•Глава 1. Основы обеспечение 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

**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.**

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;

ремонтопригодность;

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.

Ремонтопригодность – 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, обусловливающие надежность.

Одним из основных показателей надежности является функция надежности:

[ P\left(t\right)=P\left(T>t\right), ](https://lms.mti.edu.ru/filter/tex/displaytex.php?texexp=%20P\left(t\right)%3DP\left(T%3et\right),%20)

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\left(t\right)=P\left(T<t\right)=1-P\left(t\right) ](https://lms.mti.edu.ru/filter/tex/displaytex.php?texexp=%20Q\left(t\right)%3DP\left(T%3ct\right)%3D1-P\left(t\right)%20)

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\left(t\right)={e}^{-\mathit{\lambda t}} ](https://lms.mti.edu.ru/filter/tex/displaytex.php?texexp=%20P\left(t\right)%3D%7be%7d%5e%7b-\mathit%7b\lambda%20t%7d%7d%20)

где λ - интенсивность отказов (ИО) одного элемента (или параметр потока отказов элемента ω, приложение 5). В терминах теории вероятностей λ(t) есть условная плотность вероятности возникновения отказа в момент времени t невосстанавливаемого 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 λ(t)=λ=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}\left(t\right)=\prod _{i=1}^{n}{P}_{i}\left(t\right)={e}^{-\sum _{i=1}^{n}{\lambda }_{i}t} ](https://lms.mti.edu.ru/filter/tex/displaytex.php?texexp=%20%7bP%7d_%7bn%7d\left(t\right)%3D\prod%20_%7bi%3D1%7d%5e%7bn%7d%7bP%7d_%7bi%7d\left(t\right)%3D%7be%7d%5e%7b-\sum%20_%7bi%3D1%7d%5e%7bn%7d%7b\lambda%20%7d_%7bi%7dt%7d%20)(2.1)

где [ {\lambda }_{n}=\sum _{i=1}^{n}{\lambda }_{i} ](https://lms.mti.edu.ru/filter/tex/displaytex.php?texexp=%20%7b\lambda%20%7d_%7bn%7d%3D\sum%20_%7bi%3D1%7d%5e%7bn%7d%7b\lambda%20%7d_%7bi%7d%20)- 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}\left(t\right)=\prod _{i=1}^{n}\left(1-{e}^{-{\lambda }_{i}t}\right) ](https://lms.mti.edu.ru/filter/tex/displaytex.php?texexp=%20%7bQ%7d_%7bn%7d%3D\prod%20_%7bi%3D1%7d%5e%7bn%7d%7bQ%7d_%7bi%7d\left(t\right)%3D\prod%20_%7bi%3D1%7d%5e%7bn%7d\left(1-%7be%7d%5e%7b-%7b\lambda%20%7d_%7bi%7dt%7d\right)%20)(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 статистки 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 xt на момент времени t определяется по формуле:

хt = (1 - g) · хt-1 + g · yt , (2.3)

где хt-1 – предыдущее (априорное) значение некоторого параметра х к моменту t;

yt - 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) λ - [отключений / год]; время наработки или восстановления - [10-3лет].

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

kг = t0 /( t0+ tв ) , (2.4)

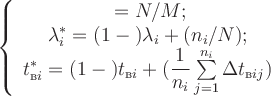
где t0 = 1/ λ, - наработка до отказа (при экспоненциальном законе распределения);

tв - время восстановления.

После простых преобразований получим

kг =1 / (1 + λ tв ). (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:

[](https://lms.mti.edu.ru/filter/tex/displaytex.php?texexp=\left\%7b%20%7b\begin%7barray%7d%7b*%7b20%7d%7bc%7d%7d%20%7b%7b\textsl%7bg%7d%7d%20%3D%20N/M;%7d\\%20%7b\lambda%20_i%5e*%20%3D%20(1%20-%20%7b\textsl%7bg%7d%7d)%7b\lambda%20_i%7d%20%2B%20%7b\textsl%7bg%7d%7d(n_i/N);%7d\\%20%7bt_%7b\text%7b%D0%B2%7di%7d%5e*%20%3D%20(1%20-%20%7b\textsl%7bg%7d%7d)%7bt_%7b\text%7b%D0%B2%7di%7d%7d%20%2B%20%7b\textsl%7bg%7d%7d(\dfrac%7b1%7d%7bn_i%7d\sum\limits_%7bj%20%3D%201%7d%5e%7bn_i%7d%20%7b\Delta%20%7bt_%7b\text%7b%D0%B2%7dij%7d%7d%7d%20)%7d%20\end%7barray%7d%7d%20\right.)(2.6)

