

01 - Курсовая работа

Сайт: [Московский технологический институт «ВТУ» — СДО](#)
Курс: Надежность систем энергообеспечения предприятий
Книга: 01 - Курсовая работа
Напечатано:: Каменцев Олег Юрьевич
Дата: Понедельник 4 Июль 2016, 19:05

Оглавление

[Введение](#)

[Часть 1. Общие положения и методические рекомендации по написанию курсовой работы](#)

[Часть 2. Справочные сведения по теме курсовой работы и методические указания по ее выполнению](#)

[Глава 1. Основы обеспечения надежности систем электроснабжения предприятий](#)

[Глава 2. Расчет и анализ надежности системы восстанавливаемых объектов энергообеспечения предприятия](#)

[Глава 3. Оценка экономического ущерба от перерывов электроснабжения предприятия и оптимизация надежности электроснабжения](#)

[Глава 4. Варианты задания на выполнения курсовой работы](#)

[Список рекомендуемой литературы](#)

[Приложения](#)

Введение

Обеспечение надежности является одной из важнейших проблем при создании и эксплуатации любой технической системы. Особенно актуальна она для сложных систем, таких как системы электроснабжения, состоящих из большого числа элементов и имеющих обширные внутренние и внешние связи.

Задача обеспечения надежности систем электроснабжения включает в себя целый комплекс технических, экономических и организационных мероприятий, направленных на сокращение ущерба от нарушения нормального режима работы потребителей электроэнергии, таких как:

- выбор критериев и количественных характеристик надежности;
- испытания на надежность и прогнозирование надежности действующего оборудования;
- выбор оптимальной структуры проектируемых (реконструируемых) систем электроснабжения по критерию надежности;
- обеспечение заданных технических и эксплуатационных характеристик работы потребителей;
- разработка наиболее рациональной, с точки зрения обеспечения надежности, программы эксплуатации системы (обоснование режимов профилактических работ, норм запасных элементов и методов отыскания неисправностей).

Кроме того, в современных рыночных условиях надежность электроснабжения неразрывно связана с экономическими показателями и энергетической безопасностью промышленных предприятий.

В этой связи целью изучения дисциплины «Надежность систем энергообеспечения предприятий» является формирование у будущих инженеров по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника» знаний в области теории и практики надежности систем электроснабжения и приобретение навыков самостоятельного решения инженерных задач по расчету и выбору схем электроснабжения с учетом надежности.

Часть 1. Общие положения и методические рекомендации по написанию курсовой работы

1.1. Общие положения

Курсовая работа самостоятельная разработка конкретной темы с элементами научного анализа, отражающая приобретенные студентом теоретические знания и практические навыки, умение работать с литературой, анализировать источники, делать обстоятельные и обоснованные выводы.

Курсовая работа по надежности систем энергообеспечения предприятий выполняется на базе теоретических знаний и практических навыков, полученных в процессе изучения данной дисциплины и смежных с ней дисциплин.

Выполнение курсовой работы является важным этапом обучения студентов, способствующим формированию навыков самостоятельного научного и практического подхода к освоению учебного материала. Кроме того, письменные курсовые работы позволяют осуществить контроль за самостоятельной работой студента и оценить, наряду с экзаменами и зачетами, подготовленность будущего специалиста.

Рабочая программа дисциплины «Надежность систем энергообеспечения предприятий» включает четыре раздела:

- 1) Основные понятия и характеристики надежности в электроэнергетике;
- 2) Модели для анализа надежности элементов и систем электроснабжения предприятия;
- 3) Расчетные методы анализа надежности элементов и систем электроснабжения предприятия;
- 4) Экономико-математические модели для оптимизации надежности электроснабжения.

Данная курсовая работа посвящена расчету и анализу надежности системы восстанавливаемых объектов энергообеспечения предприятия. Таким образом, она позволяет на конкретном примере подробно разобраться в содержании второго и третьего разделов курса и научиться на практике применять теоретический материал.

Цель курсовой работы заключается в следующем:

- расширение, закрепление и систематизация теоретических знаний, как по направлению обучения в целом, так и по изучаемой дисциплине;
- формирование и совершенствование практических навыков научно-исследовательской деятельности;
- формирование навыков ведения самостоятельных теоретических и практических исследований в соответствии с направлением обучения;
- приобретение опыта обработки, анализа и систематизации результатов практических (экспериментальных) исследований по направлению обучения, а также в оценке их практической значимости и возможной области применения;

Основными задачами подготовки курсовой работы являются:

- формирование навыков работы с научной литературой, со справочниками и другими информационными источниками, в том числе электронными ресурсами;
- формирование навыков правильного оформления научно-исследовательской работы.
- формирование навыков научно оформлять и излагать свои мысли, выводы и результаты исследования.

Курсовая работа должна отвечать следующим требованиям:

- 1) курсовая работа должна содержать анализ и обобщение теоретических материалов по избранной теме с использованием соответствующего аппарата обоснования;
- 2) работа должна быть написана самостоятельно и отличаться критическим подходом к изучению литературных источников;
- 3) изложение темы должно быть конкретным, насыщенным фактическими данными, сопоставлениями, расчетами;
- 4) работа должна заканчиваться конкретными выводами и предложениями;
- 5) материал, используемый из литературных источников, должен быть творчески и самостоятельно переработан студентом, органически увязан с избранной студентом темой и изложен своими словами.

Курсовая работа является квалификационной работой и выполняется студентами индивидуально; совместная работа студентов над одной научной темой не допускается.

Курсовые работы должны отвечать квалификационным требованиям по объему, содержанию и оформлению.

Студент лично отвечает за объем, содержание и оформление курсовой работы.

Курсовая работа представляется преподавателю на проверку в конечном варианте. Черновик курсовой работы на проверку не присылается.

1.2. Основные этапы написания и защиты курсовой работы

- Подбор литературы по теме курсовой работы.
- Составление предварительного варианта плана.
- Изучение отобранных источников.
- Корректировка плана.
- Написание работы в соответствии с планом.
- Разработка приложений (при необходимости).
- Анализ написанной работы с точки зрения соответствия требованиям к оформлению и к содержанию курсовой работы.
- Формирование окончательного варианта работы.
- Передача курсовой работы руководителю размещение курсовой работы в систему дистанционного обучения (СДО).
- Оценка курсовой работы руководителем.

Подбор литературы по теме курсовой работы

Подбор литературы – это одно из самых важных умений, необходимых для написания любой научно-исследовательской работы. Качество курсовой работы напрямую зависит от правильно подобранной литературы и умения пользоваться каталогами, библиографическими справочниками, периодическими изданиями, интернет-изданиями и т.п.

При подборе литературы рекомендуется обратить внимание в первую очередь на электронную библиотеку курса в СДО, содержащую перечень основной и дополнительной литературы, которая может стать основой для написания курсовой работы. Кроме того, в том или ином издании всегда есть либо библиографический список, либо список использованной литературы, в которых также можно найти необходимые для раскрытия темы источники.

Эффективному подбору литературы способствует анализ оглавления/ содержания того или иного издания, благодаря которому можно получить представление о том, как структурирована информация, какой именно раздел наиболее важен и полезен в подготовке конкретной курсовой работы.

При подборе литературных источников в Интернет следует воспользоваться ключевыми словами и устойчивыми оборотами по выбранной теме курсовой работы.

Результатом работы по подбору литературы должны стать либо библиографический список, либо библиографическая картотека. Картотека или список должны состоять из полных, т.е. соответствующих стандартам библиографических описаний изданий, используемых при подготовке работы.

В картотеку необходимо записывать все литературные источники, изданные за последние 5 лет, по теме курсовой работы. Инструктивные материалы используются только последних изданий. По мере ознакомления с источниками они включаются в список использованной литературы.

Список литературы, на основании которого пишется курсовая работа, должен составлять **от 10 до 20 источников**.

Составление предварительного варианта плана

На основе предварительного ознакомления с литературой и другим материалом, который может быть использован при написании курсовой работы, составляется первоначальный вариант плана.

При составлении плана на данном этапе следует особо обратить внимание на содержательную часть курсовой работы, которая отражается в подразделах и параграфах.

Курсовая работа должна включать в себя три главы (раздела), которые, в свою очередь, должны содержать отдельные подразделы, чтобы по оглавлению иметь полное представление о структуре и содержании работы в целом.

Любая тема может быть раскрыта по-разному, но именно план курсовой работы отражает её основные направления. План работы должен отражать основную идею работы, раскрывать её содержание и характер. В нем должны быть выделены наиболее актуальные вопросы темы.

Изучение отобранных источников

После составления развёрнутого плана необходимо детально изучить отобранную литературу.

Для раскрытия одного пункта плана рекомендуется использовать несколько источников, которые конспектируются и систематизируются. При работе с источником рекомендуется: выписывать цитаты, которые подтверждают мысли автора курсовой работы или являются их отправной точкой; давать кратко характеристику прочитанного материала.

Все выписки необходимо систематизировать в соответствии с пунктом плана, название которого может меняться в процессе работы. Кроме того, некоторые пункты развёрнутого плана могут объединяться или перемещаться из одного параграфа в другой. Подобная систематизация позволяет на основе практического анализа отобранного материала более глубоко и всесторонне осветить основные вопросы темы.

При изучении литературы необходимо также обратить внимание на фактический и аналитический материал, представленный в таблицах, графиках, диаграммах и т.п. Это поможет разобраться в сложных вопросах и проиллюстрировать те или иные мысли в курсовой работе.

Содержание и структура работы

Курсовая работа пишется на основе тщательно проработанных литературных источников, собранного и обработанного студентом конкретного материала.

Курсовая работа имеет определенную структуру и состоит из следующих разделов:

- **Титульный лист;**
- **Оглавление,**
- **Введение,**
- **Основная часть,**
- **Заключение,**
- **Список использованной литературы,**
- **Приложение (если необходимо).**

Титульный лист является первой страницей курсовой работы и служит источником информации для идентификации работы (**Приложение 1**).

Оглавление отражает последовательность изложения материала курсовой работы (**Приложение 2**).

Введение – в данном разделе необходимо красной строкой выделить Актуальность темы исследования, правильно определить Объект и Предмет исследования, указать Цель и выделить Задачи, не менее пяти, необходимые для достижения поставленной цели, кратко указать Основных авторов, в научных произведениях которых рассматривалась проблема исследования. Объем Введения должен составлять не более 2-х страниц.

Актуальность темы исследования должна быть выделена с красной строки. Например, «Актуальность темы исследования заключается в том, что...». Необходимо четко и грамотно обосновать актуальность темы с точки зрения современной науки, нынешнего состояния общества.

Объект исследования – это процесс или явление, порождающее проблемную ситуацию и взятое исследователем для изучения. Объект это та часть научного знания, с которой исследователь имеет дело.

Предмет исследования это тот аспект проблемы, исследуя который, студент познает целостный объект, выделяя его главные, наиболее существенные признаки. Предмет исследования, как правило, совпадает с названием темы курсовой работы или очень близок к нему.

Цель работы (указывается одна основная цель): предполагает формулировку желаемого конечного итога работы.

Задач исследования должно быть не менее трех, которые необходимо решить для достижения поставленной цели. Задачи, как правило, напрямую связаны с пунктами подразделов или параграфов.

В завершении раздела Введение кратко указываются основные авторы, в научных произведениях которых рассматривалась проблема исследования, дается оценка состоянию и степени разработанности проблемы, указываются вопросы, нуждающиеся в дальнейшем изучении.

Основная часть курсовой работы по надежности систем энергообеспечения предприятий состоит из 3-х глав (разделов), где раскрывается суть работы и должна строиться в соответствии с поставленными конкретными задачами для достижения главной цели исследования. Общий объем основной части должен составлять от 20 до 30-ти страниц текста.

Первая глава (раздел) носит теоретический характер. В первом разделе проводится обзор и анализ подобранной по теме исследований научной литературы. Выделяется объект исследования, рассматриваются основные понятия, термины, категории по исследуемой тематике, проводится классификация исследуемого объекта на определенные классы, выделяются особенности построения, достоинства и недостатки выделенных классов и подклассов, формируются авторские выводы по разделу.

Вторая аналитическая (расчетная) глава посвящена рассмотрению **Предмета исследования**, определенного в разделе Введение и описанного в Первой главе (разделе), как правило, отражает тему курсовой работы. Выделяются основные сущности **Предмета исследования**, принципиальные схемы, особенности построения, функционирования и взаимодействия, проводится расчет и сравнительный анализ основных характеристик различных вариантов исследуемых объектов электроснабжения предприятий, указываются основные достоинства и недостатки, приводятся примеры конкретной реализации, формируются авторские выводы по разделу.

Третья глава – проектная часть курсовой работы, должна содержать предложения автора по практической реализации проектируемых объектов электроснабжения предприятий, выбору элементов, режимов и условий их эксплуатации с учетом требований надежности и ГОСТ.

Здесь студент должен продемонстрировать возможность применять на практике теоретические знания, полученные им при изучении данной дисциплины.

Заключение должно содержать краткий обзор проделанной работы по каждой главе в отдельности и по всей работе в целом. Разрешается представлять заключение в виде тезисов по всей работе. В заключении формируются итоговые выводы по курсовой работе. Объем Заключения должен составлять не более 2-х страницы. Заключение должно быть лаконичным, доказательным и убедительным, содержать итоговый вывод по всей работе.

Список использованной литературы должен содержать сведения об основных источниках литературы, которые студент использовал в процессе написания курсовой работы, и включать от 10 до 20 источников. Включение в **Список использованной литературы** источников, которыми студент не пользовался в своей работе, не допустимо.

Все главы (разделы), подразделы и параграфы курсовой работы должны быть связаны между собой. Поэтому особое внимание нужно обращать на логические переходы от одного раздела, подраздела (параграфа) к другому, а внутри подраздела (параграфа) от вопроса к вопросу. При этом обязательным требованием является наличие ссылок на все основные источники, указанные в Списке использованной литературы.

Отсутствие ссылок на соответствующие источники или несоблюдение правил цитирования может привести к заблуждению относительно авторства работы и рассматриваться как **плагиат**.

Плагиат - это умышленное присвоение авторства на чужое и охраняемое законом РФ «Об авторском праве и смежных правах» и Уголовным кодексом РФ произведение науки, литературы или искусства в целом или части (храняемого на электронных ресурсах или бумажных носителях, в том числе размещенного в сети Интернет).

Студент обязан самостоятельно проверить уровень уникальности текста своей курсовой работы с помощью **системы «Etxt Антиплагиат»** <http://www.etxt.ru/antiplagiat/>, которую необходимо загрузить с указанного сайта и запустить для выполнения.

Запрещается проводить специальные действия, приводящие к искусственному повышению уровня уникальности курсовой работы.

