: Изд-во НТЛ, 2008 – 218 с. <https://e.lanbook.com/book>

2. Надежность систем энергетики и их оборудования: Справочное издание. В 4 т. Т.4: Надежность систем теплоснабжения / Е.В. Сеннова, А.В. Смирнов, А.А. Ионин и др. – Новосибирск: Наука, 2000. – 351 с.

3. Савина Н.В. Надежность систем электроэнергетики [электронный ресурс]: учеб. пособие/ Н.В. Савина – Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2011. – 268 с., 1898 Кб. Режим доступа: <http://rucont.ru>

4. Назарычев А. Н. Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей [Электронный учебник] : учебное пособие / Назарычев А. Н.. - Инфра-Инженерия, 2006 - Режим доступа: <http://iprbookshop.ru/5073>

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

Тема: Составление функции работоспособности (ФР) и неработоспособности (ФНР) схемы: модели отказов восстанавливаемых элементов

Цель:

- приобретение знаний по теме и закрепления теоретического материала, изученного на лекциях и самостоятельно.
- научиться составлять функции работоспособности (ФР) и неработоспособности (ФНР) схемы: модели отказов восстанавливаемых элементов;
- повышение навыков и умения в анализе надежности систем электроснабжения, электроэнергетических систем.

При подготовке к практическому занятию используется теоретический материал и примеры решения задач, изложенный в [1].

Необходимые средства обучения: В процессе обучения студенты используют

- слайд-показ учебного материала,
- методические указания по теме практической работы;

План проведения практического занятия.

1. Цель занятия.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Блиц-опрос студентов.
4. Решение задач.
5. Анализ качества выполнения индивидуальных домашних заданий и разбор типовых ошибок.
6. Выводы и обобщение результатов.
7. Домашнее задание и задание на самостоятельную проработку.

Используемая литература:

1. Беляев С.А., Литвак В.В., Солод, С.С.. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС. – Томск: Изд-во НТЛ, 2008 – 218 с. <https://e.lanbook.com/book>
2. Надежность систем энергетики и их оборудования: Справочное издание. В 4 т. Т.4: Надежность систем теплоснабжения / Е.В. Сеннова, А.В. Смирнов, А.А. Ионин и др. – Новосибирск: Наука, 2000. – 351 с.
3. Савина Н.В. Надежность систем электроэнергетики [электронный ресурс]: учеб. пособие/ Н.В. Савина – Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2011. – 268 с., 1898 Кб. Режим доступа: <http://rucont.ru>
4. Назарычев А. Н. Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей [Электронный учебник] : учебное пособие / Назарычев А. Н.. - Инфра-Инженерия, 2006 - Режим доступа: <http://iprbookshop.ru/5073>

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

Тема: Составление расчетных схем и схем замещения

Цель:

- приобретение знаний по теме и закрепления теоретического материала, изученного на лекциях и самостоятельно.
- научиться составлять расчетные схемы и схемы замещения;
- повышение навыков и умения в анализе надежности систем электроснабжения, электроэнергетических систем.

При подготовке к практическому занятию используется теоретический материал и примеры решения задач, изложенный в [1,2].

Необходимые средства обучения: В процессе обучения студенты используют

- слайд-показ учебного материала,
- методические указания по теме практической работы;

План проведения практического занятия.

1. Цель занятия.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Блиц-опрос студентов.
4. Решение задач.
5. Анализ качества выполнения индивидуальных домашних заданий и разбор типовых ошибок.
6. Выводы и обобщение результатов.
7. Домашнее задание и задание на самостоятельную проработку.

Используемая литература:

1. Беляев С.А., Литвак В.В., Солод, С.С.. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС. – Томск: Изд-во НТЛ, 2008 – 218 с. <https://e.lanbook.com/book>
2. Надежность систем энергетики и их оборудования: Справочное издание. В 4 т. Т.4: Надежность систем теплоснабжения / Е.В. Сеннова, А.В. Смирнов, А.А. Ионин и др. – Новосибирск: Наука, 2000. – 351 с.
3. Савина Н.В. Надежность систем электроэнергетики [электронный ресурс]: учеб. пособие/ Н.В. Савина – Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2011. – 268 с., 1898 Кб. Режим доступа: <http://rucont.ru>
4. Назарычев А. Н. Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей [Электронный учебник] : учебное пособие / Назарычев А. Н.. - Инфра-Инженерия, 2006 - Режим доступа: <http://iprbookshop.ru/5073>
2. Волков Н. Г. Надежность электроснабжения. Учеб. пособие/ Том. политех. ун- т. – Томск, 2003. – 140 с. 1898 Кб. Режим доступа: <http://rucont.ru>

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5

Тема: **Представление в аналитическом виде показателей надежности системы**

Цель:

- приобретение знаний по теме и закрепления теоретического материала, изученного на лекциях и самостоятельно.
 - научиться определять в аналитическом виде показатели надежности системы;
 - повышение навыков и умения в анализе надежности систем теплоснабжения, электроэнергетических систем.
- При подготовке к практическому занятию используется теоретический материал и примеры решения задач, изложенный в [1,2].

Необходимые средства обучения: В процессе обучения студенты используют

- слайд-показ учебного материала,
- методические указания по теме практической работы;

План проведения практического занятия.

1. Цель занятия.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Блиц-опрос студентов.
4. Решение задач.
5. Анализ качества выполнения индивидуальных домашних заданий и разбор типовых ошибок.
6. Выводы и обобщение результатов.
7. Домашнее задание и задание на самостоятельную проработку.

Используемая литература:

1. Беляев С.А., Литвак В.В., Солод, С.С.. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС. – Томск: Изд-во НТЛ, 2008 – 218 с. <https://e.lanbook.com/book>
2. Надежность систем энергетики и их оборудования: Справочное издание. В 4 т. Т.4: Надежность систем теплоснабжения / Е.В. Сеннова, А.В. Смирнов, А.А. Ионин и др. – Новосибирск: Наука, 2000. – 351 с.
3. Белкин, А. П. Диагностика теплоэнергетического оборудования : учебное пособие / А.П. Белкин, О. А. Степанов. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020 — 240 с. <https://e.lanbook.com/book/1392554>
4. Савина Н.В. Надежность систем электроэнергетики [электронный ресурс]: учеб. пособие/ Н.В. Савина – Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2011. – 268 с., 1898 Кб. Режим доступа: <http://rucont.ru>
5. Назарычев А. Н. Справочник инженера по наладке, совершенствованию

технологии и эксплуатации электрических станций и сетей [Электронный учебник] : учебное пособие / Назарычев А. Н. - Инфра-Инженерия, 2006 - Режим доступа: <http://iprbookshop.ru/5073>

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6

Тема: **Расчет надежности систем логико-вероятностным методом.**

Цель:

- приобретение знаний по теме и закрепления теоретического материала, изученного на лекциях и самостоятельно.
- изучить принципы расчета надежности энергетических установок методом дерева отказов;
- научиться использовать логико-вероятностный метод при оценке надежности схем систем;
- повышение навыков и умения в анализе надежности систем теплоснабжения, Порядок и основные.

При подготовке к практическому занятию используется теоретический материал и примеры решения задач, изложенный в [1,2].

Необходимые средства обучения: В процессе обучения студенты используют

- слайд-показ учебного материала,
- методические указания по теме практической работы;

План проведения практического занятия.

1. Цель занятия.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Блиц-опрос студентов.
4. Решение задач.
5. Анализ качества выполнения индивидуальных домашних заданий и разбор типовых ошибок.
6. Выводы и обобщение результатов.
7. Домашнее задание и задание на самостоятельную проработку.

Используемая литература:

1. Беляев С.А., Литвак В.В., Солод, С.С.. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС. – Томск: Изд-во НТЛ, 2008 – 218 с. <https://e.lanbook.com/book>
2. Надежность систем энергетики и их оборудования: Справочное издание. В 4 т. Т.4: Надежность систем теплоснабжения / Е.В. Сеннова, А.В. Смирнов, А.А. Ионин и др. – Новосибирск: Наука, 2000. – 351 с.
3. Белкин, А. П. Диагностика теплоэнергетического оборудования : учебное пособие / А.П. Белкин, О. А. Степанов. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020 — 240 с. <https://e.lanbook.com/book/1392554>
4. Савина Н.В. Надежность систем электроэнергетики [электронный ресурс]: учеб. пособие/ Н.В. Савина – Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2011. – 268 с., 1898 Кб. Режим доступа: <http://rucont.ru>
5. Назарычев А. Н. Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей [Электронный учебник] : учебное пособие / Назарычев А. Н. - Инфра-Инженерия, 2006 - Режим доступа: <http://iprbookshop.ru/5073>

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №7.

Тема: **Определение надёжности системы со схемами последовательного и параллельного соединения элементов. Эквивалентирование.**

Цель:

- приобретение знаний по теме и закрепления теоретического материала, изученного на лекциях и самостоятельно.
- повышение навыков и умения эквивалентировать группы элементов систем теплоснабжения.

При подготовке к практическому занятию используется теоретический материал и примеры решения задач, изложенный в [1,2].

Необходимые средства обучения: В процессе обучения студенты используют

- слайд-показ учебного материала,
- методические указания по теме практической работы;

План проведения практического занятия.