где N - период эксплуатации элемента схемы замещения; M= N+15 – полное “время старения ” априорных данных; i – номер элемента, ni – число отказов i-го элемента за период эксплуатации; j- текущий индекс отказа i-го элемента; Δtвij - 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 применим к системе, время безотказной работы которой распределено по любому закону, однако на практике он используется для систем с простейшим потоком отказов (экспоненциальным законом распределения).

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 х истинно, то записывают х =1, если х ложно, то х = 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 https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/2.doc_html_94601539.gif = 0; если x = 0 то https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/2.doc_html_94601539.gif = 1 (читается “не x”).

Дизъюнкция: логическое сложение (операция “или”)

x∨ y ↔ x + y = 0 - только тогда, когда оба слагаемых равны нулю.

Конъюнкция: логическое умножение (операция “и”)

x ∧ y ↔ x· y = 1 - только тогда, когда оба сомножителя равны единице.

Правила преобразования логических выражений:

x·1 = x; x+1 = 1; x·0 = 0; x+0 = x ; x· x = x; x+ x= x; x·https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/2.doc_html_94601539.gif = 0; x+ https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/2.doc_html_94601539.gif = 1.

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

Закон инверсий: ( https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/2.doc_html_4c980b0c.gif) = https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/2.doc_html_94601539.gif · https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/2.doc_html_21e8626c.gif; ( https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/2.doc_html_9ba37f2.gif) = https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/2.doc_html_94601539.gif + https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/2.doc_html_21e8626c.gif;

Операция поглощения: x · y + x = x; x (x + y) = x;

Операция слияния – «склеивания»:(x · y)+(x · https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/2.doc_html_21e8626c.gif) = x; (x · y)+(https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/2.doc_html_59215aa.gif · y)=y.

Обозначим работоспособное состояние i-го элемента xi =1, а неработоспособное xi = 0. Состояние некоторой системы обозначим через Zpath(xi, xj, …,xn) , где индекс path означает определенный путь на схеме соединения элементов системы. Функция Zpath(\*) называется логической функцией работоспособности (ЛФР) системы. Очевидно, что функция Zpath(\*) будет принимать значение 1 или 0 (работоспособное или неработоспособное состояния) в зависимости от соединения элементов и сочетания значений переменных xi. Так, при последовательном соединении

Zпос = (x1· x2··· xn); (2.7)

при параллельном соединении

Zпар = (x1+ x2+··· + xn). (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

kГ(t) = P(Z = 1), (2.9)

при этом для каждого i-го элемента справедливо аналогичное выражение

kГi (t) = P(xi = 1) . (2.10)

При последовательном соединении n элементов

P(Z = 1) = P(x1=1)· P(x2=1)·… ·P(xn=1) =https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/2.doc_html_dff8a445.gif . (2.11)

Тогда для восстанавливаемой системы, состоящей из n последовательных элементов

https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/2.doc_html_de582d8.gif(2.12)

При параллельном соединении составим логическую функцию  
неработоспособности

https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/2.doc_html_6e0d9fd0.gif(2.13)

где https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/2.doc_html_c011c410.gif

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

Зная зависимость kГ(t) и заданное значение минимально допустимого уровня надежности: минимально-допустимого коэффициента готовности kГдоп , можно оценить максимальный срок эксплуатации без технического обслуживания [5] по критерию

kГ(t) > kГдоп (2.14)

Если существует момент времени tдоп , при котором нарушается неравенство (2.14), то, с точки зрения обеспечения заданного уровня надежности, следует назначить техническое обслуживание (планово-профилактическое) до момента tдоп . Если же tдоп = 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