При обнаружении данных действий курсовая работа возвращается студенту на переработку, а итоговый балл автоматически снижается на 20 баллов.

Приложение включает материалы, не вошедшие в текст основной части работы (но является частью курсовой работы, располагаемой после списка источников), например, таблицы вспомогательных и справочных данных, схемы и диаграммы вспомогательного характера, нормативные документы компании и т.п.

Объем Приложения не входит в обязательное количество страниц курсовой работы и не должен превышать 1/4 всего текста работы.

Оформление работы

Текст курсовой работы должен быть оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ 7.32 – 2001, ГОСТ 2.105 – 95 и ГОСТ Р 6.30 – 97:

- все страницы работы должны быть пронумерованы. Нумерация страниц – сквозная, начинается с титульного листа, но номер страницы на титульном листе не проставляется. Страницы документа проставляются арабскими цифрами в правом нижнем углу без точки в конце.
- необходимо установить требуемые значения полей текста работы: верхнее и нижнее 2,5 см, левое – 3,0 см, правое 1,5 см;
- шрифт текста «Times New Roman» устанавливается равным размеру №14;
- размер абзацного отступа должен по всему тексту работы составлять 1,25 см;
- по всему тексту работы должен выдерживаться полуторный межстрочный интервал;
- необходимо выдерживать для текста режим «выравнивание по ширине»;
- для рисунков используется сквозная нумерация по всему тексту. Название рисунка приводится под ним с выравниванием по центру, без точки в конце. Название рисунка оформляется следующим образом, например:

Рисунок 3 – Расчетная схема подстанции

Таблица должна иметь заголовок, выполняемый строчными буквами (кроме первой заглавной), выравниваемый по центру, без точки в конце. Размер заголовка таблицы №14, допускается выделение всех заголовков полужирным шрифтом. Таблицы следует нумеровать арабскими цифрами порядковой нумерацией в пределах всей работы. Название таблицы оформляется следующим образом:

Таблица 5 – Основные зависимости для расчета коэффициента готовности

На все таблицы в тексте должны быть даны ссылки. При ссылке пишут слово «таблица» с указанием ее номера. Если таблица не вписывается на страницу сразу после текста, то она выносится на начало другой страницы.

- формулы могут быть оформлены в редакторе формул и вставлены в документ как объект. Формулы пишутся по центру, нумеруются сквозной нумерацией арабскими цифрами, в пределах работы. Номер ставят на уровне названия формулы по правому краю в круглых скобках. Ссылки в тексте на номер формулы дают в круглых скобках;
- в формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими государственными стандартами. Значения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, должны быть приведены непосредственно под формулой. Значение каждого символа дают с новой строки в той последовательности, в которой они приведены в формуле. Первая строка расшифровки должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него.

Например,

$$k_2 = t_0 / (t_0 + t_6), \quad (2.4)$$

где $t_0 = 1/\lambda$, наработка до отказа (при экспоненциальном законе распределения);

t_6 - время восстановления.

- **Библиографическая запись** должна выполняться согласно ГОСТ Р 7.0.5 – 2008 (*Приложении 3*), как правило, на языке выходных сведений: Автор (ФИО). Название источника. Место издания: Издательство, год издания, количество страниц (общее или же страницы того раздела, который был использован при написании курсовой работы). Сведения об используемом издании находятся на обороте титульного листа книги;
- ссылки формируются в квадратных скобках, внутри которых указывается номер источника литературы, который соответствует его порядковому номеру в Списке использованной литературы. Например, ссылка [5] означает, что ссылка по тексту курсовой работы приведена на литературный источник, расположенный под порядковым номером 5 в **Списке использованной литературы**;
- **работа должна быть написана от третьего лица**. Использование в работе личных местоимений запрещается. **Необходимо использовать выражения, типа:** «известно, что», «существует мнение», «учёные придерживаются следующей точки зрения», «необходимо заметить», «представляет интерес» и т.п. Не допускается сокращение слов, все используемые аббревиатуры необходимо расшифровывать;

Оценка курсовой работы

Каждая курсовая работа с учетом ее содержания оценивается по **100 (сто) балльной системе**.

Высшая оценка «отлично» (от 91 до 100 баллов) выставляется в случае, если:

- содержание работы имеет актуальный характер и соответствует выбранной теме курсовой работы;
- работа выполнена студентом самостоятельно, имеет творческий характер, отличается определенной новизной;
- в работе проведен обстоятельный анализ теоретического исследования проблемы и различных подходов к ее решению;
- в работе проведен количественный и качественный анализ проблемы, который подкрепляет теорию и иллюстрирует реальную ситуацию, приведены поясняющие иллюстрации, таблицы сравнений, графики, диаграммы, формулы, показывающие умение автора формализовать результаты исследования;
- в полном объеме представлена библиография по теме работы, имеются все ссылки на основные источники литературы, количество источников в **Списке использованной литературы – не менее 20 единиц**;
- уникальность представленной работы в целом и по отдельным главам должна быть **не менее 60%**, процент прямого заимствования материалов, взятых из одного Интернет источника, **не более 8%**.

Оценка «хорошо» (от 75 до 90 баллов) выставляется в случае, если:

- содержание работы имеет актуальный характер и в целом соответствует выбранной теме курсовой работы;
- работа выполнена студентом самостоятельно, имеет определенный творческий характер;
- проблема раскрыта с замечаниями преподавателя, материал изложен в определенной степени логично, существенные замечания по содержанию курсовой работы отсутствуют;
- в работе присутствует в определенной мере количественный и качественный анализ проблемы, однако поясняющие материалы приведены не в полном объеме и не позволяют в целом показать умение автора формализовать результаты исследования;
- библиография по теме работы представлена не в полном объеме;
- приложения к работе отсутствуют, что не позволяет подтвердить практические навыки и достижения автора, а также подкрепить сделанные им выводы;
- по своему содержанию и оформлению работа в большей степени соответствует требованиям, предъявляемым Методическими указаниями;
- уникальность представленной работы в целом и по отдельным главам должна быть **не менее 60%**, однако процент прямого заимствования материалов, взятых из одного Интернет источника, находится в пределах **от 9% до 15%**.

Оценка «удовлетворительно» (от 51 до 74 баллов) выставляется в случае, если:

- содержание работы не в полной мере соответствует выбранной теме курсовой работы;
- работа содержит большое количество фрагментов текста, заимствованных из доступных источников информации, что не позволяет в полном объеме оценить творческий и самостоятельный вклад студента в написание курсовой работы;
- в работе практически отсутствуют элементы анализа теоретического исследования проблемы, очень поверхностно рассмотрены некоторые подходы к ее решению;
- проблема раскрыта не полностью, с замечаниями преподавателя, нарушена логика изложения материала, имеются существенные замечания по содержанию курсовой работы;
- в работе практически полностью отсутствуют выводы и поясняющие материалы, необходимые для раскрытия темы курсовой работы, количественный и качественный анализ проблемы в целом отсутствует;
- приложения к работе отсутствуют;
- по своему содержанию и оформлению работа в меньшей степени соответствует требованиям, предъявляемым Методическими указаниями;
- в работе имеются определенные признаки специальных действий студента, связанных с искусственным повышением уровня уникальности;
- уникальность представленной работы в целом и по отдельным главам существенно **меньше 60%, но не ниже 40%**, процент прямого заимствования материалов, взятых из одного Интернет источника, находится в пределах **от 15% до 30%**.

Оценка «неудовлетворительно» (50 баллов и менее) выставляется в случае, если:

- содержание работы не соответствует выбранной теме курсовой работы;
- курсовая работа не содержит переработанного студентом теоретического учебного материала и представляет собой полный плагиат из доступных источников информации, в том числе составленных в режиме микширования;
- поставленные задачи не соответствуют раскрытию поставленной цели исследования;
- в работе полностью отсутствует анализ теоретического исследования проблемы, не рассматриваются подходы к ее решению;
- проблема полностью не раскрыта, логика изложения материала отсутствует или серьезно нарушена;
- библиография по теме работы отсутствует, ссылки на основные источники литературы отсутствуют;
- по своему содержанию и оформлению работа в целом не соответствует требованиям, предъявляемым Методическими указаниями;
- в работе имеются явные признаки специальных действий студента, связанных с искусственным повышением уровня уникальности;
- уникальность представленной работы в целом и по отдельным главам **менее 40%**, процент прямого заимствования материалов, взятых из одного Интернет источника, **превышает 30%**.

Отправка курсовой работы на «доработку» выполняется преподавателем, если студент имеет положительные оценки («хорошо» и «отлично») по другим защищенным курсовым работам, представленный материал имеет в целом высокий исследовательский уровень, но требует

определенной доработки. После доработки итоговая оценка по второй редакции курсовой работе не снижается.

Итоговая оценка по второй редакции курсовой работы автоматически снижается на «10» баллов, если первая редакция работы была оценена преподавателем как «неудовлетворительно».

Если курсовая работа получает оценку «неудовлетворительно» во второй раз и студент полностью игнорирует замечания преподавателя, указанные в первом отзыве, то дальнейшая защита курсовой работы передается в комиссию, составленную из преподавателей кафедры.

Часть 2. Справочные сведения по теме курсовой работы и методические указания по ее выполнению

Содержание:

- Глава 1. Основы обеспечения надежности систем электроснабжения предприятий
- Глава 2. Расчет и анализ надежности системы восстанавливаемых объектов энергообеспечения предприятия
- Глава 3. Оценка экономического ущерба от перерывов электроснабжения предприятия и оптимизация надежности электроснабжения
- Глава 4. Варианты задания на выполнения курсовой работы

Глава 1. Основы обеспечения надежности систем электроснабжения предприятий

Введение

Обеспечение надежности является одной из важнейших проблем при создании и эксплуатации любой технической системы. Особенно актуальна она для сложных систем, таких как системы электроснабжения, состоящих из большого числа элементов и имеющих обширные внутренние и внешние связи.

Задача обеспечения надежности систем электроснабжения включает в себя целый комплекс технических, экономических и организационных мероприятий, направленных на сокращение ущерба от нарушения нормального режима работы потребителей электроэнергии, таких как:

- выбор критериев и количественных характеристик надежности;
- испытания на надежность и прогнозирование надежности действующего оборудования;
- выбор оптимальной структуры проектируемых (реконструируемых) систем электроснабжения по критерию надежности;
- обеспечение заданных технических и эксплуатационных характеристик работы потребителей;
- разработка наиболее рациональной, с точки зрения обеспечения надежности, программы эксплуатации системы (обоснование режимов профилактических работ, норм запасных элементов и методов отыскания неисправностей).

Кроме того, в современных рыночных условиях надежность электроснабжения неразрывно связана с экономическими показателями и энергетической безопасностью промышленных предприятий.

В этой связи целью изучения дисциплины «Надежность электроснабжения» является формирование у будущих инженеров-электриков знаний в области теории и практики надежности систем электроснабжения и приобретение навыков самостоятельного решения инженерных задач по расчету и выбору схем электроснабжения с учетом надежности.

Формулировка задачи теоретической части исследований.

- *Провести анализ проблем обеспечения надежности систем электроснабжения предприятий с учетом их отраслевой специфики.*
- *Систематизировать основные требования, предъявляемые к надежности электроснабжения предприятий.*
- *Дать систематический обзор методов анализа и обеспечения надежности систем электроснабжения предприятий.*
- *Обобщить современные направления оптимизации надежности электроснабжения промышленных предприятий.*

Глава 2. Расчет и анализ надежности системы восстанавливаемых объектов энергообеспечения предприятия

Основные положения теории надежности

Системы электроснабжения относятся к классу сложных технических систем и определяются множеством свойств, из которых к числу важнейших относится *свойство надежности* технической системы.

Надежная работа устройств системы электроснабжения является необходимым условием обеспечения качественной и устойчивой работы промышленного предприятия. Анализ и обеспечение работоспособного состояния систем электроснабжения на этапах проектирования и эксплуатации – сложная задача, для решения которой используется математический аппарат теории надежности.

Целью курсовой работы является знакомство студентов с методами исследования и обеспечения надежности технических систем и получение практических навыков в определении отдельных показателей надежности применительно к устройствам электроснабжения. Работа состоит из двух частей. В первой части рассматривается логико-вероятностный метод построения модели сложной системы для расчета и анализа надежности заданного объекта электроснабжения.

Термины и определения, используемые в теории надежности, регламентированы ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Термины и определения» [1].

Надежность – свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени и в заданных пределах значения всех эксплуатационных параметров.

Надежность объекта характеризуется следующими основными *состояниями и событиями*:

- *Исправность* – состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией.
- *Работоспособность* – состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значения основных параметров, установленных нормативно-техническими документами.
- *Предельное состояние* – состояние объекта, при котором его применение (использование) по назначению недопустимо или нецелесообразно.
- *Повреждение* – событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении его работоспособного состояния.
- *Отказ* – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.
- *Критерий отказа* – отличительный признак или совокупность признаков, согласно которым устанавливается факт возникновения отказа.

Для некоторых объектов предельное состояние является последним в его функционировании, т.е. объект снимается с эксплуатации, для других – определенной фазой в эксплуатационном графике, требующей проведения ремонтно-восстановительных работ. В связи с этим объекты могут быть разделены на два класса:

- *невосстанавливаемые*, для которых работоспособность в случае возникновения отказа не подлежит восстановлению, или по каким-либо причинам нецелесообразна;
- *восстанавливаемые*, работоспособность которых может быть восстановлена, в том числе и путем замены элементов.

К числу невосстанавливаемых объектов можно отнести, например, электронные и электротехнические детали (диоды, сопротивления, конденсаторы, изоляторы и другие элементы конструкций). Объекты, состоящие из многих элементов, например, трансформатор, выключатель, электронная аппаратура, являются восстанавливаемыми, поскольку их отказы связаны с повреждениями одного или нескольких элементов, которые могут быть отремонтированы или заменены. В ряде случаев один и тот же объект в зависимости от особенностей, этапов эксплуатации или назначения может считаться восстанавливаемым или невосстанавливаемым. Введенная классификация играет важную роль при выборе моделей и методов анализа надежности.

Надежность является *комплексным* свойством, включающим в себя, в зависимости от назначения объекта или условий его эксплуатации, ряд *составляющих свойств*, в соответствии с ГОСТ 27.002-89:

- *безотказность*;
- *долговечность*;
- *ремонтпригодность*;
- *сохраняемость*.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторой наработки или в течение некоторого времени.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.

Ремонтпригодность – свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, поддержанию и восстановлению работоспособности путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

Сохраняемость – свойство объекта непрерывно сохранять требуемые эксплуатационные показатели в течение (и после) срока хранения и транспортирования.

В зависимости от объекта надежность может определяться всеми перечисленными свойствами или частью их.