1. Цель занятия.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Блиц-опрос студентов.
4. Решение задач.
5. Анализ качества выполнения индивидуальных домашних заданий и разбор типовых ошибок.
6. Выводы и обобщение результатов.
7. Домашнее задание и задание на самостоятельную проработку.

Используемая литература:

1. Беляев С.А., Литвак В.В., Солод, С.С.. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС. – Томск: Изд-во НТЛ, 2008 – 218 с. <https://e.lanbook.com/book>
2. Надежность систем энергетики и их оборудования: Справочное издание. В 4 т. Т.4: Надежность систем теплоснабжения / Е.В. Сеннова, А.В. Смирнов, А.А. Ионин и др. – Новосибирск: Наука, 2000. – 351 с.
3. Савина Н.В. Надежность систем электроэнергетики [электронный ресурс]: учеб. пособие/ Н.В. Савина – Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2011. – 268 с., 1898 Кб. Режим доступа: <http://rucont.ru>
4. Назарычев А. Н. Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей [Электронный учебник] : учебное пособие / Назарычев А. Н.. - Инфра-Инженерия, 2006 - Режим доступа: <http://iprbookshop.ru/5073>

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 8.

**Тема: Резервирование: нагруженный (горячий) и ненагруженный (холодный) резерв
Последовательность решения задач надежности.**

Цель:

- приобретение знаний по теме и закрепления теоретического материала, изученного на лекциях и самостоятельно.
- научиться применять модели внезапных отказов нерезервируемых и резервируемых систем, определять кратность резервирования;

При подготовке к практическому занятию используется теоретический материал и примеры решения задач, изложенный в [1,2].

Необходимые средства обучения: В процессе обучения студенты используют

- слайд-показ учебного материала,
- методические указания по теме практической работы;

План проведения практического занятия.

1. Цель занятия.
2. Краткие теоретические сведения.

3. Блиц-опрос студентов.
4. Решение задач.
5. Анализ качества выполнения индивидуальных домашних заданий и разбор типовых ошибок.
6. Выводы и обобщение результатов.
7. Домашнее задание и задание на самостоятельную проработку.

Используемая литература:

5. Беляев С.А., Литвак В.В., Солод, С.С.. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС. – Томск: Изд-во НТЛ, 2008 – 218 с. <https://e.lanbook.com/book>

6. Надежность систем энергетики и их оборудования: Справочное издание. В 4 т. Т.4: Надежность систем теплоснабжения / Е.В. Сеннова, А.В. Смирнов, А.А. Ионин и др. – Новосибирск: Наука, 2000. – 351 с.

7. Савина Н.В. Надежность систем электроэнергетики [электронный ресурс]: учеб. пособие/ Н.В. Савина – Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2011. – 268 с., 1898 Кб. Режим доступа: <http://rucont.ru>

8. Назарычев А. Н. Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей [Электронный учебник] : учебное пособие / Назарычев А. Н.. - Инфра-Инженерия, 2006 - Режим доступа: <http://iprbookshop.ru/5073>

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 9.

Тема: **Порядок и основные принципы расчета надежности энергетических установок методом минимальных путей и минимальных сечений.**

Цель:

- приобретение знаний по теме и закрепления теоретического материала, изученного на лекциях и самостоятельно.
 - научиться применять порядок и основные принципы расчета надежности энергетических установок методом минимальных путей;
 - научиться применять порядок и основные принципы расчета надежности энергетических установок методом минимальных сечений;
- При подготовке к практическому занятию используется теоретический материал и примеры решения задач, изложенный в [1,2].

Необходимые средства обучения: В процессе обучения студенты используют

- слайд-показ учебного материала,
- методические указания по теме практической работы;

План проведения практического занятия.

1. Цель занятия.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Блиц-опрос студентов.
4. Решение задач.
5. Анализ качества выполнения индивидуальных домашних заданий и разбор типовых ошибок.
6. Выводы и обобщение результатов.
7. Домашнее задание и задание на самостоятельную проработку.

Используемая литература:

1. Беляев С.А., Литвак В.В., Солод, С.С.. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС. – Томск: Изд-во НТЛ, 2008 – 218 с. <https://e.lanbook.com/book>

2. Надежность систем энергетики и их оборудования: Справочное издание. В 4 т. Т.4: Надежность систем теплоснабжения / Е.В. Сеннова, А.В. Смирнов, А.А. Ионин и др. –

Новосибирск: Наука, 2000. – 351 с.

3. Савина Н.В. Надежность систем электроэнергетики [электронный ресурс]: учеб. пособие/ Н.В. Савина – Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2011. – 268 с., 1898 Кб. Режим доступа: <http://rucont.ru>

4. Назарычев А. Н. Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей [Электронный учебник] : учебное пособие / Назарычев А. Н.. - Инфра-Инженерия, 2006 - Режим доступа: <http://iprbookshop.ru/5073>

3. Групповые и индивидуальные консультации

Слово «консультация» латинского происхождения, означает «совещание», «обсуждение».

Консультации проводятся в следующих случаях:

- когда необходимо подробно рассмотреть практические вопросы, которые были недостаточно освещены или совсем не освещены в процессе лекции;
- с целью оказания консультативной помощи при подготовке к промежуточной аттестации, участию в конференции и др.);
- если обучающемуся требуется помощь в решении спорных или проблемных вопросов возникающих при освоении дисциплины.

Идя на консультацию, необходимо хорошо продумать вопросы, которые требуют разъяснения. В частности, если затруднение возникло при изучении теоретического материала, то конкретно укажите, что вам непонятно, на какой из пунктов обобщенных планов вы не смогли самостоятельно ответить.

Если же затруднение связано с решением задачи или оформлением отчета о лабораторной работе, то назовите этап решения, через который не могли перешагнуть, или требование, которое не можете выполнить.

4. Методические рекомендации по организации расчетно-графической работы

Рекомендации даны в Методических указаниях Судак С.Н., «Надежности системы теплоснабжения»/ Методические указания к расчетно-графической работе по дисциплине «Надежность систем теплоснабжения» для направления 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника всех форм обучения / С.Н. Судак, МАУ - 2024г. [Электронный ресурс]

5. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы

Успешное освоение компетенций, формируемых учебной дисциплиной, предполагает оптимальное использование времени для самостоятельной работы. Для успешной СМР разработаны Методические указания к самостоятельной работе для студентов: Судак С.Н., «Надежность теплоснабжения»/ Методические указания к расчетно-графической работе по дисциплине «Надежность систем теплоснабжения» для направления 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника всех форм обучения / С.Н. Судак, МАУ - 2024г. [Электронный ресурс].

Самостоятельная работа обучающегося - деятельность, которую он выполняет без непосредственного участия преподавателя, но по его заданию, под его руководством и наблюдением. Обучающийся, обладающий навыками самостоятельной работы, активнее и глубже усваивает учебный материал, оказывается лучше подготовленным к творческому труду, к самообразованию и продолжению обучения.

Самостоятельная работа может быть аудиторной и внеаудиторной. Границы между этими видами работ относительны, а сами виды самостоятельной работы пересекаются.

Аудиторная самостоятельная работа осуществляется во время проведения учебных

занятий по дисциплине (модулю) по заданию преподавателя. Включает в себя:

- выполнение самостоятельных работ, участие в тестировании;
- выполнение контрольных, практических и лабораторных работ;
- решение задач и упражнений, составление графических изображений (схем, диаграмм, таблиц и т.п.);
- работу со справочной, методической, специальной литературой;
- оформление отчета о выполненных работах;
- подготовка к дискуссии, выполнения заданий в деловой игре и т.д.

Внеаудиторная самостоятельная работа (в библиотеке, в аудитории МФУ, в домашних условиях, в специальных помещениях для самостоятельной работы в МФУ и т.д.) является текущей обязательной работой над учебным материалом (в соответствии с рабочей программой), которая не предполагает непосредственного и непрерывного руководства со стороны преподавателя.

Внеаудиторная самостоятельная работа может включать в себя:

- подготовку к аудиторным занятиям (лекциям, практическим занятиям и др.) и выполнение необходимых домашних заданий;
- работу над отдельными темами дисциплины (модуля), вынесенными на самостоятельное изучение в соответствии с рабочей программой;
- проработку материала из перечня основной и дополнительной литературы по дисциплине, по конспектам лекций;
- написание рефератов, докладов, эссе, отчетов, подготовка мультимедийных презентаций, составление глоссария и др.;
- подготовку ко всем видам практики и выполнение заданий, предусмотренных их рабочими программами;
- выполнение расчетно-графической работы;
- подготовку ко всем видам текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации, в том числе выполнение и подготовку к процедуре защиты выпускной квалификационной работы;
- участие в исследовательской, проектной и творческой деятельности в рамках изучаемой дисциплины;
- подготовка к участию в конкурсах, олимпиадах, конференциях, работа в студенческих научных обществах и кружках;
- другие виды самостоятельной работы.

Содержание самостоятельной работы определяется рабочей программой дисциплины, практики, программой ГИА. Задания для самостоятельной работы имеют четкие календарные сроки выполнения.