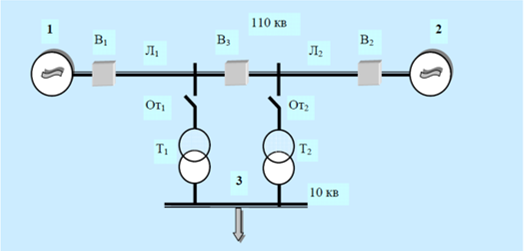


Рис.2.1 Схема замещения подстанции

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 kГдоп = 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 | tв- ср. время  восстановления,  10-3лет/отказ | Число отказов | Время  восстановления  10-3лет/отказ |
| Паспортные данные | | Статистика отказов | |
| 1 | В1 | 0,01 | 2,5 | 2 | 4,5; 3,3 |
| 2 | В2 | 0,07 | 2,5 |  | - |
| 3 | В3 | 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 | Т1 | 0,01 | 60,0 |  | - |
| 7 | Т2 | 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·(50 км/100 км) = 0.71 откл/год;

ВЛ2: 0.44·(200 км/100 км) = 0.88 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 tв.

Приведем пример расчета для одного из отказавших элементов (выключатель В1 ):

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):

λ\*(В1) = (1- g) · λ(В1) + g · (2/5 )= 0.75·0.01 + 0.25·0.4 = 0.1075 откл/год;

t\*в(В1) = (1- g) · tв( В1) + g · [(4.5+ 3.3)/2]= 0.75 ·2.5 + 0.25 ·3.9 = 2.85 ·10-3лет/отказ.

kг (В1) = 1 / (1+ 0,1075·2.85·10-3) = 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 xi », который будет заполнен далее.

Таблица 2.2

Результаты расчета показателей по статистике отказов

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Элемент | Переменная xi | λ\* – частота  отказов,  откл./год | t\*в- ср. время  восстановления,  10-3лет/отказ | Кг -коэфф.  готовности |
| 1 | В1 | x1 | 0,108 | 2,85 | 0,99969 |
| 2 | В2 | x4 | 0,07 | 2,5 | 0,99982 |
| 3 | В3 | x23 | 0,01 | 2,5 | 0,99998 |
|  | ВЛ1 | x12 | 0,733 | 0,50 | 0,99963 |
|  | ВЛ2 | x34 | 0,810 | 2,80 | 0,99774 |
| 4 | ВН1 | x25 | 0,013 | 0,4 | 0,99999 |
| 5 | ВН2 | x36 | 0,060 | 0,38 | 0,99997 |
| 6 | Т1 | x5 | 0,01 | 60,0 | 0,99940 |
| 7 | Т2 | x6 | 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 xi. 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» x25, 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

|  |  |
| --- | --- |
| x1 : состояние выключателя В1 , | x4 : состояние выключателя В2 , |
| x12 : состояние линии Л1 , | x25 : состояние отделителя От1 , |
| x2 : состояние шин 110 кв , | x5 : состояние трансформатора Т1 |
| x23 : состояние выключателя ШСВ В3 | x36 : состояние отделителя От2 , |
| x3 : состояние шин 110 кв , | x6 : состояние трансформатора Т2 . |
| x34 : состояние линии Л2 , |  |

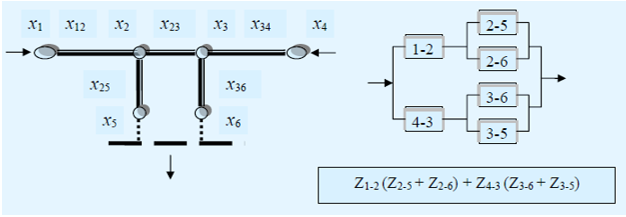


Рис 2.2. Структурная схема анализа  Рис 2.3. Схема представления ЛФР надежности (логическая блок-схема надежности)

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 = Z1-2-5 + Z1-2-3-6 + Z4-3-6 + Z4-3-2-5 .         (2.15)

Раскрывая ЛФР правой части (1.13), получим

Z = (x1 x12 x2 x25 x5) + (x1 x12 x2 x23 x3 x36 x6)+ (x4 x34 x3 x36 x6)+ ( x4 x34 x3 x23 x2 x25 x5).