Наработка – продолжительность или объем работы объекта, измеряемая в любых неубывающих величинах (единица времени, число циклов нагружения, километры пробега и т. п.).

Показатель надежности количественно характеризует, в какой степени данному объекту присущи определенные свойства, обуславливающие надежность.

Одним из основных показателей надежности является *функция надежности*:

$$P(t) = P(T > t),$$

где T – наработки до отказа элемента; t – заданная наработка. Таким образом, функция надежности есть *вероятность безотказной работы* (ВБР) объекта на интервале $(0, t)$.

Функция *ненадежности* определяется как вероятность отказа (ВО) объекта на интервале $(0, t)$:

$$Q(t) = P(T < t) = 1 - P(t)$$

При анализе системы, состоящей из однотипных элементов с большим сроком службы, в большинстве практических случаев полагают, что

вероятность безотказной работы элементов одинакова для всех элементов и подчиняется экспоненциальному закону

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

где λ - интенсивность отказов (ИО) одного элемента (или параметр потока отказов элемента ω , приложение 5). В терминах теории вероятностей $\lambda(t)$ есть условная плотность вероятности возникновения отказа в момент времени t невозстанавливаемого объекта на бесконечно малом интервале времени при условии, что до этого момента отказ объекта не произошел. Необходимо подчеркнуть, что для экспоненциального закона распределения функции надежности элемента в период нормальной работы элемента, принимается $\lambda(t) = \lambda = const$, что, в свою очередь, позволяет получить простые расчетные выражения.

При условии независимости отказов элементов системы, состоящей из n последовательно соединенных элементов, вероятность безотказной работы системы определится на основе теоремы умножения вероятностей:

$$P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t} \quad (2.1)$$

где $\lambda_n = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ - интенсивность отказов системы, состоящей из n последовательно соединенных элементов.

При параллельном соединении n элементов (блок «один вход - один выход») вероятность отказа блока определяется следующим выражением:

$$Q_n = \prod_{i=1}^n Q_i(t) = \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t}) \quad (2.2)$$

Методика расчетов надежности, применяемая для систем электроснабжения, основывается на общей теоретической базе [6-11]. При этом учитываются существенные, с точки зрения анализа и расчета показателей надежности, структурные и функциональные особенности рассматриваемых систем.

2.1. Формулировка задачи и методические указания расчета и анализа надежности системы восстанавливаемых объектов

Определить оценки показателей надежности (коэффициент готовности) для элементов системы, показанной на схеме замещения, по данным статистики отказов и восстановления за период эксплуатации N лет, с учетом паспортных данных, приведенных в приложениях 1 и 2.

Составить модель структуры сети для анализа надежности логико-вероятностным методом и определить значения ее показателей. Рассчитать и построить графики зависимости коэффициента готовности системы и вероятности отказа питания от каждого источника генерации на L последующих лет эксплуатации, с разбивкой по кварталам.

Сделать выводы о необходимости технического обслуживания по критерию минимально допустимого уровня надежности.

Условия расчета: пренебречь ненадежностью источников питания и шин 110 и 10 кВ. Законы распределения отказов и восстановления принять экспоненциальными, отказы элементов - независимы. Для двухцепных ЛЭП учитывать только отказ 2-х цепей. Для трансформаторов учитывать только восстановление аварийным ремонтом.

Принять в данной работе, что пропускная способность всех устройств сети выше максимальной нагрузки.

Уточнения показателей надежности. В поставленной задаче необходимо по статистике отказов устройств конкретной подстанции уточнить практические значения показатели надежности, соответствующие «априорным (нормативным) данным», взятым из отраслевых нормативных документов [4] (приложений 5), и представляющим собой средние значения, рассчитанные по ансамблю ретроспективных данных ОАО «Союзтехэнерго». По условиям задачи следует выбрать данные для заданного номинального напряжения, видов отказов и ремонтов, и типов устройств. Для линий электропередачи следует пересчитать табличные данные частоты отказов (откл./100 км в год) на фактическую длину ЛЭП.

Одним из распространенных методов учета новых статистических данных для уточнения показателей надежности является метод сглаживания временных рядов на основе механического экспоненциального сглаживания уровней временного ряда. Сглаженное значение наблюдения ряда x_t на момент времени t определяется по формуле:

$$x_t = (1 - g) \cdot x_{t-1} + g \cdot y_t, \quad (2.3)$$

где x_{t-1} - предыдущее (априорное) значение некоторого параметра x к моменту t ;

y_t - фактического значения параметра, полученное уточнением априорных данных по результатам прямых или косвенных измерений;

g - сглаживающий параметр, характеризующий вес выравниваемого наблюдения, причем $0 < g < 1$.

В условиях данной задачи коэффициент g представляет собой отношение времени эксплуатации N [лет] к суммарному времени накопления данных «время старения» - $M = N + 15$ [лет] (временем восстановления в этой формуле пренебрегаем).

Примечания:

1) Элементы, ни разу не отказавшие, учитываются «априорными данными» из приложений 1 и 2.

2) Предполагается, что «возраст» априорных данных, приведенных в таблицах приложения, - 15 лет.

3) Следует обратить внимание на размерность параметров: время $t - [год]$; частота отказов (оценка интенсивности) $\lambda - [отключений / год]$; время наработки или восстановления - $[10^{-3} лет]$.

Так как известно, что распределение отказов и восстановления подчиняются экспоненциальному закону, то коэффициент готовности элементов равен [6,10]

$$k_2 = t_0 / (t_0 + t_6), \quad (2.4)$$

где $t_0 = 1/\lambda$, - наработка до отказа (при экспоненциальном законе распределения);

t_6 - время восстановления.

После простых преобразований получим

$$k_2 = 1 / (1 + \lambda t_6). \quad (2.5)$$

Для достоверности расчетов по формулам (2.4) или (2.5), следует предварительно оценить показатели надежности элементов схемы замещения, отказавших и восстановленных за период эксплуатации объекта. Для этого воспользуемся формулой (2.3). Будем полагать, что асимптотически среднее число отказов элемента за период эксплуатации (функция восстановления элемента) стремится к интенсивности отказов λ (параметр потока отказов), а среднее время восстановления элемента величина, непрерывно распределенная на периоде эксплуатации, и равна её среднему значению. Таким образом, с учетом метод сглаживания временных рядов на основе механического экспоненциального сглаживания уровней временного ряда, параметры показателей надежности могут быть оценены по формулам:

$$\begin{cases} \lambda_i^* = N/M; \\ \lambda_i^* = (1 - \alpha)\lambda_i + (n_i/N); \\ t_i^* = (1 - \alpha)t_i + \left(\frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} \Delta t_{ij}\right) \end{cases} \quad (2.6)$$

где N - период эксплуатации элемента схемы замещения; $M = N + I5$ - полное "время старения" априорных данных; i - номер элемента, n_i - число отказов i -го элемента за период эксплуатации; j - текущий индекс отказа i -го элемента; Δt_{ij} - время восстановления i -го элемента при j -м отказе. Верхним индексом * отмечены оценки параметров - эти значения должны быть использованы в формуле (2.5) при оценке коэффициента готовности элемента.

Для построения математической модели структуры сети с целью анализа надежности и определения значений ее показателей следует применить логико-вероятностный метод расчета надежности электроснабжения с помощью дерева отказов [6,10,11].

Этот метод основан на применении законов теории вероятности к функциям алгебры логики и может применяться для достаточно простых схем к описанию состояний работоспособности и восстановления системы. Теоретически метод может быть применен к системе, время безотказной работы которой распределено по любому закону, однако на практике он используется для систем с простейшим потоком отказов (экспоненциальным законом распределения).

Напомним кратко основные понятия алгебры логики.

Алгебра логики - это раздел математики, занимающийся исчислением высказываний, т.е. таких предложений, относительно которых можно утверждать истинность или ложность. При этом высказывание можно рассматривать как величину, которая принимает два значения - «истина» или «ложь». Если высказывание x истинно, то записывают $x = I$, если x ложно, то $x = 0$.

Выражения, истинность которых определяется значениями истинности или ложности других, более простых, высказываний (аргументов), называются функциями алгебры логики.

В алгебре логики рассматриваются три основные логические операции: отрицание, конъюнкция (логическое умножение) и дизъюнкция (логическое сложение).

Пусть x - двоичная (бинарная) логическая переменная, принимающая значения $\{0;1\}$.

Основные логические операции:

- Отрицание: если $x = 1$ то $\bar{x} = 0$; если $x = 0$ то $\bar{x} = 1$ (читается "не x ").
- Дизъюнкция: логическое сложение (операция "или")

$x \vee y \leftrightarrow x + y = 0$ - только тогда, когда оба слагаемых равны нулю.

- Конъюнкция: логическое умножение (операция "и")

$x \wedge y \leftrightarrow x \cdot y = I$ - только тогда, когда оба сомножителя равны единице.

Правила преобразования логических выражений:

$$x \cdot I = x; x + I = I; x \cdot 0 = 0; x + 0 = x; x \cdot x = x; x + x = x; x \cdot \bar{x} = 0; x + \bar{x} = I.$$

Выполняются: ассоциативный, коммутативный и дистрибутивный законы, но есть и особенности:

$$\text{Закон инверсий: } (\overline{x + y}) = \bar{x} \cdot \bar{y}; (\overline{x \cdot y}) = \bar{x} + \bar{y};$$

$$\text{Операция поглощения: } x \cdot y + x = x; x(x + y) = x;$$

$$\text{Операция слияния - «склеивания»: } (x \cdot y) + (x \cdot \bar{y}) = x; (x \cdot y) + (\bar{x} \cdot y) = y.$$

Обозначим работоспособное состояние i -го элемента $x_i = I$, а неработоспособное $x_i = 0$. Состояние некоторой системы обозначим через $Z_{\text{path}}(x_1, x_2, \dots, x_n)$, где индекс path означает определенный путь на схеме соединения элементов системы. Функция $Z_{\text{path}}(*)$ называется логической функцией работоспособности (ЛФР) системы. Очевидно, что функция $Z_{\text{path}}(*)$ будет принимать значение 1 или 0 (работоспособное или неработоспособное состояние) в зависимости от соединения элементов и сочетания значений переменных x_i . Так, при последовательном соединении

$$Z_{\text{noc}} = (x_1 \cdot x_2 \dots x_n); \quad (2.7)$$

при параллельном соединении

$$Z_{\text{nap}} = (x_1 + x_2 + \dots + x_n). \quad (2.8)$$

В теории надежности функция состояния (безотказности или отказа) системы может быть записана, как функция алгебры логики, в которой аргументами являются переменные состояния отдельных элементов. При этом, чтобы рассмотреть все взаимосвязи случайных событий, необходимо построить логическую блок-схему, которая называется деревом отказов.

Для электрических сетей логическая блок-схема надежности часто представляет собой аналог схемы замещения, отображающей соединение реальных элементов, где ветви - линии связи, а узлы - выключатели и шины. Это справедливо, если пропускная способность каждого элемента больше нагрузки. Но если пропускная способность хотя бы одного элемента не позволяет передать необходимую мощность, аналогия нарушается.

Вероятность нахождения восстанавливаемой системы, представленной ЛФР, в работоспособном состоянии в момент времени t , определится выражением

$$k_{Г}(t) = P(Z = 1), \quad (2.9)$$

при этом для каждого i -го элемента справедливо аналогичное выражение

$$k_{Г_i}(t) = P(x_i = 1). \quad (2.10)$$

При последовательном соединении n элементов

$$P(Z = 1) = P(x_1=1) \cdot P(x_2=1) \cdot \dots \cdot P(x_n=1) = \prod_{i=1}^n P(x_i = 1). \quad (2.11)$$

Тогда для восстанавливаемой системы, состоящей из n последовательных элементов

$$k_{Г}(t) = \prod_{i=1}^n k_{Г_i}(t); \quad \lambda(t) = \prod_{i=1}^n \lambda_i(t); \quad p(t) = e^{-\lambda(t)t} \quad (2.12)$$

При параллельном соединении составим логическую функцию неработоспособности

$$Q(t) = P(\bar{Z} = 1) = P(\bar{x}_1 = 1) \cdot P(\bar{x}_2 = 1) \cdot \dots \cdot P(\bar{x}_n = 1) = \prod_{i=1}^n P(\bar{x}_i = 1) = \prod_{i=1}^n q_i(t) \quad (2.13)$$

где $q_i(t) = 1 - p_i(t)$.

Приведенные формулы (2.7) – (2.13) позволяют построить ЛФР по заданной схеме электропитания (см. п. 2.2.)

Зная зависимость $k_{Г}(t)$ и заданное значение минимально допустимого уровня надежности: минимально-допустимого коэффициента готовности $k_{Гдоп}$, можно оценить максимальный срок эксплуатации без технического обслуживания [5] по критерию

$$k_{Г}(t) > k_{Гдоп} \quad (2.14)$$

Если существует момент времени $t_{доп}$, при котором нарушается неравенство (2.14), то, с точки зрения обеспечения заданного уровня надежности, следует назначить техническое обслуживание (планово-профилактическое) до момента $t_{доп}$. Если же $t_{доп} = 0$, то в выводах следует указать, что профилактическое техническое обслуживание необходимо провести до расчетного периода эксплуатации.

2.2.. Пример расчета и анализа надежности системы восстанавливаемых объектов

Схема замещения заданной подстанции показана на рис 2.1, ее описание и исходные данные приведены в табл. 2.1

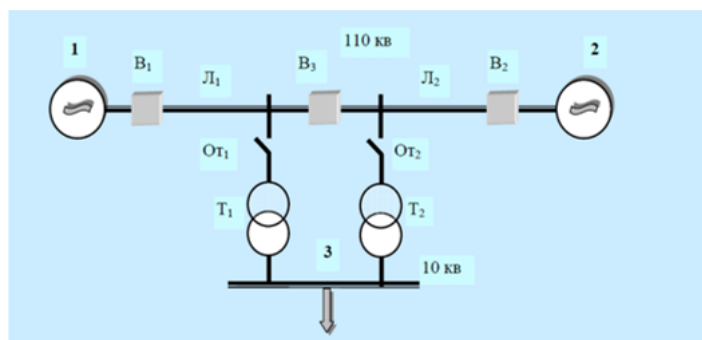


Рис.2.1 Схема замещения подстанции

Описание схемы и параметры расчета:

- Длина линий: Л1 = 50 км; Л2 = 200 км. Линия Л2 – двухцепная;
- Выключатели: В1 и В3 - масляные, В2 – воздушный;
- Отделители От1 и От2;
- Период эксплуатации N = 5 лет; период прогнозирования L = 2 года
- Минимально допустимый уровень надежности $k_{Гдоп} = 0.9$.

Все выключатели и отделители включены.