Выполнение любого вида самостоятельной работы предполагает прохождение обучающимся следующих этапов:

1. Определение цели самостоятельной работы.
2. Конкретизация познавательной (проблемной или практической) задачи.
3. Самооценка готовности к самостоятельной работе по решению поставленной или выбранной задачи.
4. Выбор адекватного способа действий, ведущего к решению задачи (выбор путей и средств для ее решения).
5. Планирование (самостоятельно или с помощью преподавателя) самостоятельной работы по решению задачи.
6. Реализация программы выполнения самостоятельной работы.
7. Самоконтроль выполнения самостоятельной работы, оценивание полученных результатов.
8. Рефлексия собственной учебной деятельности.

Работа с научной и учебной литературой

Работа с учебной и научной литературой является главной формой самостоятельной работы и необходима при подготовке к устному опросу на семинарских занятиях, к контрольным работам, тестированию, зачету.

В процессе работы с учебной и научной литературой студент 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);
- создавать конспекты (развернутые тезисы, которые).

Выбрав нужный источник, следует найти интересующий раздел по оглавлению или алфавитному указателю, а также одноименный раздел конспекта лекций или учебного пособия. В случае возникших затруднений в понимании учебного материала следует обратиться к другим источникам, где изложение может оказаться более доступным. Необходимо отметить, что работа с литературой не только полезна как средство более глубокого изучения любой дисциплины, но и является неотъемлемой частью профессиональной деятельности будущего выпускника.

Решение ситуационных задач (кейс-заданий)

Кейс-задание (англ. *case*- случай, ситуация) - задание, связанное с конкретным последовательностью действий и направленное на разбор, осмысление и решение реальной профессионально-ориентированной ситуации.

Решение ситуационных задач направлено на формирование умения анализировать в короткие сроки большой объем неупорядоченной информации, принятия решений в условиях недостаточной информации, готовности использовать собственные индивидуальные творческие способности для решения исследовательских задач.

Рекомендации по работе с кейсом:

- сначала необходимо прочитать всю имеющуюся информацию, чтобы составить целостное представление о ситуации; не следует сразу ее анализировать, желательно лишь выделить в ней данные, показавшиеся важными;
- требуется охарактеризовать ситуацию, определить ее сущность и отметить второстепенные элементы, а также сформулировать основную проблему и проблемы, ей подчиненные;
- важно оценить все факты, касающиеся основной проблемы (не все факты, изложенные в ситуации, могут быть прямо связаны с ней), и попытаться установить взаимосвязь между приведенными данными;
- следует сформулировать критерий для проверки правильности предложенного решения, попытаться найти альтернативные способы решения, если такие существуют, и определить вариант, наиболее удовлетворяющий выбранному критерию.

Методические рекомендации к изучению Модуля 1

В соответствии с рабочей программой Модуль № 1 включает:

Модуль № 1. Задачи и исходные положения оценки надёжности систем электроснабжения.

Модуль № 1. Задачи и исходные положения оценки надёжности систем теплоснабжения.

Тема 1.1. Введение в дисциплину. Развитие науки о надёжности систем теплоснабжения. Основные нормативные документы в области надёжности: система стандартов «Надёжность в технике» (ССНТ). Требования к надёжности энергетических систем при проектировании. Практические задачи надёжности при проектировании систем теплоснабжения. Основные особенности систем теплоснабжения с точки зрения теории

надежности. Факторы, нарушающие надёжность системы. Причины возникновения и развития аварий в системах теплоснабжения, классификация аварий. Практические методы и средства обеспечения надежности в энергетических и технических системах. Нормативы по энерго- и ресурсосбережению на объектах профессиональной деятельности.

Тема 1.2. Теория надежности и ее структура. Надежность теплоснабжения. Основные понятия, термины и определения теории надежности в технике и энергетике. Относительность понятия "элемент" и "система" при анализе надежности сложных технических систем.

Тема 1.3 Понятие отказа. Классификация отказов. Потоки отказов элементов и их свойства. Факторы, нарушающие надёжность системы, как причины отказов основных элементов систем теплоснабжения: системы приготовления теплоты (ТЭЦ, центральная котельная или другой источник тепла); системы транспорта теплоты от источника до места его потребления (тепловые сети); системы использования теплоты в местных установках потребителя (технологические теплоиспользующие, системы отопления, системы подогрева воздуха для вентиляции, установки по кондиционированию воздуха, системы горячего водоснабжения).

Методические указания

Тема 1.1. Наука о надёжности включает целый ряд направлений и разделов. Применительно к техническим системам, каковыми являются системы электроснабжения, она решает следующие основные задачи:

- прогнозирование надёжности машин на стадии проектирования для выбора рациональных конструктивно-технологических решений, обеспечивающих требуемый уровень надёжности при минимальных производственных и эксплуатационных затратах;
- обоснование оптимальной стратегии технической эксплуатации, периодичности технических обслуживания и ремонтов техники;
- разработку теории и методов диагностирования машин и технических систем с целью предотвращения внезапных отказов, сокращения простоев и расходов на восстановление, обеспечение безопасности работы;
- обоснование необходимого объёма парка агрегатов, машин, резерва запасных частей и материалов, а также стратегии использования техники, обеспечивающей требуемую эффективность её функционирования.

Решение основных задач в производственных процессах работы системы электроснабжения зависит от работы технических объектов (агрегатов, машин, оборудования, коммуникаций системы). Технологические процессы сетей теплоснабжения представляют собой совокупность взаимно увязанных во времени операций.

Система стандартов серия 27 «Надежность в технике» предназначена обеспечить эффективность организационных, конструкционных, технологических и эксплуатационных мероприятий, направленных на достижение оптимального уровня надежности объектов, а также объективность и сопоставимость результатов контроля и испытаний на надежность.

С надежностью в электроэнергетике связаны следующие практические задачи:

- статистическая оценка и анализ надежности действующего оборудования, электроустановок и систем;
- прогнозирование надежности оборудования и систем;
- нормирование уровня надежности;
- испытание на надежность;
- расчет и анализ надежности;
- обеспечение надежности;
- оптимизация технических решений при проектировании, создании и эксплуатации теплоэнергетического оборудования, установок и систем.

При оценке и расчете надежности должны учитываться следующие факторы:

- внешние условия (атмосферные явления, землетрясения, техногенные катастрофы, транспортные происшествия, строительные работы и др.);
- уровень эксплуатации (обеспеченность запасными частями, техникой, квалификация обслуживающего персонала, технологическая и трудовая дисциплина и т.п.);
- качество заводского изготовления, контроль качества и надежности (уровень производства, организация бездефектного изготовления, испытания на надежность и т.д.);
- приработка и отладка устанавливаемого оборудования (уровень механизации, оснащенность контрольными приборами, качество монтажа и др.);
- периодичность и качество профилактического обслуживания (плановые и внеплановые ремонты, ревизии, испытания, диагностика, контроль состояния);
- организация аварийных ремонтов (технология ремонтов, число и техническая оснащенность аварийных бригад и др.) и учета отказов;
- организация противоаварийных мероприятий.

Аварийные процессы в энергосистеме являются следствием возникновения повреждений оборудования, перекрытия и пробоя изоляции, ложных срабатываний различных устройств и аппаратов, ошибочных действий персонала, в результате которых, как правило, происходят отключения элементов оборудования электростанций, передающей сети или потребителей.

Авария – событие, заключающееся в переходе объекта с одного уровня работоспособности (функционирования) на другой, существенно более низкий, с крупным нарушением режима работы объекта или системы.

Тема 1.2. Под теорией надежности понимают научную дисциплину, которая изучает закономерности сохранения во времени техническими средствами свойства выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Основные вопросы, которые изучает теория надежности:

- отказы технических средств;
- критерии и количественные характеристики надежности;
- методы анализа и повышения надежности элементов и систем на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации;
- методы испытания технических средств на надежность;
- методы оценки эффективности повышения надежности.

Структура теории надежности: различают общую теорию надежности и прикладные теории надежности.

Общая теория надежности имеет три составляющие:

1. Математическая теория надежности. Определяет математические закономерности, которым подчиняются отказы и методы количественного измерения надежности, а также инженерные расчеты показателей надежности.
2. Статистическая теория надежности. Обработка статистической информации о надежности. Статистические характеристики надежности и закономерности отказов.
3. Физическая теория надежности. Исследование физико-химических процессов, физических причин отказов, влияния старения и прочности материалов на надежность.

Прикладные теории надежности разрабатываются в конкретной области техники применительно к объектам этой области (теория надежности систем электроснабжения, теория надежности электроснабжения, теория надежности электронных устройств, теория надежности машин и др.)

Существуют типовые методики проведения мероприятий, связанных с обеспечением надежности.

Терминология по надежности в технике распространяется на любые технические объекты-изделия, сооружения и системы, а также их подсистемы, рассматриваемые с точки зрения надежности на этапах проектирования, производства, испытаний, эксплуатации и ремонта

дана в ГОСТ 27.102-2021 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения».