С учетом допущения об абсолютной надежности источников питания, т.е. состоянии шин 110 кВ можно учесть, что x2=1 и x3=1 и, таким образом, упростить дизъюнктивную форму ЛФР системы электроснабжения:

Z=(x1x12)·(x25x5+x23x36x6)+(x4x34)·(x36x6+x23x25x5)=Z1-2· (Z2-5 + Z2-6) + Z4-3 ·(Z3-6 + Z3-5)   (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(Z1-2=1)=P(x1=1)·P(x12=1)=p1-2=https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/2.doc_html_3ae1f39d.gif

P(Z4-3 =1 ) = P(x4=1)·P( x34=1) = p4-3 =https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/2.doc_html_69a11faa.gif

Для блоков параллельных элементов на рис. 2.3:

https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/2.doc_html_b1db14a2.gif

https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/2.doc_html_8eba5d4d.gif

https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/2.doc_html_6e928486.gif

https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/2.doc_html_54ce97e7.gif

Введем промежуточные обозначения:

p2-5-6 = 1-q2-5-6 = 1- q2-5· q2-6 - ВБР блока параллельных элементов Z2-5 + Z2-6;

p3-6-5 = 1-q3-6-5 = 1- q3-6· q3-5 - ВБР блока параллельных элементов Z3-6 + Z3-5;

q1\* = 1 - p1-2· p2-5-6 - ВО питания на пути от узла №1 на схеме замещения (на структурной схеме анализа надежности рис.2.2. это узел 1),

q4\* = 1 – p4-3 p3-6-5 - 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 (IСШ) равна:

Q = q1\*· q4\*; kГ(t) = P(Z = 1) = 1 – Q.        (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: q1\*·(t), q4\*(t) , kГ(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 tдоп может быть получено решением уравнения

kГ(tдоп ) = kГдоп           (2.18)

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

kГ(0.25) > kГдоп > kГ(0.5), или: 0.9625 > 0.9 > 0.8773,

поэтому tдоп = 0.25 [лет] и техническое обслуживание (профилактическое) следует назначить в первом квартале.

Таблица 2.4

Расчет показателей надежности на двухлетний период эксплуатации (прогноз)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Формула Z(\*) | ∑λ | 1-й год | | | | 2-й год | | | |
| 0,25 | 0,50 | 0,75 | 1,0 | 1,25 | 1,5 | 1,75 | 2,0 |
| p1-2=https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/tablitca_2.doc_html_3ae1f39d.gif | 108+0,733 | 0,8104 | 0,6567 | 0,5322 | 0,4313 | 0,3495 | 0,2832 | 0,2295 | 0,1860 |
| p4-3 =https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/tablitca_2.doc_html_69a11faa.gif | 0,07+0,810 | 0,8025 | 0,6440 | 0,5168 | 0,4148 | 0,3329 | 0,2671 | 0,2144 | 0,1720 |
| https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/tablitca_2.doc_html_b6b37701.gif | 0,01+0,013 | 0,0057 | 0,0114 | 0,0171 | 0,0229 | 0,0283 | 0,0339 | 0,0394 | 0,0449 |
| https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/tablitca_2.doc_html_375b58df.gif | 0,01+0,060+0,108 | 0,0435 | 0,0851 | 0,1250 | 0,1631 | 0,1995 | 0,2343 | 0,2676 | 0,2995 |
| https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/tablitca_2.doc_html_f52259bb.gif | 0,108+0,060 | 0,0411 | 0,0805 | 0,1184 | 0,1546 | 0,1894 | 0,2228 | 0,2547 | 0,2854 |
| https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/tablitca_2.doc_html_9bf0244b.gif | 0,01+0,013+0,01 | 0,0082 | 0,0163 | 0,0244 | 0,0325 | 0,0404 | 0,0483 | 0,0561 | 0,0639 |
| p2-5-6 = 1-q2-5-6 = 1- q2-5· q2-6 | - | 0,9997 | 0,9990 | 0,9979 | 0,9963 | 0,9943 | 0,9921 | 0,9894 | 0,9865 |
| p3-6-5 = 1-q3-6-5 = 1- q3-6· q3-5 | - | 0,9997 | 0,9987 | 0,9971 | 0,9950 | 0,9923 | 0,9892 | 0,0,9857 | 0,9818 |
| q1\* = 1 - p1-2· p2-5-6 | - | 0,1898 | 0,3439 | 0,4689 | 0,5703 | 0,6525 | 0,7190 | 0,7729 | 0,8165 |
| q4\* = 1 – p4-3 p3-6-5 | - | 0,1977 | 0,3568 | 0,4846 | 0,5873 | 0,6697 | 0,7357 | 0,7887 | 0,8311 |
| kГ(t) = P(Z = 1) = 1 – q1\*· q4\* | - | 0,9625 | 0,8773 | 0,7727 | 0,6650 | 0,5631 | 0,4710 | 0,3904 | 0,3214 |