По таблицам приложений: выбираем только устойчивые отказы; для трансформаторов – в цепях ВЛ. Ремонт элементов подстанции осуществляется по следующей технологической схеме : двухцепные ВЛ – 2-х цепей; трансформаторов – аварийным восстановлением.

Таблица 2.1

Исходные данные по элементам схемы

№ Элемент	λ – частота отказов, откл./год	t _в - ср. время восстановления, 10 ⁻³ лет/отказ	Время	
			Число отказов восстановления	
			Паспортные данные	Статистика отказов
1 В ₁	0,01	2,5	2	4,5; 3,3
2 В ₂	0,07	2,5		-
3 В ₃	0,01	2,5		-
ВЛ1	0,71	0,5	4	0,5;0,3;0,4;0,8
ВЛ2	0,88	0,3	3	2,2;2,8;1,6
4 ВН1	0,013	0,4		-

5	ВН2	0,013	0,4	1	0,3
6	T1	0,01	60,0		-
7	T2	0,01	60,0	2	40,4; 67,2

В табл. 2.1, по данным приложений, подготовлена информация в разделе «паспортные данные» (Приложение 5) для заданной схемы замещения и расчетных условий. Здесь жирным шрифтом выделены параметры линий, пересчитанные на их конкретную длину:

$$ВЛ1: 1.41 \cdot (50 \text{ км}/100 \text{ км}) = 0.71 \text{ откл/год};$$

$$ВЛ2: 0.44 \cdot (200 \text{ км}/100 \text{ км}) = 0.88 \text{ откл/год}.$$

Далее, по данным статистики отказов, следует рассчитать фактические оценки частоты отказов λ (или параметр потока отказов ω) элементов схемы и среднего времени их восстановления t_g .

Приведем пример расчета для одного из отказавших элементов (выключатель B_1):

- вес измерений определим как «коэффициент старения информации»:

$$g = 5/(5+15) = 0.25; (1-g) = 0.75;$$

- оценки параметров найдем по формулам (2.3) и (2.6):

$$\lambda^*(B_1) = (1-g) \cdot \lambda(B_1) + g \cdot (2/5) = 0.75 \cdot 0.01 + 0.25 \cdot 0.4 = 0.1075 \text{ откл/год};$$

$$t_g^*(B_1) = (1-g) \cdot t_g(B_1) + g \cdot [(4.5 + 3.3)/2] = 0.75 \cdot 2.5 + 0.25 \cdot 3.9 = 2.85 \cdot 10^{-3} \text{ лет/отказ}.$$

$$k_z(B_1) = 1 / (1 + 0.1075 \cdot 2.85 \cdot 10^{-3}) = 0.9997.$$

В табл. 2.2 приведены результаты расчетов. Расчетные значения показателей надежности элементов схемы с учетом статистики отказов в таблице выделены **жирным шрифтом**. При отсутствии данных об отказах остаются паспортные (априорные) значения. В таблицу введен дополнительный столбец логических переменных структурной схемы замещения «Переменная x_i », который будет заполнен далее.

Таблица 2.2

Результаты расчета показателей по статистике отказов

№	Элемент	Переменная x_i	λ^* – частота	t_g^* – ср. время	K_T -коэфф. готовности
			отказов, откл./год	восстановления, 10^{-3} лет/отказ	
1	B_1	x_1	0,108	2,85	0,99969
2	B_2	x_4	0,07	2,5	0,99982
3	B_3	x_{23}	0,01	2,5	0,99998
	ВЛ1	x_{12}	0,733	0,50	0,99963
	ВЛ2	x_{34}	0,810	2,80	0,99774
4	ВН1	x_{25}	0,013	0,4	0,99999
5	ВН2	x_{36}	0,060	0,38	0,99997
6	T1	x_5	0,01	60,0	0,99940
7	T2	x_6	0,108	58,4	0,99373

Исходя из заданной схемы замещения подстанции (рис. 2.1.), составим её ЛФР для 3-го узла (электроприемник, подключенный к секции шин 10кВ), учитывая все возможные пути от источника к электроприемнику. Для этого преобразуем исходную схему замещения к структурной логической блок-схеме анализа надежности, введя дополнительные узлы и переменные состояния x_i . Отметим, что понятия «узлы» и «связи» для схем замещения и структурной логической блок-схемы могут не совпадать: так, например, отделитель «От1» представлен в структурной схеме «связью» x_{25} , см. рис 2.2. Кроме того, так как объекты генерации и шины 10 кВ, по условию задачи, абсолютно надежны, при составлении схемы для анализа надежности их можно не учитывать, если они не являются элементами связи или ветвления (например – шины 110 кв должны быть введены в структурную схему как узлы ветвления 2 и 3).

Логические переменные структурной схемы описаны в таблице соответствия 2.3.

Таблица 2.3

Соответствие параметров состояния (логических переменных) структурной схемы элементам схемы замещения

x_1 : состояние выключателя B_1 ,	x_4 : состояние выключателя B_2 ,
x_{12} : состояние линии L_1 ,	x_{25} : состояние отделителя $От_1$,
x_2 : состояние шин 110 кв ,	x_5 : состояние трансформатора T_1
x_{23} : состояние выключателя ШСВ B_3	x_{36} : состояние отделителя $От_2$,
x_3 : состояние шин 110 кв ,	x_6 : состояние трансформатора T_2 .
x_{34} : состояние линии L_2 ,	

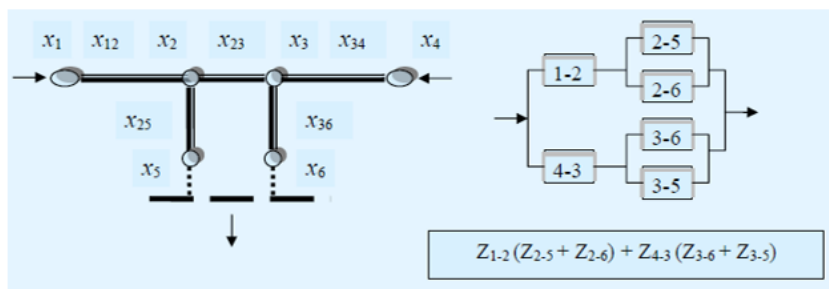


Рис 2.2. Структурная схема анализа Рис 2.3. Схема представления ЛФР надежности (логическая блок-схема надежности)

Из анализа структурной логической блок-схемы надежности подстанции на рис 2.2 можно сделать вывод, что ЛФР системы электроснабжения представляет дизъюнкцию ЛФР четырех путей электропитания (при индексации пути использованы только номера узлов структурной схемы):

$$Z = Z_{1-2-5} + Z_{1-2-3-6} + Z_{4-3-6} + Z_{4-3-2-5}. \quad (2.15)$$

Раскрывая ЛФР правой части (1.13), получим

$$Z = (x_1 x_{12} x_2 x_{25} x_5) + (x_1 x_{12} x_2 x_{23} x_3 x_{36} x_6) + (x_4 x_{34} x_3 x_{36} x_6) + (x_4 x_{34} x_3 x_{23} x_2 x_{25} x_5).$$

С учетом допущения об абсолютной надежности источников питания, т.е. состоянии шин 110 кВ можно учесть, что $x_2=1$ и $x_3=1$ и, таким образом, упростить дизъюнктивную форму ЛФР системы электроснабжения:

$$Z = (x_1 x_{12}) \cdot (x_{25} x_5 + x_{23} x_{36} x_6) + (x_4 x_{34}) \cdot (x_{36} x_6 + x_{23} x_{25} x_5) = Z_{1-2} \cdot (Z_{2-5} + Z_{2-6}) + Z_{4-3} \cdot (Z_{3-6} + Z_{3-5}) \quad (2.16)$$

Эквивалентная схема представления ЛФР в виде соединения комплексных элементов надежности в форме (2.16) представлена на рис. 2.3.

Раскроем выражения составляющих ЛФР в формуле (2.9) $P(Z=1)$, для ее конкретного представления (2.15) - (2.16) и заданного экспоненциального закона распределения:

- Для блоков последовательных элементов на рис. 2.3:

$$P(Z_{1-2}=1) = P(x_1=1) \cdot P(x_{12}=1) = p_{1-2} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_{12}) \cdot t}$$

$$P(Z_{4-3}=1) = P(x_4=1) \cdot P(x_{34}=1) = p_{4-3} = e^{-(\lambda_4 + \lambda_{34}) \cdot t}$$

- Для блоков параллельных элементов на рис. 2.3:

$$P(\overline{Z_{2-5}} = 1) = P(\overline{x_{25}} = 1) \cdot P(\overline{x_5} = 1) = q_{2-5} = 1 - e^{-(\lambda_5 + \lambda_{25}) \cdot t}$$

$$P(\overline{Z_{2-6}} = 1) = P(\overline{x_{23}} = 1) \cdot P(\overline{x_{36}} = 1) \cdot P(\overline{x_6} = 1) = q_{2-6} = 1 - e^{-(\lambda_{23} + \lambda_{36} + \lambda_6) \cdot t}$$

$$P(\overline{Z_{3-6}} = 1) = P(\overline{x_{36}} = 1) \cdot P(\overline{x_6} = 1) = q_{3-6} = 1 - e^{-(\lambda_6 + \lambda_{36}) \cdot t}$$

$$P(\overline{Z_{3-5}} = 1) = P(\overline{x_{23}} = 1) \cdot P(\overline{x_{25}} = 1) \cdot P(\overline{x_5} = 1) = q_{3-5} = 1 - e^{-(\lambda_{23} + \lambda_{25} + \lambda_5) \cdot t}$$

Введем промежуточные обозначения:

- $p_{2-5-6} = 1 - q_{2-5-6} = 1 - q_{2-5} \cdot q_{2-6}$ - ВБР блока параллельных элементов $Z_{2-5} + Z_{2-6}$;
- $p_{3-6-5} = 1 - q_{3-6-5} = 1 - q_{3-6} \cdot q_{3-5}$ - ВБР блока параллельных элементов $Z_{3-6} + Z_{3-5}$;
- $q_1^* = 1 - p_{1-2} \cdot p_{2-5-6}$ - ВО питания на пути от узла №1 на схеме замещения (на структурной схеме анализа надежности рис.2.2. это узел 1),
- $q_4^* = 1 - p_{4-3} \cdot p_{3-6-5}$ - ВО питания на пути от узла №2 на схеме замещения (на структурной схеме анализа надежности рис. 2.2. это узел 4).

Таким образом, вероятность отказа питания электропотребителя, подключенного к секции шин (ICШ) равна:

$$Q = q_1^* \cdot q_4^*; k_{\Gamma}(t) = P(Z=1) = 1 - Q. \quad (2.17)$$

Расчеты, выполненные по полученным формулам, приведены в табл. 2.4. Данные таблицы характеризуют изменение составляющих ЛФР на заданном периоде прогноза эксплуатации ($L = 2$ года) с поквартальной разбивкой. На рис. 2.4 показаны графики изменения трех основных показателей надежности данной системы электроснабжения: $q_1^*(t)$, $q_4^*(t)$, $k_{\Gamma}(t)$, построенные по данным табл. 2.4. Такой вид изменения показателей во времени типичен для экспоненциального закона распределения. На основании полученных результатов следует провести качественный анализ надежности заданной схемы электропитания и сделать выводы о необходимости технического обслуживания на рассматриваемом периоде эксплуатации.

Точное значение $t_{\text{дон}}$ может быть получено решением уравнения

$$k_{\Gamma}(t_{\text{дон}}) = k_{\Gamma \text{дон}} \quad (2.18)$$

любым из численных методов, но для планирования сроков технического обслуживания достаточно указать интервал времени, в котором первый раз нарушается критерий $k_{\Gamma}(t) > k_{\Gamma \text{дон}}$ (2.14), так как зависимость $k_{\Gamma}(t_{\text{дон}})$ является монотонно убывающей. Из таблицы и графиков видно, что критерий (2.14) нарушается уже во втором квартале 1-го года последующей эксплуатации:

$$k_{\Gamma}(0.25) > k_{\Gamma \text{дон}} > k_{\Gamma}(0.5), \text{ или: } 0.9625 > 0.9 > 0.8773,$$

поэтому $t_{\text{дон}} = 0.25$ [лет] и техническое обслуживание (профилактическое) следует назначить в первом квартале.

Расчет показателей надежности на двухлетний период эксплуатации (прогноз)

Формула Z(*)	$\Sigma\lambda$	1-й год				2-й год			
		0,25	0,50	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0
$p_{1-2} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_{12}) \cdot t}$	108+0,733	0,8104	0,6567	0,5322	0,4313	0,3495	0,2832	0,2295	0,1860
$p_{4-3} = e^{-(\lambda_4 + \lambda_{34}) \cdot t}$	0,07+0,810	0,8025	0,6440	0,5168	0,4148	0,3329	0,2671	0,2144	0,1720
$q_{2-5} = 1 - e^{-(\lambda_5 + \lambda_{25}) \cdot t}$	0,01+0,013	0,0057	0,0114	0,0171	0,0229	0,0283	0,0339	0,0394	0,0449
$q_{2-6} = 1 - e^{-(\lambda_{23} + \lambda_{36} + \lambda_6) \cdot t}$	0,01+0,060+0,108	0,0435	0,0851	0,1250	0,1631	0,1995	0,2343	0,2676	0,2995
$q_{3-6} = 1 - e^{-(\lambda_6 + \lambda_{36}) \cdot t}$	0,108+0,060	0,0411	0,0805	0,1184	0,1546	0,1894	0,2228	0,2547	0,2854
$q_{3-5} = 1 - e^{-(\lambda_{23} + \lambda_{25} + \lambda_5) \cdot t}$	0,01+0,013+0,01	0,0082	0,0163	0,0244	0,0325	0,0404	0,0483	0,0561	0,0639
$p_{2-5-6} = 1 - q_{2-5-6} = 1 - q_{2-5} \cdot q_{2-6}$	-	0,9997	0,9990	0,9979	0,9963	0,9943	0,9921	0,9894	0,9865
$p_{3-6-5} = 1 - q_{3-6-5} = 1 - q_{3-6} \cdot q_{3-5}$	-	0,9997	0,9987	0,9971	0,9950	0,9923	0,9892	0,9857	0,9818
$q_1^* = 1 - p_{1-2} \cdot p_{2-5-6}$	-	0,1898	0,3439	0,4689	0,5703	0,6525	0,7190	0,7729	0,8165
$q_4^* = 1 - p_{4-3} \cdot p_{3-6-5}$	-	0,1977	0,3568	0,4846	0,5873	0,6697	0,7357	0,7887	0,8311
$k_T(t) = P(Z=1) = 1 - q_1^* \cdot q_4^*$	-	0,9625	0,8773	0,7727	0,6650	0,5631	0,4710	0,3904	0,3214

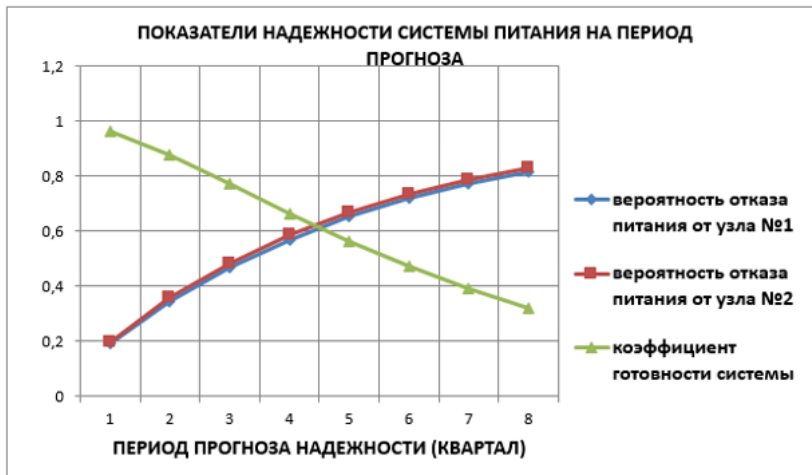


Рис 2.4. Изменение вероятности отказа питания и коэффициента готовности системы питания

Глава 3. Оценка экономического ущерба от перерывов электроснабжения предприятия и оптимизация надежности электроснабжения

Введение

Для обобщения всех вышеприведенных характеристик надежности электроснабжения нужно использовать единый критерий эффективности. В современных условиях при переходе от директивного управления предприятиями к рыночному таким показателем являются экономические затраты.