Тема 1.3. Важное значение в теории надежности имеет понятие отказа. Отказ - событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. Критерий отказа - признак или совокупность признаков нарушения работоспособного состояния объекта, установленные в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации. Классифицировать отказы можно в зависимости от характера и особенностей, от момента возникновения. В соответствии с определением отказа, как события, заключающегося в нарушении работоспособности, предполагается, что до появления отказа объект был работоспособен. Отказ может быть следствием развития неустраненных повреждений или наличия дефектов: царапин; потертости изоляции; небольших деформаций. *Классификация тяжести отказов* технических систем устанавливается ГОСТ 27.310-95 ССНТ «Анализ видов, последствий и критичности отказов». В соответствии с этим ГОСТом тяжесть последствий отказа (вероятный или наблюдаемый ущерб) описывается через понятие критичности. Важное значение в теории надежности имеет понятие отказа. Система или элемент (объект) выполняет определенные функции, если происходит полная или частичная утрата способности выполнения этих функций (утрата работоспособности объекта), то такое событие называется отказом. Работоспособное состояние объекта определяется перечнем заданных параметров, характеристик и допустимыми пределами их изменения – допусками. Нарушением работоспособного состояния называется выход хотя бы одного заданного параметра за установленный допуск. Признаки, позволяющие установить факт нарушения работоспособного состояния, и являются критериями отказа.

По характеру исполнения и функционирования объекты могут быть восстанавливаемые и невосстанавливаемые. Если при возникновении отказа работоспособность объекта может быть восстановлена путем проведения ремонтов и технического обслуживания, то такой объект называется восстанавливаемым. Если же при отказе объект либо не подлежит, либо не поддается восстановлению в процессе эксплуатации, то он называется невосстанавливаемым.

Классификация тяжести отказов технических систем устанавливается ГОСТ 27.310-95 ССНТ «Анализ видов, последствий и критичности отказов». В соответствии с этим ГОСТом тяжесть последствий отказа (вероятный или наблюдаемый ущерб) описывается через понятие критичности.

Классифицировать отказы можно в зависимости от характера и особенностей, от момента возникновения. В соответствии с определением отказа, как события, заключающегося в нарушении работоспособности, предполагается, что до появления отказа объект был работоспособен. Отказ может быть следствием развития неустраненных повреждений или наличия дефектов: царапин; небольших деформаций и т.п.

В схемах теплоснабжения отказами системы являются аварийные ситуации, при которой прекращается подача тепловой энергии хотя бы одному потребителю. Понятие отказа – одно из основных в теории надежности.

Отказы классифицируются по ряду признаков:

- по степени нарушения работоспособности различают полные и частичные отказы;
- по связи с отказами других объектов отказы делятся на независимые и зависимые;
- по характеру процессов проявления выделяют внезапные и постепенные отказы;
- по времени существования отказы бывают устойчивыми и неустойчивыми.

Если в результате отказа объект или система полностью прекращает выполнение своих функций, то такой отказ называется полным, если частично – то частичным.

Если отказ какого-либо объекта в системе не является следствием отказов других объектов, то такой отказ является независимым.

Если же при отказе объекта изменяется вероятность появления отказов других объектов, то такой отказ называется зависимым.

Внезапные отказы проявляются в результате резкого, скачкообразного изменения основных параметров объекта, связанных с концентрациями внешних или внутренних нагрузок, либо с нарушением условий работы, ошибочными действиями персонала и т.д. При постепенных отказах наблюдается плавное изменение параметров в результате старения, износа объектов или их составных частей. Постепенные отказы часто проявляются в форме внезапных. Это подразделение условно.

Устойчивый – это такой отказ, когда для восстановления работоспособности требуется ремонт объекта или его замена.

Неустойчивый отказ – это такой отказ, когда для восстановления объекта требуется только отключение объекта или изменение его режима без ремонта.

Факторы, нарушающие надёжность системы и их математические описания: надёжность наиболее распространённых элементов теплосетей сетей:

Тепловые сети состоят из участков трубопроводов, секционирующих и отключающих задвижек, оборудования сетей (компенсаторы, опоры, спускные краны и пр.), насосные подстанции. Надёжность тепловых сетей - это свойство транспортной системы обеспечивать в течение заданного времени подачу потребителю требуемого количества теплоносителя с определёнными температурой и давлением.

Насосные подстанции представляют собой достаточно сложные подсистемы и должны рассматриваться с точки зрения надёжности как самостоятельные объекты. Сбор информации осуществляется по журналам учёта повреждений эксплуатационных районов. Все повреждения на теплотрассах и оборудовании, которые после анализа были отнесены к отказам, имеющим случайную природу, были классифицированы по видам, и для каждого вида была установлена относительная частота появления.

Наиболее частой причиной повреждения тепловых сетей является наружная коррозия. Значительно меньше отказов связано с разрывом продольных и поперечных швов. Встречаются случаи вырыва гильз под термометры и патрубков под манометр, вызванные некачественной сваркой. Повреждения сальниковых компенсаторов вызываются коррозией стакана сальникового компенсатора, выходом из строя грундбоксы, размывкой набивки. Задвижки на трубопроводах отказывают из-за коррозии корпуса, коррозии байпаса, неплотности фланцевых соединений, трещин в корпусе.

А также отказы:

- происшедшие в период гидравлических и температурных испытаний тепловых сетей;
- повлекшие за собой отключение участков и абонентов на время менее 3 часов;
- на магистральных, которые по ряду причин находятся в крайне неблагоприятных условиях эксплуатации (каналы периодически затапливаются грунтовыми и ливневыми водами, заносятся грунтом, нарушение целостности антикоррозионного покрытия трубопроводов и т.п.).

Вопросы для самопроверки по модулю 1:

1. Что такое надёжность?
2. Что такое работоспособность?
3. Относительные понятия системы и элемента.
4. Какое состояние изделия называют неисправным?
5. Что такое отказ теплоснабжения?
6. Какие виды отказов существуют?
7. Назовите причины и факторы, нарушающие надёжность системы теплоснабжения.

Используются рекомендуемые источники литературы 1- 6

В соответствии с рабочей программой **Модуль № 2. Математические модели и количественные описания.**

Тема 2.1. Основные понятия теории вероятностей. Событие, вероятность события. Классификация случайных событий. Основы теории множеств. Алгебра событий. Основные законы теории вероятностей. Формула полной вероятности, формула Байеса.

Тема 2.2. Случайные величины, их характеристики и законы распределения, используемые в теории надежности. Математические основы расчета показателей надежности. Случайные процессы. Понятие потока отказов. Простейший (пуассоновский) поток. Пуассоновский процесс и его применение для описания вероятностных характеристик отказов и восстановления элементов систем теплоснабжения.

Методические указания

Тема 2.1. Теория вероятностей - это математическая наука, изучающая закономерности случайных явлений. Основными понятиями в теории вероятностей являются испытание, событие и вероятность. Испытание - это эксперимент, проводимый над объектом в комплексе определенных условий. Событие - это случай или факт, который произошел или не произошел в результате испытания. Вероятность - это численная мера степени объективной возможности наступления события. Для расчета числа возможных событий используются методы комбинаторики. В зависимости от специфики задачи в некоторых случаях удобнее бывает использовать только суммы, а в других только произведения событий. События могут быть независимыми и зависимыми. Событие А называют независимым от события В, если вероятность события А не зависит от того, произошло событие В или нет. Событие А называют зависимым от события В, если вероятность события А меняется в зависимости от того, произошло событие В или нет. Вероятность произведения двух событий равна произведению вероятности одного из них на условную вероятность другого, вычисленную при условии, что первое имело место. При применении теоремы умножения безразлично, какое из событий — А или В — считать первым, а какое вторым. Вероятность произведения нескольких зависимых событий равна произведению вероятностей этих событий, причем вероятность каждого следующего по порядку события вычисляют при условии, что все предыдущие имели место:

$$P(A_1, A_2, \dots, A_n) = P(A_1)P(A_2 / A_1)P(A_3 / A_1 A_2) \dots P(A_n / A_1 A_2 \dots A_{n-1}).$$

Два события называют независимыми, если появление одного из них не изменяет вероятности появления другого.

Понятие независимых событий может быть распространено на случай произвольного числа событий. Несколько событий называют независимыми, если любое из них не зависит от любой совокупности остальных.

Вероятность произведения двух независимых событий равна произведению вероятностей этих событий. В случае независимых событий теорема упрощается и принимает вид:

$$P(A_1, A_2, \dots, A_n) = P(A_1)P(A_2)P(A_3) \dots P(A_n),$$

т.е. вероятность произведения независимых событий равна произведению вероятностей этих событий. Формула полной вероятности

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(H_i)P(A / H_i)$$

т.е. вероятность события А вычисляется как сумма произведений вероятности каждой гипотезы на вероятность события при этой гипотезе. Следствием теоремы умножения и формулы полной вероятности является так называемая теорема гипотез или формула Байеса.

$$P(H_k / A) = \frac{P(H_k)P(A / H_k)}{P(A)} = \frac{P(H_k)P(A / H_k)}{\sum_{i=1}^n P(H_i)P(A / H_i)}$$

В теории надежности функция состояния (безотказности или отказа) системы может быть записана, как функция алгебры логики, в которой аргументами являются переменные состояния отдельных элементов.

В предположении о независимости исходных событий, финальная вероятность рассчитывается как произведение каждой ветви этого сценария:

$$P = P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \dots \cdot P_n$$

Случайной величиной называется величина, которая в результате опыта может принять то или иное значение, причем неизвестно заранее, какое именно. Пример случайных величин:

- количество отказов системы электроснабжения за определенный промежуток времени;
- время отыскания повреждения и ремонта вышедшего из строя кабеля.