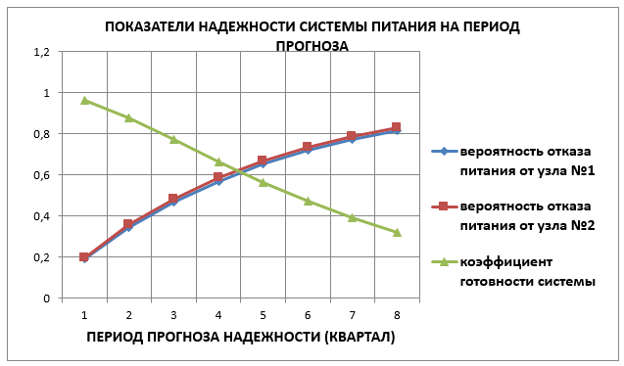


Рис 2.4. Изменение вероятности отказа питания и коэффициента готовности системы питания

Глава 3

**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, которые 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:

П = k ⋅W = k ⋅ Nср. ⋅ tраб.   *(3.1)*

то основная составляющая ущерба будет пропорциональна снижению производительности:

У(t) = ∆П = k ⋅∆W = k ⋅ Nср. ⋅tогр. ,     *(3.2)*

где Nср. – средняя потребляемая мощность, кВт;

tраб. – нормативное время работы потребителя, час;

tогр. – время нарушения электроснабжения (время ограничения), час;

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

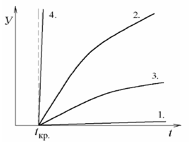
* тип потребителя и характер его производства;
* величину недополученной электроэнергии (∆W);
* глубину ограничения по мощности (∆P);
* время ограничения (tогр.);
* момент наступления ограничения (степень внезапности);
* наличие технологических и иных резервов.

Кроме того, перерыв электроснабжения приводит к нарушению технологического процесса, простою 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 недовыработанную 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]:

У =У' +У", *(3.3)*

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

У" – 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 уt , руб. / ед.прод.:**

У' = ( уt ТВ.расч. ωрасч. )П = уt ⋅kп. ⋅ П , *(3.4)*

где ωрасч. – расчетная интенсивность аварийных перерывов электроснабжения (параметр потока отказов системы), год-1 ;

ТВ.расч. – расчетное время ликвидации аварии, час;

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

kп. – коэффициент простоя (kп. = ТВ.расч. ωрасч.= 1- kГ. ).

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

У' = ( уt/W ТВ.расч. ωрасч. )Nср.= ( уt/W ТВ.расч. ωрасч. )[ \dfrac{{W}_{\text{расч}\text{.}}-{W}_{\text{факт}\text{.}}}{\text{8760}}, ](https://lms.mti.edu.ru/filter/tex/displaytex.php?texexp=%20%5Cdfrac%7B%7BW%7D_%7B%5Ctext%7B%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%87%7D%5Ctext%7B.%7D%7D-%7BW%7D_%7B%5Ctext%7B%D1%84%D0%B0%D0%BA%D1%82%7D%5Ctext%7B.%7D%7D%7D%7B%5Ctext%7B8760%7D%7D%2C%20) *(3.5.)*

где Nср – средняя электрическая нагрузка предприятия в нормальном режиме, кВт;

Wрасч. – расчетное электропотребление предприятия в нормальном режиме, кВт•ч / год;

Wфакт. – фактическое электропотребление предприятия при нарушении электроснабжения, кВт•ч / год;