Для потребителя энергии важно оценить ущерб, который он будет иметь из-за ненадежности энергоснабжения в случае нарушения технологического процесса и срыва поставок своей продукции. Для энергоснабжающей организаций обеспечение заданной надежности выражается в повышении капитальных затрат и ежегодных издержек на содержание резервного электрооборудования. При этом экономический ущерб является лишь частью хозяйственного ущерба, который может иметь еще социальные и экологические составляющие, не оцениваемые в денежном выражении.

3.1 Оценка ущерба потребителя при нарушении электроснабжения

Для потребителя энергии важно оценить реальные затраты, которые он будет иметь из-за ненадежности энергоснабжения и которые он мог бы закладывать в договорные отношения с энергоснабжающей организацией с одной стороны и со смежными предприятиями в случае срыва поставок своей продукции с другой стороны.

Если исходить из того, что количество выпускаемой предприятием продукции (и его доход) пропорционально полученной электроэнергии:

$$\Pi = k \cdot W = k \cdot N_{\text{ср}} \cdot t_{\text{раб}} \quad (3.1)$$

то основная составляющая ущерба будет пропорциональна снижению производительности:

$$Y(t) = \Delta\Pi = k \cdot \Delta W = k \cdot N_{\text{ср}} \cdot t_{\text{огр}}, \quad (3.2)$$

где $N_{\text{ср}}$ – средняя потребляемая мощность, кВт;

$t_{\text{раб}}$ – нормативное время работы потребителя, час;

$t_{\text{огр}}$ – время нарушения электроснабжения (время ограничения), час;

Таким образом, можно выделить следующие **существенные факторы**, определяющие величину ущерба:

- тип потребителя и характер его производства;
- величину недополученной электроэнергии (ΔW);
- глубину ограничения по мощности (ΔP);
- время ограничения ($t_{\text{огр}}$);
- момент наступления ограничения (степень внезапности);
- наличие технологических и иных резервов.

Кроме того, перерыв электроснабжения приводит к нарушению технологического процесса, простоя рабочих и оборудования, недоиспользованию, непроизводительному расходу или уничтожению сырья, снижению качества продукции и т.п.

Для начала рассмотрим простейший случай, когда фактор внезапности нарушения отсутствует. Предположим, что факт ограничения рассматриваемого потребителя известен с заблаговременностью, достаточной для принятия всех необходимых мер по предотвращению срыва технологического процесса, брака продукции, поломки оборудования и т.д. Таким образом, останется только та часть ущерба, которая возникает в любом случае. Эту составляющую будем обозначать **основным ущербом**.

Можно предположить, что эта составляющая зависит от типа потребителя, величины недополученной энергии и наличия у потребителя технологических и иных резервов. Здесь возможны четыре характерных случая (рисунок 3.1):

1. *незначительный ущерб* – величина резервов у потребителя достаточна для того, чтобы компенсировать невыработанную за время ограничения продукцию и не нарушать режим работы смежных предприятий;
2. *высокая тяжесть ущерба* – невосполнимая для экономики; резервов у потребителя нет, он простаивает, не вырабатывает продукцию и недопоставляет ее смежным предприятиям;
3. *средняя тяжесть ущерба* – промежуточное состояние между двумя рассмотренными выше;
4. *максимальная тяжесть ущерба* (недопустимая на практике) – прекращая работу, потребитель создает угрозу жизни людей или глубокий ущерб окружающей среде, который оценить в денежном выражении практически невозможно.

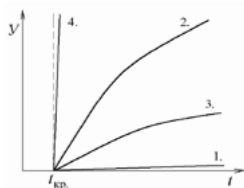


Рис. 3.1 Зависимость степени тяжести ущерба от времени нарушения

Таким образом, расчетный экономический ущерб потребителя от перерыва электроснабжения имеет две составляющих [11]:

$$Y = Y' + Y'', \quad (3.3)$$

где Y' – первичный ущерб, вызванный перерывом электроснабжения данного потребителя (предприятия или технологического агрегата), руб.

Y'' – вторичный ущерб в результате вынужденного простоя следующей технологической ступени или смежного предприятия, руб.

В приближенных расчетах и при проектировании удобно пользоваться относительной величиной удельного ущерба на единицу потребляемой

электроэнергии или на единицу продукции, которая является примерно постоянной для родственных предприятий каждой отрасли:

а) если известна величина удельного ущерба y_t , руб. / ед. прод.:

$$Y' = (y_t T_{B,расч.} \omega_{расч.}) \Pi = y_t \cdot k_{п.} \cdot \Pi, \quad (3.4)$$

где $\omega_{расч.}$ – расчетная интенсивность аварийных перерывов электроснабжения (параметр потока отказов системы), год⁻¹;

$T_{B,расч.}$ – расчетное время ликвидации аварии, час;

Π – средняя производительность предприятия, ед. прод./ час;

$k_{п.}$ – коэффициент простоя ($k_{п.} = T_{B,расч.} \omega_{расч.} = 1 - k_{г.}$).

б) если известна величина удельного ущерба y_t/W , руб. / кВт•ч:

$$Y' = (y_t/W T_{B,расч.} \omega_{расч.}) N_{ср.} = (y_t/W T_{B,расч.} \omega_{расч.}) \frac{W_0 - W_1}{8760}, \quad (3.5)$$

где $N_{ср.}$ – средняя электрическая нагрузка предприятия в нормальном режиме, кВт;

$W_{расч.}$ – расчетное электропотребление предприятия в нормальном режиме, кВт•ч / год;

$W_{факт.}$ – фактическое электропотребление предприятия при нарушении электроснабжения, кВт•ч / год;

Аналогично определяется вторичный ущерб:

$$Y'' = (y''_t \Delta T_B \omega_{расч.}) \Pi'', \quad (3.6)$$

$$Y'' = (y''_{t/W} \Delta T_B \omega_{расч.}) \frac{W_0 - W_1}{8760}, \quad (3.7)$$

где y''_t – удельный ущерб, связанный с длительностью простоя вторичного производства, руб. / ед. прод. [12];

$y''_{t/W}$ – удельный ущерб, связанный с простоем (недопотреблением электроэнергии) вторичного производства, руб. / кВт•ч [17];

ΔT_B – простой вторичного производства ($\Delta T_B = T_B - T''_{кр.}$), час;

$T''_{кр.}$ – максимально допустимое (критическое) время перерыва первичного производства без ущерба для вторичного, час [11].

Ущерб потребителя, связанный с нарушением технологического процесса, повреждением технологического оборудования и сырья при непредсказуемом аварийном отказе электроснабжения называется ущербом внезапности.

Для его оценки рассмотрим предприятие в виде упрощенной модели, на входе которой имеем сырье и электроэнергию, а на выходе – готовую продукцию (рисунок 3.2). В общем случае нагрузка потребителя состоит из электроприемников аварийной брони, технологической брони и прочих.

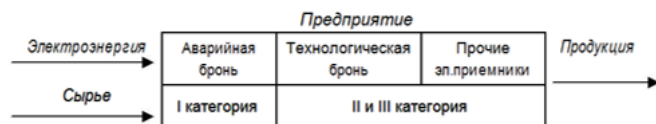


Рис. 3.2. Модель предприятия для ущерба оценки внезапности

Потеря питания электроприемников аварийной брони связана с повреждением оборудования, инструмента, возможностью взрывов, пожаров и других аналогичных последствий. Однако, учитывая что нагрузка аварийной брони составляет относительно небольшую величину и имеет многократное резервирование от нескольких независимых источников, ее можно в дальнейшем исключить из рассмотрения.

Внезапные отключения электроприемников технологической брони приводят к порче сырья и потере продукции (если время ограничения больше допустимого, после которого наступает срыв технологического процесса), а также к затратам времени и ресурсов на восстановление нормального технологического режима.

Если рассматривать в качестве эквивалента расход электроэнергии как в уравнении (3.1), то **ущерб внезапности** можно записать в виде:

$$Y_0 = \frac{W_{р.цикл.} + W_{восст.} + W_{рез.}}{W_0}, \quad (3.8)$$

где $W_{р.цикл.}$ – непроизводительный расход энергии на незавершенный технологический цикл, кВт•ч;

$W_{восст.}$ – затраты энергии на восстановление нормального технологического процесса, кВт•ч;

$W_{рез.}$ – имеющиеся резервы мощности ($W_{рез.} = N_{рез.} t_{рез.}$), кВт•ч;

$W_{уд.}$ – удельный расход энергии в нормальном режиме, кВт•ч/ ед. прод.

В практических расчетах надежности удобно пользоваться удельными величинами ущерба, отнесенного либо к мощности технологической брони, либо к полной установленной мощности рассматриваемого потребителя, от которых легко перейти к удельному ущербу на единицу продукции:

$$y_0 = \frac{Y_0}{N_{т.}} W_{т.}; \quad y_0 = \frac{Y_0}{N_{п.}} W_{п.}, \quad (3.9)$$

В итоге полный экономический ущерб потребителя можно определить по формулам:

$$Y' = \gamma \cdot (y_0 + y_t T_{в,расч.}) \cdot \omega_{расч. П}, (3.10)$$

$$Y' = \gamma \cdot (y_0 + y_t / W T_{в,расч.}) \cdot \frac{W_{расч.} - W_{факт.}}{8760} \cdot \omega_{расч.}, (3.11)$$

где y_0 – составляющая удельного ущерба, связанная с фактом потери питания, руб. / (перерыв × ед.прод.);

γ – коэффициент, учитывающий степень ограничения производства при перерывах электроснабжения.

Глава 4. Варианты задания на выполнения курсовой работы

4.1. Варианты заданий на выполнение расчетов надежности системы

Формулировка задания:

- Определить надежность подстанции предприятия, схема замещения которой приведена на рис. 4.1. Определить коэффициенты готовности для элементов системы, показанной на схеме замещения, с учетом данным статистики отказов и восстановления за период эксплуатации N лет (таблицы 4.1 – 4.3), и паспортных (нормативных) данных показателей надежности элементов системы, приведенных в приложении 5 [4].
- Составить модель структуры сети для анализа надежности логико-вероятностным методом и определить значения ее показателей. Рассчитать и построить графики зависимости коэффициента готовности системы и вероятности отказа питания от каждого источника генерации на L последующих лет эксплуатации, с разбивкой по кварталам.
- Сделать выводы о необходимости технического обслуживания по критерию минимально допустимого уровня надежности. Предложить организационно-технические мероприятия по обеспечению требуемого уровня надежности. Дать оценку экономического ущерба от вероятных перерывов электроснабжения предприятия с учетом его отраслевой принадлежности (таблица 4.4) и характеристикой удельных ущербов предприятий от перерывов электроснабжения (приложение 6).

Порядок выбора данных схемы замещения:

Выбор варианта задания производится в соответствии с тремя цифрами младших разрядов ИНС. Так, например ИНС 053-02137, следовательно, вариант задания №137 и значение параметров поиска в таблицах 4.1 и 4.2 – XYZ = 137.

По таблицам 4.1 и 4.2 в соответствии с вариантом задания определяем параметры схемы замещения подстанции (длина линий электропередачи Л1 и Л2 и номер воздушных выключателей на схеме замещения), периоды эксплуатации N и прогноза L её надежности, а также минимальный уровень коэффициента готовности $k_{Гдоп}$ системы. В таблицах 4.1 и 4.2 по вертикали (координата X) данные объединены в триады; по координатам Y,Z – в группы по два значения. В ячейках Л1, Л2 данные в км, в ячейках Вв указаны номера на схеме воздушных выключателей (остальные выключатели масляные).

Так для выбранного варианта №137 данные в таблицах 4.1 и 4.2 выделены курсивом: длина ЛЭП Л1 – 65 км; Л2 – 165 км; номер воздушного выключателя В3 на схеме замещения; период эксплуатации $N = 5$ лет; $L = 3$ года; $k_{Гдоп} = 0,92$. При выборе нормативных значений параметров (Приложение 5) [4] следует учесть, что для всех вариантов ЛЭП - Л1- одноцепная воздушная линия электропередачи с железобетонными опорами; Л2 - двухцепная воздушная линия электропередачи с металлическими опорами; номинальная мощность трансформаторов $S_{Тном.} = 2,5 - 7,5$ МВА.

По таблице 4.3, определяем данные статистики отказов элементов. В этой таблице приняты следующие обозначения:

$$N_s = X+Y+Z, \text{ – код варианта;}$$

E1 – обозначение элемента на схеме замещения (O1,O2,O3 – отделители O_{T1}, O_{T2}, O_{T3} соответственно; L1, L2 – воздушные ЛЭП Л1 и Л2 соответственно; остальные совпадают с обозначениями на схеме);

n - число отказов элемента;

T_{rest} [1..n] – статистика восстановлений элемента, 10^{-3} лет/отказ.

Так для варианта №137 код варианта в таблице 4.3 равен $N_s = 1+3+7 = 11$. Значения статистики отказов элементов в строке $N_s = 11$ выделены курсивом: например, выключатель В3 за период эксплуатации 5 лет имел два отказа со средним временем восстановления $t^*_B = 16,7$ [10^{-3} лет/отказ] и 17,8 [10^{-3} лет/отказ]; аналогично по элементам В4; В1 и Т2.