Случайные величины, принимающие только отделенные друг от друга значения, которые можно заранее перечислить, называются дискретными случайными величинами (первый пример).

Случайные величины, возможные значения которых непрерывно заполняют некоторый промежуток, называются непрерывными случайными величинами (второй пример). Если «классическая» теория вероятностей оперировала по преимуществу с событиями, то современная теория вероятностей предпочитает, где только возможно, оперировать со случайными величинами. Случайная величина в отличие от случайного события несет более полную информацию явлению.

Дискретная случайная величина – это случайная величина, множество значений которой конечно или счётно, т.е. дискретная (прерывная) случайная величина принимает отдельные, изолированные возможные значения с определенной вероятностью. Значения дискретной случайной величины не содержат какой-либо непрерывный интервал на числовой прямой, следовательно, принимает значения, которые можно перечислить, это означает, что множество значений дискретной случайной величины может быть конечным или счетным. Примером дискретных случайных величин являются число отказов или число восстановленных объектов за заданное время.

Непрерывной случайной величиной называют величину, которая может принимать все значения из некоторого конечного или бесконечного промежутка, т.е. значения, непрерывно заполняют некоторый промежуток, границы которого могут быть конкретными или неопределенными (расплывчатыми).

В первом случае область определения непрерывной случайной величины есть конечный промежуток, во втором — бесконечный с одной или с двух сторон.

Законы распределения для дискретных величин: биномиальный закон Бернулли, закон Пуассона. Законы распределения для непрерывных величин: нормальное распределение; распределение Релея; экспоненциальный закон; распределение Вейбулла; гамма-распределение; равномерное распределение; логарифмическое нормальное распределение.

Тема 2.2. Отказ элемента или группы в одном случае может приводить к ограничению потребляемой мощности, в другом – к полному прекращению электроснабжения потребителей одного или нескольких узлов нагрузки. В первом случае отказ частичный, во втором – полный. Процессы смены состояний с работоспособного в неработоспособное - отказ электроэнергетической системы описываются Марковскими случайными процессами.

Процесс называется Марковским, если для каждого момента времени вероятность любого состояния элемента или системы в будущем зависит от состояния в настоящий момент и не зависит от того, каким образом элемент пришел в это состояние. Законы распределения мощности в зависимости от состава потребителей могут меняться от полимодального до нормального. В расчетах надежности в основном принимают нормальный закон распределения потребляемой мощности в узлах нагрузки.

В виду того, что для системы число состояний равно 2^n , где n – число элементов, необходимо ее эквивалентирование. Например, для системы из 100 элементов в общем случае число состояний равно $1,26 \times 10^{30}$.

Основным приемом, используемым для решения задач надежности, является исключение из рассмотрения маловероятных событий и сокращение числа состояний до приемлемого

уровня. Процесс изменения состояний рассматриваемого элемента можно проиллюстрировать с помощью графа переходов из состояния в состояние. Дифференциальные уравнения состояний объекта вероятности работоспособного $P_0(t)$ и неработоспособного состояния объекта $P_1(t)$ для размеченного графа имеют следующий вид:

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda \cdot P_0(t) + \mu \cdot P_1(t) - \text{работоспособное состояние объекта}$$

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = \lambda \cdot P_0(t) - \mu \cdot P_1(t) - \text{неработоспособное состояние объекта}$$

Решение системы уравнений, описывающих состояние одного элемента при н.у.:

$P_0(0) = 1; P_1(0) = 0$, т.е. элемент в работе, имеет вид:

$$P_0(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \exp[-(\lambda + \mu)t] \text{ работоспособное состояние}$$

$$P_1(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} - \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \exp[-(\lambda + \mu)t] \text{ неработоспособное состояние}$$

Для стационарного состояния ($t \rightarrow \infty$) вероятность работы элемента равна стационарному коэффициенту готовности K_G , а вероятность отказа – стационарному коэффициенту вынужденного простоя, K_{II} :

$$K_{II} = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{\mu}} = \frac{T_v}{T_{cp} + T_v}$$

$$K_G = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} = \frac{1}{1 + \frac{\mu}{\lambda}}$$

Вопросы для самопроверки по Модулю 3:

1. Какие величины называют дискретными и непрерывными СВ?
2. Перечислите основные виды законов распределения случайных величин, используемых в теории надежности.
3. Назовите единичные показатели безотказности объектов.
4. Дайте вероятностные определения единичных и комплексных ПН.
5. Опишите основные свойства параметра потока отказов $\omega(t)$.
6. Назовите комплексные показатели безотказности объектов.
7. Дайте определение интенсивности отказов.
8. Дайте определение вероятности безотказной работы.
9. Дайте определение вероятности отказа.
10. Дайте определение плотности распределения отказов.
11. Как определяется средняя наработка до отказа по статистическим данным?
12. Особенности случайных процессов, используемых при решении задач надежности.
13. Процессы отказов и восстановлений одноэлементной схемы.
14. Незерезервированная схема, состоящая из n элементов.

Используются рекомендуемые источники литературы 1- 6

В соответствии с рабочей программой **Модуль №3. Математические модели и количественные расчёты надёжности систем.**

Тема 3.1. Невосстанавливаемые и восстанавливаемые элементы и системы. Единичные и комплексные показатели надежности ПН. Недоотпуск электроэнергии.

Тема 3.2. Формирование модели внезапных отказов элемента или оборудования. Процессы отказов и восстановления в простейших и сложных системах (графы состояний). Принципы составления систем дифференциальных уравнений для описания процессов отказов и восстановления элементов и систем.

Тема 3.3. Модели процессов преднамеренных отключений, ремонтных состояний в реальных системах электроснабжения.

Методические указания

Тема 3.1. С точки зрения ремонтпригодности все элементы систем электроснабжения можно условно разделить на восстанавливаемые и невосстанавливаемые. При этом восстанавливаемым считают объект, работоспособность которого при возникновении отказа подлежит восстановлению (ремонту). Однако в ряде случаев надежность отремонтированных (восстановленных) элементов значительно отличается от надежности новых, а затраты на восстановление элемента приближаются к стоимости нового. В таких случаях, когда восстановление работоспособности элемента в данных условиях невозможно или считается нецелесообразным – он признается невосстанавливаемым.

Большинство элементов системы электроснабжения являются восстанавливаемыми. К невосстанавливаемым можно отнести: плавкие вставки предохранителей, электрические лампы, простейшие электромагнитные и полупроводниковые реле, конденсаторы, резисторы и т.п. Показателем надежности называется количественная характеристика одного или нескольких свойств, определяющих надежность объекта. Выбор критериев надежности для каждого конкретного технического объекта зависит от его назначения, особенностей технологического процесса и результатов его функционирования. В зависимости от уровня управления рассматриваемого объекта показатели надежности можно разделить на оперативные и технические. Оперативные показатели характеризуют качество функционирования системы с точки зрения потребителя.

Технические показатели назначаются для отдельных элементов систем теплоснабжения и имеют значение только для энергетиков.

В качестве оперативных показателей, как правило, используют: коэффициент готовности или коэффициент простоя, условный недоотпуск энергии в течение года; относительное удовлетворение спроса на энергию; математическое ожидание экономического ущерба в результате перерывов электроснабжения.

Технические показатели характеризуют: параметр потока отказов; среднюю наработку на отказ; среднее время восстановления.

Зная эти показатели для отдельных элементов, можно рассчитать надежность всей системы электроснабжения в целом с учетом особенностей эксплуатации и технического обслуживания.

Показатели надежности подразделяют на единичные, характеризующие одно свойство и комплексные, характеризующие несколько свойств. Единичные показатели в основном применяются для характеристики отдельных элементов, а комплексные – для узлов нагрузки и системы в целом.

Тема 3.2. У большинства элементов системы теплоснабжения имеется длительный период, на котором интенсивность отказов практически постоянна – период нормальной эксплуатации. В этом случае оборудование выводится в ремонт раньше, чем начнется заметное старение его элементов.

В данном случае $\lambda(t) = \text{const} = \lambda$. Разделим период рассматриваемого времени $(0;t)$ на интервалы Δt_i , $i = 1, 2, 3, \dots, n$, и обозначим вероятность того, что превышение максимальной прочности произойдет на i интервале, α_i . Очевидно, что при первом таком превышении произойдет отказ оборудования.

Т.к. максимальная прочность элемента постоянна, а случайные пиковые воздействия независимы, то случайные события появления пиковой нагрузки на каждом интервале времени также независимы (вспомним *поток простейших событий*). Событие появления

пиковой нагрузки на любом интервале времени - A_i , не появления - B_i - события противоположные.

Тогда по теореме умножения для независимых событий вероятность появления хотя бы одного превышения максимальной прочности будет равна:

$$P_{A_k} = p(B_1)p(B_2)p(B_{k-1})p(A_k) = a_k \prod_{i=1}^{k-1} (1 - a_i)$$

Т.к. условия эксплуатации конкретного оборудования неизменны, то $\alpha_i = \alpha_j = \alpha_k = \alpha$, тогда вероятность того, что время безотказной работы равно $(k - 1)$ интервалов, будет:

$$P(T=k-1) = (1 - \alpha)^{k-1} \alpha$$

где α – вероятность превышения максимальной прочности, приводящей к отказу.