**Аналогично определяется вторичный ущерб:**

У" = ( у"t ∆ТВ ωрасч.) П", *(3.6)*

У" = (у"t/W ∆ТВ ωрасч.)[\dfrac{W_{\text{расч.}}-W_{\text{факт.}}}{8760} ](https://lms.mti.edu.ru/filter/tex/displaytex.php?texexp=%5Cdfrac%7BW_%7B%5Ctext%7B%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%87.%7D%7D-W_%7B%5Ctext%7B%D1%84%D0%B0%D0%BA%D1%82.%7D%7D%7D%7B8760%7D%20) *(3.7)*

где у"t – удельный ущерб, связанный с длительностью простоя вто-ричного производства, руб. / ед. прод. [12];

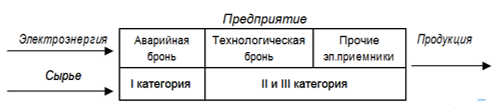
у"t/W – удельный ущерб, связанный с простоем (недопотребле-нием электроэнергии) вторичного производства, руб. / кВт•ч [17];

∆ТВ – простой вторичного производства ( ∆Тв. = Тв. − Т"кр. ), час;

Т"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}=\dfrac{{W}_{р\text{.}\text{цикл}}+{W}_{\text{восст}\text{.}}+{W}_{\text{рез}\text{.}}}{{W}_{\text{уд}\text{.}}} ](https://lms.mti.edu.ru/filter/tex/displaytex.php?texexp=%20%7BY%7D_%7B0%7D%3D%5Cdfrac%7B%7BW%7D_%7B%D1%80%5Ctext%7B.%7D%5Ctext%7B%D1%86%D0%B8%D0%BA%D0%BB%7D%7D%2B%7BW%7D_%7B%5Ctext%7B%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%81%D1%82%7D%5Ctext%7B.%7D%7D%2B%7BW%7D_%7B%5Ctext%7B%D1%80%D0%B5%D0%B7%7D%5Ctext%7B.%7D%7D%7D%7B%7BW%7D_%7B%5Ctext%7B%D1%83%D0%B4%7D%5Ctext%7B.%7D%7D%7D%20) *(3.8)*

где **Wр.цикл.**– непроизводительный расход энергии на незавершенный технологический цикл, кВт•ч;

**Wвосст.** – затраты энергии на восстановление нормального технологического процесса, кВт•ч;

**Wрез.** – имеющиеся резервы мощности (Wрез. = N рез.t рез. ), кВт•ч;

**Wуд.** – 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=\dfrac{Y_0}{N_{\text{тех.бр.}}}W_{\text{тех.бр.}} ;  \ y_0=\dfrac{Y_0}{N}_{\text{уст.}}{W_{\text{уд.}}} ](https://lms.mti.edu.ru/filter/tex/displaytex.php?texexp=y_0%3D%5Cdfrac%7BY_0%7D%7BN_%7B%5Ctext%7B%D1%82%D0%B5%D1%85.%D0%B1%D1%80.%7D%7D%7DW_%7B%5Ctext%7B%D1%82%D0%B5%D1%85.%D0%B1%D1%80.%7D%7D%20%3B%20%C2%A0%5C%C2%A0y_0%3D%5Cdfrac%7BY_0%7D%7BN%7D_%7B%5Ctext%7B%D1%83%D1%81%D1%82.%7D%7D%7BW_%7B%5Ctext%7B%D1%83%D0%B4.%7D%7D%7D%20)*(3.9)*

В итоге полный экономический ущерб потребителя можно определить по формулам:

У’ = γ · (y0+ yt Tв.расч.) · ωрасч. П, *(3.10)*)

https://lms.mti.edu.ru/repo/htmlconvimg/3049/doc24.doc_html_2f6b633d.png*(3.11)*

где **у0** – составляющая удельного ущерба, связанная с фактом потери питания, руб. / (перерыв × ед.прод.);

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

Глава 4

**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 статистки 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  *kГдоп* 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; kГдоп=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 SТном. = 2,5 – 7,5 МВА.