Следует обратить внимание на размерность показателей надежности, приводимых в таблицах нормативных данных [4] (приложение 5) и таблицах задания, и привести их в соответствие.

Выбора отраслевой принадлежности электропотребителя производится в соответствии с кодом варианта $N_{отрасль} = Z$ в таблице 4.4, где параметр Z – цифра младшего разряда ИНС. Так, если ИНС 053-02137, то $N_{отрасль} = 7$. Характеристики удельных ущербов предприятий от перерывов электроснабжения следует определить в соответствии с выбранной отраслью промышленности по статистическим данным (приложение 6 таблица 6.1). При этом наименование отраслевого предприятия в таблице 6.1 выбирается по усмотрению автора проекта.

Таблица 4.1.

Таблица 4.2.

Описание схемы							Параметры расчета						
X	Y=>	0, 9	1, 8	2, 7	3, 6	4, 5	Z=>	0, 9	1, 8	2, 7	3, 6	4, 5	X
0	Л ₁	20	31	42	53	64	N	4	5	6	6	7	0
	Л ₂	120	131	142	153	164	L	2	3	3	2	3	
	В _в	1	2	3	2	1	k _{Г_{дон}}	0.85	0.87	0.89	0.92	0.94	
1	Л ₁	30	43	54	65	76	N	5	6	5	7	6	1
	Л ₂	130	143	154	165	176	L	3	2	3	2	3	
	В _в	2	3	4	3	2	k _{Г_{дон}}	0.87	0.89	0.92	0.94	0.85	
2	Л ₁	40	42	44	46	48	N	4	5	6	6	7	2
	Л ₂	140	142	144	146	148	L	2	2	3	3	3	
	В _в	3	4	2	4	3	k _{Г_{дон}}	0.89	0.92	0.94	0.85	0.87	
3	Л ₁	50	51	53	55	57	N	6	4	5	4	6	3
	Л ₂	150	151	153	155	157	L	2	3	2	2	3	
	В _в	4	2	3	2	4	k _{Г_{дон}}	0.92	0.94	0.85	0.87	0.89	
4	Л ₁	60	63	65	67	69	N	4	5	5	4	5	4
	Л ₂	160	163	165	167	169	L	3	2	2	3	2	
	В _в	2	4	1	4	2	k _{Г_{дон}}	0.94	0.85	0.87	0.89	0.92	
5	Л ₁	70	72	74	76	78	N	7	4	7	5	7	5
	Л ₂	170	172	174	176	178	L	2	2	3	2	2	
	В _в	1	3	2	3	1	k _{Г_{дон}}	0.84	0.86	0.88	0.93	0.96	
6	Л ₁	80	83	85	87	89	N	5	5	6	6	7	6
	Л ₂	180	183	185	187	189	L	3	2	2	2	3	
	В _в	3	1	4	1	3	k _{Г_{дон}}	0.86	0.88	0.93	0.96	0.84	
7	Л ₁	90	91	94	96	99	N	4	6	7	6	4	7
	Л ₂	190	191	194	196	199	L	3	2	2	3	2	
	В _в	4	3	2	3	4	k _{Г_{дон}}	0.88	0.93	0.95	0.84	0.86	
8	Л ₁	100	103	105	107	109	N	7	4	6	5	7	8
	Л ₂	200	203	205	207	209	L	2	2	2	3	2	
	В _в	2	1	3	2	1	k _{Г_{дон}}	0.93	0.95	0.84	0.86	0.87	
9	Л ₁	110	113	115	117	119	N	5	4	5	4	6	9
	Л ₂	210	213	215	217	219	L	3	3	2	2	3	
	В _в	3	2	1	2	3	k _{Г_{дон}}	0.94	0.84	0.86	0.88	0.95	

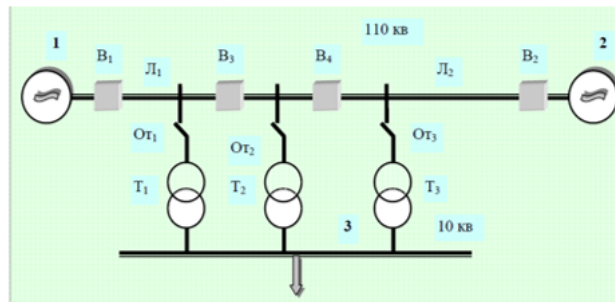


Рис. 4.1. Схема замещения трехтрансформаторной подстанции (задание)

Таблица 4.3

Статистика отказов элементов подстанции на рис. 4.1.

Ns:	El n	T_rest [l..n]	El n	T_rest [l..n]	El n	T_rest [l..n]	El n	T_rest [l..n]
01:	T2 3	61.7; 42.2; 82.3;	O3 3	5.3; 4.8; 5.3;	L2 2	14.6; 20.5;	O2 3	5.2; 3.8; 6.2;
2:	O3 1	6.3;	L1 1	10.3;	T2 3	80.4; 78.6; 59.8;	L2 2	26.8; 22.1;
3:	T2 1	89.8;	L1 3	16.1; 17.2; 19.7;	L2 3	21.7; 14.8; 21.6;	T1 3	50.7; 65.3; 54.7;
4:	T1 3	70.7; 94.4; 47.2;	B2 2	29.7; 23.3;	B3 3	18.7; 27.4; 17.7;	T2 2	99.1; 51.1;
5:	B1 1	24.8;	B2 2	32.5; 24.1;	B4 2	42.1; 26.4;	T1 1	68.8;
6:	B4 2	18.8; 36.3;	B3 1	36.5;	T1 2	65.2; 58.2;	O1 2	5.1; 3.6;
7:	L1 1	13.2;	B1 1	21.3;	O2 3	3.2; 5.3; 3.4;	B4 2	19.2; 40.8;
8:	B3 3	37.5; 24.5; 20.6;	T2 1	78.4;	B1 3	17.3; 11.2; 17.8;	B2 2	30.4; 32.3;
9:	O2 3	6.1; 4.1; 3.2;	T1 2	47.2; 43.6;	B3 1	18.6;	L1 2	10.8; 17.4;
10:	O1 1	4.5;	B4 2	40.8; 22.4;	O3 3	4.4; 6.2; 5.2;	L1 3	10.3; 17.1; 22.3;
11:	B3 2	16.7; 17.8;	B4 1	29.6;	B1 2	12.7; 11.8;	T2 3	85.2; 85.1; 59.1;
12:	B4 3	30.3; 34.1; 38.1;	O3 2	5.2; 6.1;	B1 2	24.4; 17.1;	L1 1	11.1;
13:	B1 2	14.2; 14.7;	B4 3	21.5; 34.7; 29.1;	B3 2	17.5; 17.8;	L1 2	15.2; 19.6;
14:	L1 1	16.4;	B2 3	31.5; 17.6; 23.7;	B4 2	18.6; 42.2;	B1 2	26.8; 12.6;
15:	B3 2	34.3; 38.1;	B4 2	29.3; 34.5;	T2 2	97.2; 89.7;	B2 3	29.1; 14.4; 29.6;
16:	O2 3	3.6; 5.8; 3.5;	B3 3	19.5; 35.2; 22.4;	T2 1	84.3;	O1 3	5.8; 2.4; 2.7;
17:	B1 3	27.8; 16.3; 12.7;	T2 3	59.1; 65.3; 82.4;	T1 1	61.3;	B3 3	37.4; 17.4; 27.3;
18:	O3 1	4.5;	T1 3	65.1; 94.5; 95.2;	O2 1	5.2;	B4 3	23.8; 21.8; 30.2;
19:	L2 3	21.7; 27.4; 24.5;	O1 3	4.1; 3.4; 4.7;	L1 3	22.4; 9.3; 14.1;	O3 2	3.7; 4.8;
20:	L2 3	17.2; 24.5; 28.6;	T2 3	93.5; 78.7; 46.8;	O2 1	6.1;	O3 3	6.3; 4.8; 6.2;
21:	L2 3	19.6; 24.1; 32.4;	O1 1	13.2;	L1 3	15.8; 14.6; 19.1;	O2 2	5.3; 5.8;
22:	B4 3	21.1; 41.5; 41.7;	O3 1	15.5;	B3 1	28.5;	T2 1	46.4;
23:	B3 1	16.2;	B2 2	17.8; 22.1;	O3 3	4.8; 6.6; 4.6;	B1 1	18.1;
24:	T2 1	51.5;	T1 2	58.4; 50.3;	O2 1	3.2;	O3 1	5.8;
25:	B1 3	20.2; 16.5; 18.4;	O1 3	2.7; 5.4; 2.6;	B3 3	29.1; 23.1; 28.7;	B4 3	18.5; 30.8; 34.5;
26:	B2 2	16.2; 32.2;	B3 3	18.4; 15.8; 28.1;	O2 3	4.4; 4.4; 3.4;	O1 3	3.5; 3.1; 3.3;
27:	O3 3	4.6; 4.8; 4.1;	L2 2	24.5; 32.2;	O1 2	3.8; 3.6;	T1 2	67.3; 58.4;
28:	L1 3	18.2; 13.7; 12.7;	O1 3	5.3; 5.2; 4.3;	L2 1	32.2;	O2 2	4.8; 5.3;
29:	B3 2	23.2; 29.4;	T2 3	82.3; 47.6; 80.8;	L2 3	21.3; 22.6; 29.1;	B4 1	18.6;
30:	L2 2	29.7; 32.8;	T1 3	94.3; 63.3; 67.8;	B1 2	14.8; 24.4;	B4 1	34.2;

Таблица 4.4

Отраслевая принадлежность предприятия

КОД ВАРИАНТА

ОТРАСЛЬ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

№отрасль

- | | |
|----|--|
| 1 | 1. Топливная промышленность |
| 2 | 2. Черная металлургия |
| 3 | 3. Цветная металлургия |
| 4 | 4. Химическая промышленность |
| 5 | 5. Нефтехимическая промышленность |
| 6 | 6. Машиностроение и металлообработка |
| 7 | 7. Деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность |
| 8 | 8. Промышленность строительных материалов |
| 9 | 9. Легкая промышленность |
| 10 | 10. Пищевая промышленность |

Список рекомендуемой литературы

1. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 24 с.
2. Правила устройства электроустановок. – М.: Главгосэнергонадзор РФ, 2000.
3. ГОСТ 27.310-95 ССНТ Анализ видов, последствий и критичности отказов техники. Основные положения. – М.: Издательство стандартов, 1998.
4. РД 34.20.574, Указания по применению показателей надежности элементов энергосистем и работы энергоблоков с паротурбинными установками, ОАО «Союзтехэнерго», НИУ МЭИ, Утверждено Главным техническим управлением по эксплуатации энергосистем Минэнерго СССР, 1984. <http://gostrf.com/normadata/1/4294817/4294817220.htm>
5. Технический регламент “О безопасности при нарушениях электроснабжения (проект, версия 3 от 22.05.2006). М.: 2006. 25 с.
6. Горелик А.В. Практикум по основам теории надежности [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Горелик А.В., Ермакова О.П.— Электрон. текстовые данные.— М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2013.— 133 с.— Режим доступа: [/local/iprlib/go.php?bid=26826](#) — ЭБС «IPRbooks», по паролю
7. Шлейников В.Б. Электроснабжение цеха промышленного предприятия [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Шлейников В.Б.— Электрон. текстовые данные.— Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2012.— 115 с.— Режим доступа: [/local/iprlib/go.php?bid=26826](#) — ЭБС «IPRbooks», по паролю
8. Сивков А.А. Основы электроснабжения [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Сивков А.А., Герасимов Д.Ю., Сайгаш А.С.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский политехнический университет, 2014.— 174 с.— Режим доступа: [/local/iprlib/go.php?bid=26826](#) — ЭБС «IPRbooks», по паролю.
9. Надежность и диагностика систем электроснабжения железных дорог: учебник для ВУЗов жд транспорта / А.В. Ефимов, А.Г. Галкин.- М: УМК МПС России, 2000. - 512с.
10. Китушин В.Г. Надежность энергетических систем: учебное пособие для электроэнергетических специальностей вузов.- М.: Высшая школа, 1984. – 256с.
11. Справочник по проектированию электроснабжения / под ред. Ю.Г.Барыбина. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
12. Гук Ю.Б. Анализ надежности электроэнергетических установок. - Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отд., 1988. – 224с.
13. Анисимов Д.Н. Надежность систем автоматизации. – М.: изд-во МЭИ, 2003. – 96 с.
14. Балаков Ю.Н., Шевченко А.Т., Шунтов А.В. Надежность схем выдачи мощности электростанций. – М.: изд-во МЭИ, 1993. – 128 с.
15. Биллингтон Р., Аллан Р. Оценка надежности электроэнергетических систем: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
16. Буртаев Ю.О., Острейковский В.А. Статистический анализ надежности объектов по ограниченной информации, – М.: Энергоатомиздат, 1995.– 240с.
17. Глазунов Л.П., Грабовицкий В.П., Щербаков О.В. Основы теории надежности автоматических систем управления: – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 208 с.
18. Гук Ю.Б., Кантан В.В., Петрова С.С. Проектирование электрической части станций и подстанций: – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 312 с.
19. Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.
20. ГОСТ 27001 – 95. Система стандартов. Вып. 95. – «Надежность в технике». Основные положения. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Минск, 1996.
21. Диллон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем.– М. Мир, 1984. –318 с.
22. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных систем. – М.: Энергия, 1977. – 536
23. Калявин В.П., Рыбаков Л.М. Надежность и диагностика электроустановок.– Йошкар-Ола: изд-во Мар. гос. ун-та. – 2000. – 348 с.
24. Китушин В.Г. Надежность энергетических систем. — М.: Выш. шк., 1984.–256 с.
25. Китушин В.Г., Тарасов Е.Д., Кучеров Ю.Н. Надежность энергетических систем. – Новосибирск, 1985. – 67 с.
26. Китушин В.Г. Надежность энергетических систем. – Новосибирск: Изд-во НГТУ – 2003. – 256 с.
27. Михайлов В.В. Надежность электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергоиздат, 1982. – 150 с.
28. Надежность систем энергетики и их оборудования: Справочник / Под ред. Ю.Н. Руденко. Том. 1. Общие модели анализа и синтеза надежности систем энергетики. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 480 с.
29. Надежность систем энергетики и их оборудования: Справочник в 4-х т. / под ред. М.Н. Розанова. Т 2. Надежность электроэнергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 568 с.
30. Надежность систем энергетики. Терминология. – М.: Наука, 1980.
31. Розанов М.Н. Управление надежностью электроэнергетических систем. – Новосибирск: Наука, 1991. – 208 с.
32. Руденко Ю. Н., Ушаков И. А. Надежность систем энергетики. – М.: Наука, 1989. – 328 с.
33. Фокин Ю.А., Туфанов В.А. Оценка надежности систем электроснабжения.– М.: Энергоиздат, 1981. – 224 с.
34. Е.А. Конохова, Э.А. Киреева Надежность электроснабжения промышленных предприятий. Москва, НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик», 2001
35. Жалилов Р. Б. Об особенностях применения комплексного метода для оценки надёжности электроснабжения потребителей // Промышленная энергетика. 2007. № 11. С. 11–17
36. Концепция надежности в электроэнергетике. М.: РАО “ЕЭС России”, 2004. 48 с.