Переходя к интервальной функции распределения времени безотказной работы, получим интегральную функцию распределения времени безотказной работы. При непрерывном аргументе времени, т.е. вероятность отказа:

$$q_n(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

где λ – параметр распределения – среднее число отказов в единицу времени, т.е. интенсивность отказов. Тогда вероятность безотказной работы будет:

$$p_n(t) = 1 - q(t) = e^{-\lambda t}$$

Частота отказов:

$$a(t) = f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}$$

Интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{p(t)} = \lambda$$

Таким образом, в системах со своевременными капитальными и профилактическими ремонтами, заменой износившихся частей, когда другие виды отказов составляют незначительную долю, в качестве основного распределения времени безотказной работы принимается экспоненциальное распределение, т.е. модель внезапных отказов оборудования описывается экспоненциальным законом.

Основной причиной постепенных отказов является старение, коррозия материалов и износ отдельных частей элементов. Они возникают вследствие теплового, вибрационного износа, коррозии металлических частей, вследствие окисления металлических частей элементов и при воздействии механических нагрузок (постепенное снижение прочности и в случае превышения запаса прочности – отказ).

Таким образом, *постепенный износ отдельных частей элемента представляет собой как бы накопление элементарных повреждений в различных его частях и снижение общего предела прочности.*

Тема 3.3. Надежность системы, состоящей из резервируемых восстанавливаемых элементов на примере двух взаиморезервирующих элементов 1 и 2.

Такая система может находиться в 4-х состояниях:

1. система работоспособна, (оба элемента – в работе);
2. система работоспособна, но первый элемент отказал;
3. система работоспособна, но второй элемент отказал;
4. система не работоспособна – оба элемента в отказе.

Согласно графу переходов из одного состояния в другое - система дифференциальных уравнений, описывающая вероятности состояний во времени, будет иметь следующий вид:

$$\frac{dp_1(t)}{dt} = -(\lambda_1 + \lambda_2) \cdot p_1(t) + \mu_1 \cdot p_2(t) + \mu_2 \cdot p_3(t) - \text{оба элемента – в работе}$$

$$\frac{dp_2(t)}{dt} = -(\lambda_2 + \mu_1) \cdot p_2(t) + \lambda_1 \cdot p_1(t) + \mu_2 \cdot p_4(t) - \text{первый элемент отказал}$$

$$\frac{dp_3(t)}{dt} = -(\lambda_1 + \mu_2) \cdot p_3(t) + \lambda_2 \cdot p_1(t) + \mu_1 \cdot p_4(t) - \text{второй элемент отказал}$$

$$\frac{dp_4(t)}{dt} = -(\mu_1 + \mu_2) \cdot p_4(t) + \lambda_1 \cdot p_3(t) + \lambda_2 \cdot p_2(t) - \text{оба элемента – в отказе}$$

Функции *готовности* и *вынужденного простоя* системы имеют вид:

$$K_{ГC}(t) = p_1(t) + p_2(t) + p_3(t)$$

$$K_{ПC}(t) = 1 - K_{ГC}(t) = p_4(t)$$

Расчет показателей надежности с учетом ремонтных состояний и преднамеренных отключений элементов. Проведение профилактических и капитальных ремонтов оборудования электроэнергетических систем предусматривает отключение элементов, изменение схем коммутации, что приводит к изменению уровня надежности электроснабжения в этот период времени. В практических расчетах надежности, если система обладает избыточностью по надежности, то при преднамеренном отключении какого-либо элемента вся оставшаяся часть системы рассматривается как один эквивалентный элемент.

Поэтому, вероятность отказа эквивалентного элемента во время преднамеренного отключения любого *i*-го элемента будет:

$$p_{1_{\text{экв}}} = \frac{\lambda_{\text{экв}}}{\lambda_{\text{экв}} + \mu_{\text{экв}}} - \frac{\lambda_{\text{экв}}}{\lambda_{\text{экв}} + \mu_{\text{экв}}} e^{-(\lambda_{\text{экв}} + \mu_{\text{экв}})t} = K_{П_{\text{экв}}} - K_{П_{\text{экв}}} \frac{t}{t_{\text{экв}}}$$

Для системы с последовательным соединением элементов: коэффициент вынужденного простоя и параметр потока отключений такой цепи, состоящей из *n* элементов, равны:

$$K_{ПC} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \overline{t_{Bi}} + (\lambda_{npi} + \overline{t_{npi}})_{нб}$$

$$\lambda_C = \sum_{i=1}^n \lambda_i + \lambda_{np_{нб}}$$

соответственно наибольшая из вероятностей преднамеренного отключения цепи из *n* элементов и наибольшая из частот отключения элементов. Система с резервированием элементов.

Для *n* взаиморезервированных элементов:

$$K_{ПC} = \prod_{i=1}^n \lambda_i \overline{t_{Bi}} + \sum_{i=1}^n \lambda_{npi} \overline{t_{npi}} K_{npi} \prod_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n \lambda_j \overline{t_{Bj}}$$

$$\lambda_C = \sum_{i=1}^n \lambda_i \prod_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n (\lambda_j \overline{t_{Bj}} + \lambda_{npj} \overline{t_{npj}})$$

Время восстановления такой системы:

$$\frac{1}{t_{BC}} = \frac{K_{ПС}}{\lambda_C}$$

Вопросы для самопроверки по Модулю 3:

1. Перечислите и проанализируйте основные состояния, в которых может находиться ТС.
2. Дайте определения понятия «надежность» и основных свойств надежности ТС.
3. Перечислите основные виды отказов ТС и проанализируйте причины их возникновения.
4. Докажите, что функция готовности является комплексным ПН.
5. В чем отличие коэффициентов готовности и оперативной готовности?
6. В чем основное отличие показателей долговечности и сохраняемости?

Используются рекомендуемые источники литературы 1- 6

В соответствии с рабочей программой **Модуль № 4. Методы количественного анализа надежности систем теплоснабжения.**

Тема 4.1. Понятия о структурной и функциональной надежности. Методы расчета надежности структурных схем групп элементов при последовательном, параллельном и последовательно-параллельном (смешанном) соединении элементов в системе. Резервирование, виды. Основные приемы и методы структурного анализа при расчетах надежности систем теплоснабжения. Аналитический метод расчета надежности. Логико-вероятностный метод расчета надежности теплоснабжения с помощью дерева отказов. Метод минимальных путей и сечений.

Методические указания

Тема 4.1. Для расчета показателя качества функционирования системы теплоснабжения прежде всего необходимо точно сформулировать понятие отказа системы.

Логико-вероятностный метод расчета надежности основан на применении законов теории вероятности к функциям алгебры логики и может применяться для достаточно простых схем. Теоретически, метод может быть применим к системе, время безотказной работы которой распределено по любому закону, однако на практике он используется для систем с простейшим потоком отказов (экспоненциальным законом распределения). Этот метод с использованием дерева отказов является дедуктивным методом и применяется в тех случаях, когда число различных видов отказов системы невелико. После построения дерева отказов логическое условие реализации конечного события или состояния записывается в форме функции отказа (ФО) путем выполнения указанных в дереве отказов операций логического сложения и умножения над символами (кодами) элементарных событий и состояний, начиная с нижнего уровня. Потом знаки конъюнкции « \wedge » в выражениях будут заменены на арифметический знак умножения « \times », а знаки дизъюнкции « \vee » на знаки суммирования « $+$ ».

Дерево отказов - это топологическая модель надежности и безопасности, которая отражает логико-вероятностные взаимосвязи между отдельными случайными исходными событиями в виде первичных отказов или результирующих отказов, совокупность которых приводит к главному анализируемому событию.

Дерево отказов - это ориентировочный граф в виде дерева, представляет собой многоуровневую графологическую структуру причинных взаимосвязей, при помощи которых выявляются, выстраиваются в логическую цепь и представляются в графической форме те условия и факторы, которые могут способствовать определенному нежелательному событию - отказу системы (вершине событий).

Для нерезервированных систем понятие отказа формулируется однозначно, ибо отказ любого элемента приводит к отказу системы.

При отказе головного участка или головного сооружения происходит полный отказ системы и все потребители лишаются теплоснабжения.

При отказе любого другого элемента происходит частичный отказ системы, когда лишается теплоснабжения только часть потребителей, расположенных за отказавшим элементом.

При формулировке понятия отказа для резервированных систем необходимо учитывать отличительную черту систем теплоснабжения, заключающуюся в *допустимости кратковременного снижения качества теплоснабжения*. С учётом особенности систем теплоснабжения, в аварийных ситуациях можно подавать потребителям пониженное количество теплоносителя, т. е. *переходить на лимитированное теплоснабжение*.

Установленная величина лимита определяет резерв пропускной способности системы, который рассчитывают для наиболее напряженных гидравлических режимов, возникающих в аварийных ситуациях.

Эту особенность отражает второй детерминированный показатель надежности. Он устанавливает, *при каких условиях следует считать*, что потребитель находится в отказовом состоянии. Таким образом, этот показатель *определяет понятие отказа в теплоснабжении потребителя*.