Приложения

[Приложение 1. Образец оформления титульного листа](#)

[Приложение 2. Образец оформления оглавления](#)

Приложение 3. Требования к оформлению источников литературы

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ИСТОЧНИКОВ ЛИТЕРАТУРЫ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Законодательные и нормативные акты располагаются в следующей последовательности:

- Конституция РФ;
- Федеральные законы;
- правовые акты Президента РФ;
- правовые акты Правительства РФ;
- правовые акты федеральных органов исполнительной власти и иных федеральных органов государственной власти;
- правовые акты государственных органов субъектов РФ и органов местного самоуправления;
- решения Конституционного суда РФ, Верховного Суда РФ и Высшего арбитражного суда РФ и иных судов;
- международные договоры.

В данной части должно быть указано полное название акта, номер, а также официальный источник.

Правовые акты

1. Указ президента РФ № 2116 от 06 декабря 1993 г. « О мерах по обеспечению надежного газоснабжения потребителей РАО «Газпром» в 1994-1996 годах» // (далее указать источник. Например: «Собрание законодательства РФ», год издания, № сборника и ст.)
2. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 24 с.

Источники на русском языке

1. Горелик А.В. Практикум по основам теории надежности [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Горелик А.В., Ермакова О.П.— Электрон. текстовые данные.— М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2013.— 133 с.

Источники на иностранных языках

1. Conger S. Hands-on Database: An Introduction to Database Design and Development. - Pearson Education, Prentice Hall, 2012, 214 p.

Электронные ресурсы

17. Динамические структуры данных: списки. // Comp-science. [Электронный ресурс]. URL: <http://comp-science.narod.ru/Progr/Dynamic.htm> (дата обращения: 19.09.2013).

19. Пахомова А.В. «Программирование на языке Turbo Pascal» Методическое пособие 2006 [Электронный ресурс] - URL: http://tp7.info/metod_uk2.php (дата обращения: 19.09.2013)

[Приложение 4. Индивидуальное задание к курсовой работе](#)

Приложение 5. Показателей надежности элементов энергосистем

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГОСИСТЕМ***

Показатели надежности генерирующего оборудования

Таблица П 5.1

Относительные длительности простоя агрегатов (блоков) в отказовом (аварийном) состоянии (q)

Тип станций	$q, \%$
ТЭС с поперечными связями	2,0
КЭС с блоками 150...200 МВт	4,0...6,0*
КЭС и ТЭС с блоками 250...300 МВт	5,0...9,0*
КЭС с блоками 500 МВт	15,0
КЭС с блоками 850 МВт	12,0
ГЭС	0,5...3,0**

* Большая из указанных величин относится к первым серийным агрегатам данного типа, меньшая – к агрегатам, выпущенным через 5 лет и более после начала выпуска серии.

** Большая из величин относится к крупным агрегатам.

Таблица П 5.2

Средняя частота и длительность нахождения агрегатов в капитальных ремонтах

Тип агрегатов	Частота $\omega_r^{\text{кап}}$, 1/год	Длительность $t_r^{\text{кап}}$, дни
ТЭС	0,05	30

Агрегаты 1 ЭС с поперечными связями	0,25	60
Энергоблоки мощностью, МВт		
50...200	0,25	72
300	0,25	96
500...800	0,25	120
1200	0,25	144
Энергоблоки атомных станций	0,25	180
Гидроагрегаты	0,25	60

*** Таблицы показателей надежности элементов энергосистем составлены на основании данных ОАО «Союзтехэнерго» [4].

Таблица П 5.3

Единичные показатели надежности работы энергоблоков с паротурбинными установками

Оборудование	Номинальная мощность, МВт	Средняя частота отказов ω , 1/год	Среднее время восстановления \bar{t}	Средняя частота плановых остановов	Среднее время планового простоя
				$\omega_{пл}$, 1/год	\bar{t} , ч
Энергоблок	150...165	7,2	49	17	120
В том числе:					
котлоагрегат		5,2	44		
турбина		1,3	43		
турбогенератор		0,7	91		
Энергоблок	180...210	10,5	45	9,3	155
В том числе:					
котлоагрегат		7,6	47		
турбина		1,8	45		
турбогенератор		1,1	58		
Энергоблок	250...300			8,0	150
В том числе:		9,8	45		
котлоагрегат		6,6	38		
турбина		2,5	68		
турбогенератор		0,7	83		
Энергоблок	500*	29,5	70	3,6	345
В том числе:					
котлоагрегат		12,7	56		
турбина		8,1	85		
турбогенератор		8,7	136		
Энергоблок	800	15,6	74	5,1	277
В том числе:					
котлоагрегат		11,2	50		
турбина		3,3	99		
турбогенератор		1,1	179		

* Для турбогенераторов ТГВ-500 и ТВН-500.

Показатели надежности оборудования электрических сетей

Таблица П 5.4

Показатели надежности линий электропередачи

Тип ли-нии	Номинальное напряжение $U_{ном}$, кВ	Материал опор	Число цепей	Средняя частота устойчивых отказов ω ,	Среднее время восстановления	Средняя частота плановых остановов***	Среднее время планового простоя
				1/100 км×год	\bar{T}_B , ч	* $\omega_{пл}$, 1/год	\bar{T} , ч
1	2	3	4	5	6	7	8
Воздушные	До 1 6...10	Металлические	Одноцепные	25	2,0	0,17	5
				7,6	5,0	0,17	6
			Двух-цепные	0,9	9,0	2,1	16,0
			Откл.	1,1	6,0	1,0	13,0
			1 цепь	0,3	8,0	0,3	9,0
			Откл.	0,3	8,0	0,3	9,0
			2 цепи	0,3	8,0	0,3	9,0
	35	Железобетонные	Одноцепные	0,7	10,0	1,2	15,0
				Двухцепные	0,8	10,0	1,3
			Откл.	0,8	10,0	1,3	14,0

			1 цепь				
			Откл.	0,1	12,0	0,2	13,0
			2 цепи				
	Деревянные	Одноцепные		1,5	13,0	2,5	16,0
	Металлические	Одноцепные		1,3	9,0	2,1	15,0
		Двухцепные	Откл.	1,7	7,0	3,8	15,0
			1 цепь				
			Откл.	0,2	10,0	0,4	19,0
			2 цепи				
110	Железобетонные	Одноцепные		0,7	11,0	1,6	16,0
		Двух-	Откл.	1,0	9,0	2,4	12,0
		цепные					
			1 цепь				
			Откл.	0,2	15,0	0,4	13,0
			2 цепи				
	Деревянные	Одноцепные		1,5	10,0	3,6	14,0
	Металлические	Одноцепные		0,5	11,0	2,8	17,0
		Двухцепные	Откл.				
220				0,6	11,0	3,3	14,0
			1 цепь				
			Откл.	0,1	15,0	0,5	24,0
			2 цепи				

Продолжение таблицы П 5.4

1	2	3	4	5	6	7	8	
Воздушные			Одноцепные	0,4	9,0	1,8	24,0	
		Железобетонные	Двухцепные	Откл.				
				0,5	9,0	1,1	17,0	
	220			1 цепь				
				Откл.	0,1	8,0	0,3	10,0
				2 цепи				
		Деревянные	Одноцепные		0,6	11,0	5,4	18,0
		Металлические	Одноцепные		0,6	11,0	3,0	21,0
			Двухцепные	Откл.				
					0,9	10,0	7,3	15,0
330			1 цепь					
			Откл.	0,1	2,0	0,3	11,0	
			2 цепи					
		Железобетонные	Одноцепные		0,3	15,0	2,9	20,0
500		Металлические	Одноцепные		0,2	14,0	3,1	18,0
		Железобетонные	Одноцепные		0,2	13,0	3,5	23,0
750		Одноцепные		0,2	20,0	0,17	25,0*	
1150*		Одноцепные		0,2	25,0	0,17	25,0	
Кабельные	6...15			7,5	16,0**	1,0	2,0	
	20...35			3,2	16,0**	1,0	2,0	
	До 1			10,0	2**	1,0	2,0*	

* Экспертная оценка.

** Указана продолжительность ремонта.

*** Указана средняя частота плановых остановов на одну линию

Показатели ω и T_0 воздушных линий электропередачи приведены для устойчивых отказов.Для определения параметра потока отказов воздушных линий электропередачи 35 - 750 кВ с учетом неустойчивых отказов (ω_{Σ}) значения, приведенные в табл. П 5.4., следует делить на коэффициенты, приведенные в табл. П 5.5.

Таблица П 5.5

Коэффициент учета неустойчивых отказов ВЛ 35 - 750 кВ

$U_{ном}$, кВ	ω/ω_{Σ}
35	0,34
110 - 154	0,24
220 - 330	0,25
500 - 750	0,36

Таблица П 5.6

Показатели надежности трансформаторов

Номинальная мощность, МВА	Номинальное напряжение, кВ	Средняя частота отказов ω , 1/год	Среднее время восстановления \bar{t} , ч	частота текущих ремонтов $\omega_{\text{тек}}$, 1/год	Средняя продолжительность		
					текущего ремонта, ч	частота капитальных ремонтов $\omega_{\text{р кап}}$, 1/год	капитального ремонта, ч
До 2,5	6...20	0,016	50	0,25	6	0,166	150
	35	0,010	40	0,25	6	0,166	200
2,5...7,5	6...20	0,008	120	0,25	8	0,166	150
	35	0,007	65	0,25	26	0,166	200
	110	0,018	40	0,25	28	0,166	250
10...80	35 и ниже	0,012	70	0,75	26	0,166	200
	110...150	0,014	70	0,75	28	0,166	280
	220	0,035	60	0,75	28	0,166	300
Более 80	110...150	0,075	95	1,0	30	0,166	300
	220	0,025	60	1,0	30	0,166	330
	330	0,053	45	1,0	30	0,166	380
	500...750	0,024*	220	1,0	50	0,166	400
	1150***	0,050** 0,030	250	1,0	70	0,166	400

* Для однофазных трансформаторов.

** Для трехфазных трансформаторов.

*** Экспертная оценка.

Таблица П 5.7

Показатели надежности выключателей

Вид выключателей	Номинальное напряжение, кВ	Тип	Средняя частота отказов ω , 1/год	Среднее время восстановления \bar{t} , ч	Вероятность отказа на коммутационную операцию $\alpha_{\text{ОП}}$	Вероятность отказа при отключении короткого замыкания $\alpha_{\text{КЗ}}$	частота капитальных ремонтов $\omega_{\text{р кап}}$, 1/год	средняя продолжительность капитального ремонта, ч	Средняя частота текущих ремонтов	
									$\omega_{\text{тек}}$, 1/год	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Автоматические	До 1		0,02/0,03	4			0,33	10	0,67	
Электромагнитные	6...10	ВЭМ-6, ВЭМ-10 ВЭ-10	0,01/0,01	11	0,002	0,027	0,2	24	0,8	
		10	0,003/0,007	20	0,003	0,005	0,14	8	0,86	
Мало-масляные	20	Прочие	0,003/0,007	20	0,003	0,005	0,14	10	0,86	
			0,002/0,008	26	0,003	0,005	0,14	10	0,86	
Масляные баковые	35	Прочие	0,014/0,016	25	0,005	0,005	0,14	9	0,86	
			110...150	0,02/0,04	20	0,006	0,013	0,14	30	0,86
			35	0,002/0,007	30	0,006	0,006	0,14	12	0,86
Воздушные	110	Прочие	0,005/0,011	40	0,004	0,006	0,14	23	0,86	
			0,015/0,040	50	0,011	0,009	0,14	43	0,86	
			0,015/0,025	20	0,020	0,015**	0,2	40	0,8	
			0,004/0,016	40	0,013	0,012	0,2	29	0,8	
Воздушные	110	Прочие	0,003/0,017	20	0,004	0,004	0,2	45	0,8	
			0,004/0,016	55	0,004	0,006	0,2	122	0,8	
			0,004/0,016	25	0,004	0,003	0,2	96	0,8	

Продолжение таблицы П 5.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		ВВБ	0,005/ 0,026	48	0,002	0,006	0,2	160	0,8	16
	330*	Прочие	0,005/ 0,026	60	0,002	0,002	0,2	113	0,8	16
Воздушные		ВВБ	0,025/ 0,125	60	0,007	0,003	0,2	130	0,8	20
	500*	Прочие	0,025/ 0,125	60	0,007	0,002	0,2	133	0,8	20
	750		0,050/ 0,200	75	0,009	0,003	0,2	270	0,8	30
	1150*		0,060/ 0,240	90	0,010	0,004	0,2	350	0,8	40

* Показатели приведены без учета отказов выключателей ВВБ.

** Экспертная оценка.

Примечание: - отношение количества отказов выключателей при выполнении коммутационных операций, в том числе отключений КЗ, к общему количеству операций (в расчете на один аппарат).

- отношение количества отказов выключателей при отключении КЗ к количеству отключенных КЗ.

числитель – короткое замыкание; знаменатель – разрыв цепи

Таблица П 5.8

Показатели надежности остальной коммутационной аппаратуры

Аппарат	Номинальное напряжение, кВ	Средняя	Среднее	частота капитальных ремонтов $\omega_p^{кап}$, 1/год	Средняя продолжительность капитального ремонта, ч	Средняя	частота текущих ремонтов $\omega_p^{тек}$, 1/год	Средняя продолжительность текущего ремонта, ч
		частота отказов ω , 1/год	время восстановления, \vec{t} , ч			частота текущих ремонтов $\omega_p^{тек}$, 1/год		
Разъединитель	6-10	0,01	7	0,166	4	0,834	3	
	35	0,01	6	0,166	6	0,834	4	
	110	0,01	11	0,166	8	0,834	5	
	154	0,01	15	0,166	11	0,834	5	
	220	0,01	7	0,166	13	0,834	6	
	330	0,01	10	0,166	18	0,834	7	
	500	0,01	14	0,166	31	0,834	8	
	750	0,01	14	0,166	81	0,834	16	
	1150*	0,01	20	0,166	100	0,834	16	
Отделитель	35	0,015	3	0,33	7	0,667	4	
	110	0,01	3,5	0,33	10	0,667	5	
	220	0,01	3,5	0,33	16	0,667	6	
Короткозамыкатель	35	0,01	4	0,33	8	0,667	4	
	110	0,01	6	0,33	6	0,667	5	
	220	0,01	6	0,33	8	0,667	6	

* Экспертная оценка.

Таблица П 5.9

Показатели надежности сборных шин распределительных устройств

Номинальное напряжение, кВ	Средняя частота отказов* ω , 1/год	Среднее время восстановления, \vec{t} , ч	частота капитальных ремонтов* $\omega_p^{кап}$, 1/год	Средняя продолжительность капитального ремонта, ч	Средняя частота текущих ремонтов* $\omega_p^{тек}$, 1/год	Средняя продолжительность текущего ремонта*, ч

					1/год	
6...10	0,030	5	0,166	5	0,834	2
10	0,030	7	0,166	5	0,834	2
20...35	0,020	7	0,166	4	0,834	2
110...150	0,016	5	0,166	4	0,834	3
220	0,013	5	0,166	3	0,834	3
330	0,013	5	0,166	3	0,834	3
500	0,013	5	0,166	5	0,834	3
750	0,010	6	0,166	5	0,837	4
1150*	0,010	7	0,166	7	0,837	4

* На присоединение.

** Экспертная оценка.

ПОКАЗАТЕЛИ УПРАВЛЯЕМОСТИ

Средняя длительность отключения поврежденного элемента от сети на подстанциях с постоянным дежурным персоналом составляет:

- в схемах с обходной системой шин 0,5 ч
- в полупотных и многоугольных мостиковых схемах 0,25 ч

Длительность шунтирования выключателя (отделителя) в РУ 35...220 кВ составляет 0,4 ч, поврежденного короткозамыкателя – 0,25 ч.

Указанные длительности оперативных коммутаций следует увеличить на 0,4 ч при эксплуатации с дежурством на дому и на 2 ч при обслуживании оперативно-выездными бригадами.

Таблица П 5.10

Показатели надежности устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики

Тип устройства	Средняя частота ложных отказов	Вероятность излишних срабатываний на требования вне зоны $\rho_{изл}$	Частота излишних * срабатываний	Вероятность отказа на требование ρ , отказ/ требование
	$\omega_{лож}$, 1/год	$\rho_{изл}$	$\omega_{изл}$, 1/год	
Дифференциально-фазная высокочастотная защита типа ДФЗ-2	1,0	0,2	1,9	0,24
Фильтровая высокочастотная направленная защита типов ПЗ-162, ПЗ-164, ПЗ-164А	4,0	0,2	1,8	0,78
Дистанционные защиты типов ПЗ-156, ПЗ-157, ПЗ-158,	0,68	0,3	2,7	0,59
с высокочастотной блокировкой ПЗ-156, ПЗ-157, ПЗ-158, без высокочастотной блокировки	0,77	0,1	0,73	0,57
ПЗ-151, ПЗ-152 и ПЗ-153	0,7	0,02	0,18	0,8
Дифференциальная защита шин 110 кВ и выше	0,42	0,1	1,1	2,9
Газовая защита трансформаторов с действием на отключение	0,45	-	0,1	0,3
Продольная дифференциальная защита генераторов	0,05	0,1	0,07	0
Автоматы:				
повторного включения линий 110...330 кВ, подстанций, частотной разгрузки.	-	-	-	0,72
Автоматическое устройство разгрузки при отключении участков электропередачи	0,7	-	12,0	
	0,17		0,25	0,16
	-	-	-	0,03

* Ориентировочная оценка.

Приложение 6. Характеристики удельных ущербов от перерывов электроснабжения предприятия

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Таблица П 6.1

Характеристики удельных ущербов предприятий

Наименование отрасли и предприятия	Средняя величина удельного ущерба U_0 , у.е./кВт×ч	Удельная величина ущерба внезапно при полном отключении $U_{вн}$, у.е./кВт при продолжительности отключения, ч			Показатель степени α	Доля нагрузки технологической брони σ , %	Удельный ущерб при невосполняемом дефиците энергии U_3 , у.е./кВт×ч	Удельный ущерб при последующей компенсации недоданной энергии U_N , у.е./кВт×ч
		0,5	1,0	3,0				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Топливная промышленность								
Добыча нефти	0,4	3,5	3,5	3,5	8	12	0,6	0,1
Нефтепереработка	0,6	1,5	1,5	1,5	1	90	1,0	0,15
Шахты	0,2	0,2	0,3	0,8	4	20	0,35	0,1
Гидрошахты	0,15	0,2	0,3	0,8	4	20	0,35	0,05
Разрезы Кузбасса	0,3						0,4	0,25
Разрезы Хакасии	0,25	0,15	0,15	0,15	1	5	0,35	0,2
Разрезы Восточной Сибири	0,15						0,35	0,1
Добыча торфа	0,25	0	0	0	0	0	0,35	0,15
2. Черная металлургия								
Горно-обогатительные комбинаты	0,15	0,35	0,45	0,7	3	35	0,35	0,05
Металлургический завод полного цикла	0,4	2,9	4,0	8,0	2	33	0,6	0,2
Трубопрокатный завод	0,3	0,5	0,5	0,5	4	33	0,45	0,1
Завод ферросплавов	0,1	0,07	0,1	0,35	4	5	0,35	0,02
Металлургические производства высококачественных сталей	0,25	0,5	0,1	0,1	5	20	0,35	0,1
3. Цветная металлургия								
Глиноземный завод (на базе нефелина)	0,15	10	11	12	2	10	0,35	0,1
Алюминиевый завод	0,1	0	0,05	0,35	16	5	0,35	0,02
Медеплавильный завод	0,4	0,30	0,50	1,6	20	5	0,55	0,25
4. Химическая промышленность								
Серный карьер и рудники	1,5	0,15	0,15	0,15	1	5	2,0	0,9
Фосфорный карьер и обогатительная фабрика	0,25	0,15	0,15	0,15	1	5	0,4	0,15
Суперфосфатный завод	0,15	0,21	0,3	0,8	3	50	0,35	0,1
Содовый завод	0,6	25,0	30,0	42,0	5	35	0,9	0,35
Завод азотно-туковых удобрений	0,1	2,1	3,0	5,0	15	10	0,35	0,01
Завод вискозного шелка	0,7						1,005	0,4
Завод вискозного штапельного волокна	0,4						0,6	0,1

Продолжение таблицы П 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Завод вискозного корда	0,4	9,7	9,7	9,7	3	10	0,6	0,2
Завод ацетатного шелка	0,9	9,7	9,7	9,7	3	10	1,5	0,15
Завод капронового волокна	0,6						1,0	0,2
Завод волокна «лавсан»	0,6						1,0	0,15
Завод волокна «натрон»	0,5						1,0	0,1
Лакокрасочный								
завод	0,3	6,3	6,3	6,3	22	10	0,5	0,05
Химфармзавод	0,3	100,0	100,0	100,0	2	60	0,5	0,1
Электрохим. комбинат	0,2	0,3	0,5	0,5	2	50	0,45	0,1
Производство смол и пластмасс	0,8	0,3	2,0	2,0	2	30	1,2	0,2
Карбидный завод	0,1	0,1	0,15	0,26	2	30	0,6	0,1
5. Нефтехимическая промышленность								
Нефтехимический комбинат по производству продуктов основного органического синтеза	1,0	4,8	12,5	27,5	2	60	2,0	0,35
Шинный завод	0,6	6,5	6,5	6,5	3	50	1,2	0,15
Завод асбестовых технических изделий	0,2	0,15	0,2	0,2	3	50	0,35	0,1
Завод резинотехнических изделий	0,6	2,0	2,0	2,0	3	50	1,2	0,1
6. Машиностроение и металлообработка								
Завод металлорежущего оборудования при наличии заготовительных цехов	0,2	0,6	1,7	2,2	7	27	0,35	0,1

Продолжение таблицы П 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
То же без заготовительных цехов	0,4	0,6	1,7	2,2	7	27	0,8	0,2
Завод турбостроения	0,25	2,5	5,3	15,0	6	30	0,4	0,1
Завод подъемно-транспортного оборудования	0,6	2,5	5,3	15,0	6	30	1,0	0,2
Завод котлостроения	0,4	2,5	5,3	15,0	6	30	0,7	0,15
Завод химического оборудования								

	0,80	0,7	1,5	1,5	3	35	1,4	0,25
Завод по производству оборудования для цементной промышленности	0,40	0,7	1,5	1,5	3	35	0,7	0,15
Завод автогрейдеров	0,50						0,8	0,15
Завод экскаваторов	1,20						2,0	0,4
Комбайновый завод	0,80	1,7	1,7	1,7	1	35	1,5	0,15
Завод сельскохозяйственного машиностроения	0,60						0,9	0,2
Тракторный завод	3,00						6,0	0,45
Завод дизельных тракторов	0,35	1,7	1,7	1,7	1	35	0,65	0,10
Завод тракторных двигателей	0,90						1,7	0,15
Завод топливных насосов	0,40	1,0	1,0	1,0	5	5	0,7	0,2

Продолжение таблицы П 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Завод кузнечно-прессового оборудования	0,8	1,7	1,7	1,7	1	35	1,3	0,35
Электрокабельный завод	0,2	1,5	1,5	1,5	4	35	0,5	0,1
Станкоинструментальный завод	0,7	0,7	0,7	0,7	2	35	1,3	0,2
Завод текстильного машиностроения	0,5	0,7	1,5	1,5	3	35	0,9	0,2
Завод продовольственного машиностроения	0,7	0,7	0,7	0,7	2	35	1,1	0,25
Завод крупного электромашиностроения	0,2	2,2	2,6	4,4	6	30	0,35	0,05
То же среднего	0,3	1,0	1,0	1,0	7	30	0,5	0,1
То же малого	0,4	0,8	1,6	3,8	7	30	0,7	0,1
Приборостроительный завод	1,2	1,5	2,0	3,0	7	30	2,2	0,3
Завод роликоподшипников	0,2	8,8	0,8	0,8	3	35	0,35	0,05
Завод шарикоподшипников	0,3	8,8	0,8	0,8	3	35	0,5	0,1
Инструментальные заводы	0,45	0,4	0,5	1,4	2	35	0,75	0,15
Завод крановых и тяговых двигателей	0,9	0,6	1,0	2,2	3	0,4	1,4	0,15
Завод малолитражных автомобилей	0,2	0,8	1,5	3,0	5	30	0,6	0,1

Автобусный завод	0,2	1,0	2,0	3,0	3	35	0,6	0,1
------------------	-----	-----	-----	-----	---	----	-----	-----

Продолжение таблицы П 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Карбюраторный завод	0,3	0,4	0,4	0,4	2	35	0,75	0,15
Часовой завод	0,5	2,0	2,0	2,0	7	30	0,8	0,3
Судостроительный завод	0,4					5	0,6	0,2
Электромеханический завод	0,2	0,5	0,5	0,5	3	30	0,6	0,15
Завод металлоконструкций	0,4	0,25	0,25	0,25	3	30	0,7	0,15

7. Деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность

Деревообрабатывающие предприятия	0,8	0,15	0,15	0,15	1	5	1,5	0,3
Целлюлозно-бумажный комбинат	0,1	0,3	0,4	3,2	3	40	0,35	0,05
Сульфат-целлюлозно-картонный комбинат	0,1	0,3	0,4	3,2	3	40	0,35	0,05

8. Промышленность строительных материалов

Цементный завод (мокрый способ производства)	0,15	0,2	1,0	1,0	2	46	0,35	0,04
То же, сухой способ	0,4	0,2	1,0	1,0	2	46	0,4	0,1
Дробильно-сортировочное обогатительное предприятие	0,5	0,1	0,1	0,1	1	5	0,8	0,3
Гравийно-сортировочное обогатительное предприятие	0,5						0,8	0,25
Завод по обогащению песка	0,2						0,3	0,15

Продолжение таблицы П 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Шиферный завод	0,4	2,0	2,5	2,5	1	10	0,8	0,15
Завод мягких кровельных материалов	0,4	10,0	10,0	10,0	3	40	0,7	0,1
Завод крупнопанельного домостроения	0,7	0,6	0,6	0,6	20	5	1,1	0,4
Завод сборного железобетона	0,7						1,1	0,4
Завод крупных бетонных блоков на легких бетонах	0,4	0,6	0,7	0,8	20	5	0,6	0,2
Завод силикатных крупноразмерных деталей из гладкой и ячеистой массы	0,4						0,6	0,35
Завод силикатных изделий из плотных ячеистых масс	0,4	0,2	0,25	0,4	3	5	0,5	0,2
Бетонный завод	1,6						3,0	0,1
Керамико-плиточный завод	0,4						0,8	0,15
9. Легкая промышленность								
Хлопкозавод	3,0	-	-	-	-	5	7,3	0,3
Хлопчатобумажный комбинат	0,5	6,0	6,0	6,0	5	30	0,7	0,35
Камвольно-суконный комбинат	1,5						2,8	0,2
Комбинат шелковых тканей из	0,25	4,0	4,1	4,3	7	30	0,4	0,1

штапельно-го
волокна

Окончание таблицы П 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ситценабивная фабрика	0,9	8,0	10,0	20,0	7	30	1,2	0,7
Чулочно-носочная фабрика	2,0	0,1	0,1	0,1	1	5	4,8	0,65
Фабрика бельевого трикотажа	2,2						4,0	0,6
Фабрика верхнего трикотажа	5,0	0,1	0,1	0,1	1	5	10,0	0,65
Швейная фабрика	4,0						7,6	0,6
Кожевенный комбинат	0,7	0,4	0,4	0,4	5	5	1,2	0,1
Обувная фабрика	1,5	1,6	2,1	2,1	7	5	2,8	0,35
10. Пищевая промышленность								
Мелькомбинат	1,2	0,8	0,8	0,8	4	5	2,5	0,15
Хлебозавод	0,8	15,8	22,0	29,0	2	30	2,0	0,3
Завод овощных и фруктовых консервов	1,8	0,2	10,0	18,5	5	30	3,2	0,5
Прочие предприятия пищевой промышленности	1,0	2,5	6,0	9,0	5	30	3,0	0,7
Прочие отрасли промышленности	0,8	-	-	-	-	10	1,5	0,2
Строительство, транспорт	1,0					10	1,5	0,8
Электрифицированная железная дорога **	0,4	-	-	-	-	-	0,6	0,2
Газопроводы **	0,3						0,5	0,15
Коммунально-бытовой сектор	1,5						2,2	0,8
Сельское хозяйство	1,5						2,2	0,8

* Оценка ущерба приведена в условных единицах, равных приблизительно доллару США.

** Без учета простоя или снижения производительности на смежных участках.