У резервированных систем при отказах отдельных элементов *возникают аварийные гидравлические режимы и для обеспечения теплоснабжения потребителей элементы системы, оставшиеся работоспособными, должны иметь резерв пропускной способности (резерв мощности)*. Этот резерв определяют расчетом потокораспределения сети при аварийных ситуациях.

Структурные (логико-расчетные) схемы сложных технических систем (ТС) начинаются с разбивки сложной системы на элементы. Это нужно для того, чтобы рассмотреть параметры и характеристики самих элементов, а затем рассмотреть и оценить работоспособность всей системы. Расчленение ТС на элементы достаточно условно и зависит от постановки задачи расчета надежности. С позиции теории надежности сложные ТС обладают свойствами:

- большое число элементов, отказ каждого из которых может привести к отказу всей системы;
- оценка работоспособности такой системы трудоемка (необходим большой объем статистических данных).

Элемент, как составная часть сложной ТС, может характеризоваться самостоятельными входными и выходными параметрами. В итоге на выходные параметры оказывает влияние индивидуальные свойства каждого экземпляра элементов, составляющих ТС. Показатели безотказности и долговечности относятся к элементу в целом. При этом восстановление работоспособности элемента независимо от других частей и элементов системы. В зависимости от поставленной задачи на основании результатов расчета характеристик надежности ТС делаются выводы и принимаются решения о необходимости изменения или доработки элементной базы, резервировании отдельных элементов или узлов, об установлении определенного режима профилактического обслуживания, о номенклатуре и количестве запасных элементов для ремонта и т.д.

При последовательном соединении элементов в системе отказ одного элемента вызывает отказ других элементов в итоге отказывает вся ТС. Такое соединение элементов в технике встречается наиболее часто, поэтому его называют основным соединением. Нарботка до отказа ТС равна наработке до отказа того элемента, у которого она минимальная:

$$T_{ТС} \approx \min(T_j), \\ j=1, 2, 3, \dots$$

Функция надежности определяется по теореме умножения для зависимых событий. Вероятность безотказной работы системы с последовательным соединением элементов при независимости их отказов $P(t)$ равна произведению вероятностей безотказной работы элементов (т.е. для независимых элементов):

$$P_{TC}(t) = \prod_{j=1}^n P_j(t) = \prod_{j=1}^n \exp\left[-\int_0^t \lambda_j(t) dt\right]$$

где

- P_j — вероятность безотказной работы j -го элемента;
- n — количество последовательно соединенных элементов;
- t — время работы.

Параллельное нагруженное соединение: отказ системы возможен лишь в том случае, когда отказывают все элементы ТС, т.е. система исправна, если исправен хотя бы один ее элемент. Такое соединение называют резервированием.

Резервирование – это метод повышения надежности технической системы за счет введения избыточности, т.е. введения дополнительных средств и возможности сверх минимально необходимых для выполнения ТС заданных функций. Есть два вида резервирования — с нагруженными и ненагруженными резервными элементами (соответственно горячее и холодное резервирование). Резервирование увеличивает стоимость ТС. Как правило, резервируют элементы, которые выполняют основную работу. Задача избыточности – это обеспечение нормального функционирования ТС после отказа одного из основных элементов.

В зависимости от выполняемой задачи применяют горячее и холодное резервирование. При нагруженном резервировании (горячий резерв) — резервные элементы нагружены так же, как и основные, т.е. резервные элементы постоянно присоединены к основным, и находятся в одинаковом с ними режиме работы. Горячее резервирование применяют, когда не допускается перерыв в работе на переключение отказавшего элемента на резервный (например: источник питания).

Наработка до отказа такой системы, равна максимальному, из значений наработки до отказа элементов:

$$T_{TC} \approx \max(T_j), \\ j=1, 2, 3 \dots$$

В данном случае, с использованием параллельного нагруженного соединения, отказ системы — это сложное событие, которое будет иметь место при условии отказа всех элементов.

Функция надежности или вероятность безотказной работы

$$P_{TC}(t) = 1 - Q_{TC}(t) = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - p_j(t))$$

Параллельное ненагруженное соединение – при отказе основного элемента ТС включается в работу очередной резервный элемент, сохраняющий ее работоспособность. Такое соединение называется *холодным* резервированием. Его применяют, когда необходимо увеличение ресурса работы элемента, предусматривая время на переключения отказавшего элемента на резервный. Т.е. холодный резерв — это когда резервные элементы практически не несут нагрузки.

Наработка до отказа в этом случае вычисляется по формуле:

$$T_{TCSP} = \sum_{j=1}^K T_j, \\ j=1, 2, 3, \dots, n$$

где K – количество элементов одинаково надежны (равнонадежны).

Функция надежности:

$$P_{TC}(t) = e^{-\lambda t} \sum_{j=0}^{K-1} \frac{(\lambda \cdot t)^j}{j!}$$

где λ – интенсивность отказа j элемента.

Следует заметить, что в этом случае необходимо проводить анализ последствий, к которым приводит отказ элементов.

Смешанное соединение изолированных систем: структурная схема системы состоит из параллельно и последовательно соединенных элементов. Следует отметить, что в принципиальной схеме совсем не обязательно элементы (электрооборудование) будут соединяться параллельно или последовательно.

Метод минимальных путей и сечений. Понятия о структурной и функциональной надежности: в ряде случаев для анализа надежности сложной системы бывает достаточным определить граничные оценки надежности сверху и снизу. Эту задачу решают методом минимальных путей и сечений. Метод минимальных путей применяется для оценки вероятности безотказной работы сверху, а метод минимальных сечений - для оценки вероятности безотказной работы снизу.

Формирование минимальных путей: при оценке вероятности безотказной работы сверху определяют минимальные наборы работоспособных элементов (путей), обеспечивающих работоспособное состояние системы. При формировании пути считают, что изначально все элементы находятся в неработоспособном состоянии. Последовательным переводом элементов в работоспособное состояние производят подбор вариантов соединений элементов, обеспечивающих наличие цепи. Набор элементов образует минимальный путь, если исключение любого элемента из набора приводит к отказу данного пути. Следовательно, в отдельном пути элементы находятся в основном соединении (последовательно), а сами пути (для системы) включаются параллельно.

Формирование минимальных сечений: при формировании минимальных сечений осуществляется подбор минимального числа элементов, перевод которых из работоспособного состояния в неработоспособное вызывает отказ системы. При правильном подборе элементов сечения возвращение любого из элементов в работоспособное состояние восстанавливает работоспособное состояние системы. Сечения соединяются последовательно, т.к. отказ каждого из сечений вызывает отказ системы. Элементы каждого сечения соединяются параллельно, т.к. для работы системы достаточно наличия работоспособного состояния любого из элементов сечения. При определении минимальных сечений осуществляется подбор минимального числа элементов, перевод которых из работоспособного состояния в неработоспособное вызывает отказ системы. При правильном подборе элементов сечения возвращение любого из элементов в работоспособное состояние восстанавливает работоспособное состояние системы. Поскольку отказ каждого из сечений вызывает отказ системы, то первые соединяются последовательно. В пределах каждого сечения элементы соединяются параллельно, так как для работы системы достаточно наличия работоспособного состояния любого из элементов сечения. Полученная оценка является оценкой снизу, поскольку один и тот же элемент включается в два сечения, т.е. определяется вероятности безотказной работы снизу.

Вопросы для самопроверки по Модулю 4:

1. Дайте определения горячему и холодному резервированию.
2. Чему равна вероятность безотказной работы системы с последовательным соединением элементов при независимости их отказов $P(t)$?
3. Чему равна наработка до отказа такой системы с последовательным соединением элементов?
4. Чему равна вероятность безотказной работы системы с параллельным соединением элементов при независимости их отказов $P(t)$?
5. Чему равна наработка до отказа такой системы с параллельным соединением элементов?
6. Дайте определения горячему структурной и функциональной надежности.

7. Как формируются минимальные пути?
8. Как формируются минимальные сечения?

Используются рекомендуемые источники литературы 1- 6

В соответствии с рабочей программой **Модуль № 5. Способы и средства обеспечения надежности систем теплоснабжения.**

Тема 5.1. Надежность и оптимизация систем водоснабжения. Надежность и оптимизация систем водоснабжения. Характеристика систем водоснабжения. Отказы систем водоснабжения и их последствия. Расчет показателей надежности систем водоснабжения.

Тема 5.2. Надежность и оптимизация систем теплоснабжения Проблема обеспечения надежности систем теплоснабжения. Надежность тепловых сетей. Надежность тепловых пунктов.

Методические указания

В тепловых сетях могут происходить отказы, приводящие к недоотпуску тепла той или иной группе потребителей. Отказ может быть полным (отказ-срыв), когда система прекращает работу, и частичным (отказ-помеха), при котором осуществляется пониженная подача тепла.

Системы централизованного теплоснабжения (СЦТ) - это сложные, пространственно распределенные инженерные сооружения с принципиальной недостаточностью статистической информации об отказах элементов и законах распределения случайных величин. При возникновении отказа в СЦТ недопустимо полное длительное отключение нагрузки отопления.

Благодаря инерционности и аккумулярующей способности тепловых сетей и зданий и возможности некоторого временного снижения температуры внутри отапливаемых помещений против заданного значения (за исключением отдельных категорий потребителей) в аварийных условиях можно ограничить подачу тепла, т. е. установить пониженный по сравнению с расчетным уровень теплоснабжения. Управляемость системы тепловых сетей предусматривает возможность обеспечения бесперебойного теплоснабжения потребителей за счёт переключения отдельных участков сети при изменении внешних условий и при отказах отдельных элементов.

Надежность системы теплоснабжения можно обеспечить различными способами. Один из общепринятых - применение более надежных элементов СЦТ в сочетании с резервированием наиболее ответственных элементов системы.

Резервирование может потребовать внедрения режимных мероприятий для повышения управляемости СЦТ, чтобы в состоянии отказа перераспределять потоки тепла и обеспечивать выполнение нормативов надежности.

Нерезервированные элементы должны иметь такие показатели, при которых выход их из строя не повлеч бы за собой полного отказа всей системы.

Системы тепловых сетей могут резервироваться отдельными нагрузочными линиями или перемычками. Нагрузочные линии в нормальных условиях несут нагрузку ниже расчетной. Современные тепловые сети в России, как правило, не оснащены средствами перераспределения расхода теплоносителя и автоматического регулирования нагрузки в аварийных ситуациях, что значительно усложняет резервирование. Изменение расхода теплоносителя происходит нерационально. Потребители, находящиеся в аварийных ситуациях в конце вновь образованного пути снабжения, недополучают тепло даже при достаточных резервных связях. Определение достаточности резервирования - процесс трудоемкий, так как подбор резервных связей ведется методом проб и ошибок с проверкой гидравлических режимов.

Для каждой системы необходимо определять предельное суммарное значение резервируемых теплопроводов по критерию вероятности безотказной работы.

Управляемость системы теплоснабжения при изменении внешних условий имеет целью не допустить перерывов в подаче тепла потребителям при ярко выраженном стохастическом спросе с их стороны. Случайное изменение спроса на теплоту должно восприниматься источниками тепловой энергии, и путём автоматического воздействия на регулирующие органы должна соответствующим образом изменяться подача теплоносителя. Эти функции должна выполнять система центрального регулирования на ТЭЦ, однако, учитывая специфику регулирования гидравлических систем, центральное регулирование может обеспечить только частичную компенсацию изменения спроса потребителей. Полная компенсация осуществляется регулированием гидравлического и теплового режима со стороны потребителей.

Регулирование подачи теплоносителя осуществляется двумя способами: путём изменения температуры теплоносителя (качественное регулирование) и изменением его расхода (количественное регулирование). Наиболее распространено центральное качественное регулирование и местное количественное за счёт изменения гидравлического режима сети.

СЦТ должна проектироваться на максимальные тепловые нагрузки, а местные потребители должны управлять поступающими потоками теплоносителя и снижением температуры сетевой воды.

Современные системы местного регулирования, основанные на поддержании нужного гидравлического режима поступления теплоносителя из СЦТ, обеспечивают достаточную точность соответствия подачи теплоты её потребностям. Заданная температура горячей воды, поступающей к потребителям, поддерживается автоматическим регулятором температуры, устанавливаемым на теплообменнике горячего водоснабжения. Эти регуляторы обеспечивают поддержание требуемой температуры путём дросселирования поступающего потока теплоносителя, т.е. путём управления гидравлическим режимом теплообменника горячего водоснабжения.

Такой процесс регулирования теплоснабжения потребителей обеспечивает надёжную работу системы при различных внешних возмущениях, возникающих при эксплуатации СЦТ и не связанных с возникновением аварийных ситуаций.

Для повышения надёжности систем при отказах, связанных со значительным отключением потребителей и большой недопоставкой тепловой энергии, основные тепломагистрали закольцовывают. Но даже при кольцевых системах отказ головных или близких к ним участков вызывает напряжённый гидравлический режим, что в свою очередь требует перевода системы на режим лимитированного теплоснабжения. Подобной ситуации можно избежать при расчёте резервированных теплотрасс на 100 % -й расход теплоносителя, что значительно увеличивает капитальные затраты на систему теплоснабжения.

В соответствии с ГОСТ 27.102-21 надёжность систем водоснабжения и водоотведения - это комплексный показатель, характеризующий систему как безотказную, долговечную, ремонтпригодную, способную выполнять заданные функции, т.е. подавать (отводить) воду в расчётном количестве и качестве, отвечающим санитарным нормам.

Другими словами, под надёжностью систем понимается их свойство выполнять функции водообеспечения, сохраняя во времена установленные технологические показатели в пределах, соответствующих заданным режимам и условиям эксплуатации, технического обслуживания и хранения.

Физический смысл надёжности состоит в способности систем сохранять свои первоначальные технологические характеристики в процессе эксплуатации.

Надёжность систем зависит не только от продолжительности периода и условий эксплуатации, но и от того, какие функции выполняет система. Эти показатели функционирования системы определяются рекомендациями нормативных документов по проектированию и строительству систем. Согласно СП 31.13330.2012 (СНиП 2.04.02-84 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения) наряду с рекомендациями по определе-

нию нормального уровня водообеспечения, указаны пределы его возможного снижения. С этой целью все системы водоснабжения в зависимости от вида потребителей подразделены на три категории.

Для систем, обеспечивающих водой потребителей I категории, допускается снижение обеспечения на 30% от нормального уровня водопотребления в течение 3 суток, а для потребителей II и III категорий соответственно на 10 и 15 суток. Кроме того, допускается перерыв в подаче воды потребителям I категории не более, чем на 10 мин, II категории – не более, чем на 6 ч, III категории - не более 24 ч.

Согласно нормативным документам, категории систем водоснабжения определяются следующими условиями: объединенные хозяйственно-питьевые и производственные водопроводы населенных пунктов с числом жителей в них более 50 тыс. человек следует относить к I категории; от 5 до 50 тыс. человек - ко II категории, менее 5 тыс. человек – к III категории.

Элементы систем водоснабжения II категории, повреждения которых могут снижать подачу воды на пожаротушение, должны относиться к I категории.

В соответствие с определением надежности, если в результате каких-либо причин нарушается нормальное функционирование системы и происходит недопустимо длительный перерыв в подаче воды или снижение ее качества, то имеет место "отказ" системы. Причинами отказов могут быть самые различные случайные события: повреждения линий транспортирования воды (водоводов, магистралей сети), повреждения насосов, прекращение подачи электроэнергии на насосные станции, снижение уровня воды в источнике водоснабжения, загрязнение воды, тяжелые ледовые условия и т.д.

Основными и наиболее частыми причинами нарушений нормальной работы систем подачи и распределения воды являются аварийные повреждения отдельных сооружений или элементов и линий труб. Для быстрой ликвидации таких повреждений службы эксплуатации водопроводов располагают аварийными бригадами, которые выезжают на место аварии и осуществляют требуемый ремонт. Бесперебойность подачи воды обеспечивается:

- а) правильным выбором технических характеристик труб и их диаметров;
- б) качеством монтажа водоводов;
- в) резервированием линий, устройством перемычек между линиями и т.д.

Низкая надежность водоводов в одну линию является причиной их высокой аварийности.

Согласно требованию норм для I категории потребителей воды надежность подачи воды должна составлять не менее 0,95.

Для повышения надежности подачи воды, кроме вышеперечисленных мероприятий, предусматривают устройство запасных емкостей в конце водовода. Запас воды в этих емкостях предотвращает аварийную ситуацию.

Вопросы для самопроверки по Модулю 5:

Используются рекомендуемые источники литературы

1. Попырин Л.С., Зубец А.Н. Надежность систем теплоснабжения // Энергетик 1994. №11.С. 14 – 16.
2. Ковылянский Я.А, Старостенко Н.Н. Практическая методика количественной оценки надежности тепловых сетей при проектировании и в условиях эксплуатации// Теплоэнергетика. 1997. №1.С. 12 –16.
3. Ионин А.А. Надежность систем тепловых сетей. М.: Стройиздат, 1989.-268 с.

6. Методические рекомендации по подготовке обучающегося к промежуточной аттестации

Учебным планом по дисциплине «Надежность электроснабжения» предусмотрена(ы) следующая(ие)форма(ы) промежуточной аттестации: **Зачет с оценкой**
Промежуточная аттестация направлена на проверку конечных результатов освоения дисциплины.

При подготовке к зачету с оценкой целесообразно:

- внимательно изучить конспект лекций;
- внимательно прочитать рекомендованную литературу и составить краткие

конспекты.

При повторении материала нежелательно использовать много книг. Основным источником подготовки является конспект лекций. Следует запоминать термины и категории, поскольку в их определениях содержатся признаки, позволяющие уяснить их сущность и отличить эти понятия от других. В ходе подготовки обучающимся необходимо обращать внимание не только на уровень запоминания, но и на степень понимания категорий и реальных профильных проблем. Подготовка к экзамену должна в разумных пропорциях сочетать и запоминание, и понимание программного материала. На зачете с оценкой преподаватель может проверить конспекты практических работ и задать обучающемуся дополнительные и уточняющие вопросы.

Положительным будет стремление обучающегося изложить различные точки зрения на рассматриваемую проблему, выразить свое отношение к ней, применить теоретические знания по современным проблемам.