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

**Ns = X+Y+Z, – код варианта;**

El – обозначение элемента на схеме замещения (О1,О2,О3 – отделители ОТ1, ОТ2, ОТ3 соответственно; L1, L2 – воздушные ЛЭП Л1 и Л2 соответственно; остальные совпадают с обозначениями на схеме);

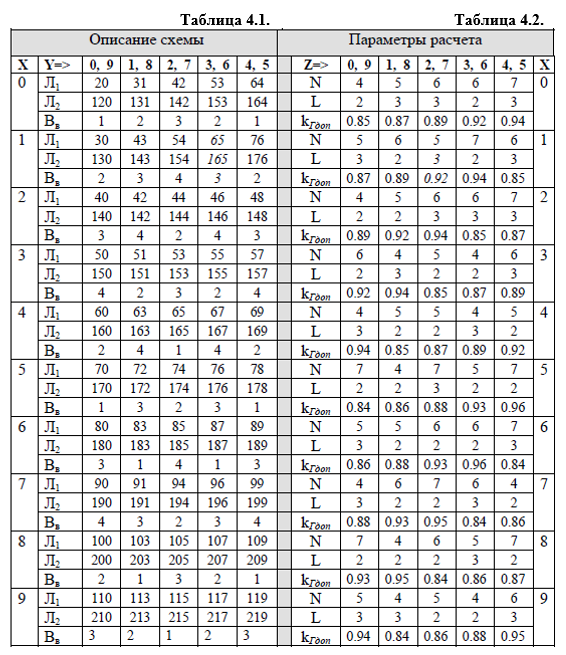
n - число отказов элемента;

T\_rest [1..n] – статистика восстановлений элемента, 10-3 лет/отказ.

Так для варианта **№137** код варианта в таблице 4.3 равен **NS=1+3+7=11.** Значения статистики отказов элементов в строке NS=11 выделены курсивом: например, ***выключатель В3 за период эксплуатации 5 лет имел два отказа со средним временем восстановления t\*В =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.

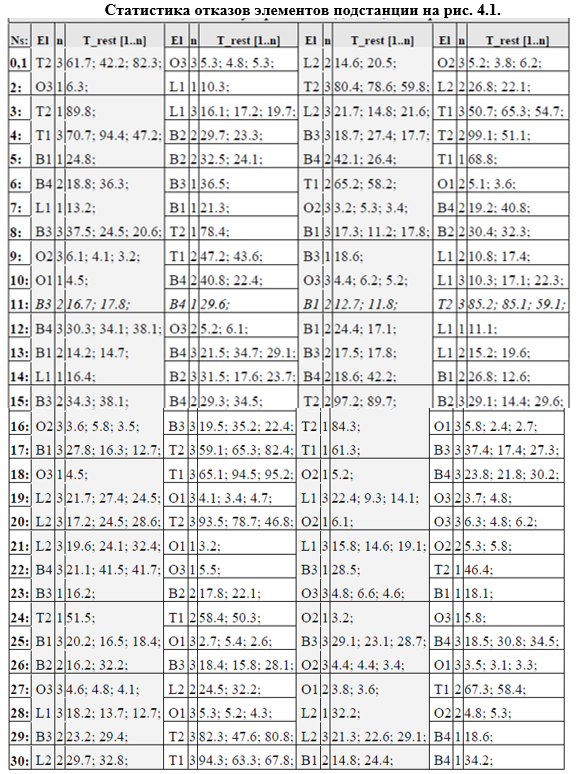
***Выбора отраслевой принадлежности электропотребителя*** производится в соответствии с кодом варианта Nотрасль= Z ***в таблице 4.4***, где параметр Z – цифра младшего разряда ИНС. Так, если ИНС 053-02137, то Nотрасль= 7. Характеристики удельных ущербов предприятий от перерывов электроснабжения следует 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.



**

***Рис. 4.1. Схема замещения трехтрансформаторной подстанции (задание)***

**Таблица 4.3**



**Таблица 4.4**

**Отраслевая принадлежность предприятия**

|  |  |
| --- | --- |
| **КОД ВАРИАНТА**  **Nотрасль** | **ОТРАСЛЬ ПРОМЫШЛЕННОСТИ** |
| 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 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 технике. 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 c.— Режим доступа: [/local/iprlib/go.php?bid=26826](https://lms.mti.edu.ru/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 c.— Режим доступа: [/local/iprlib/go.php?bid=26826](https://lms.mti.edu.ru/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 c.— Режим доступа: [/local/iprlib/go.php?bid=26826](https://lms.mti.edu.ru/local/iprlib/go.php?bid=26826) — ЭБС «IPRbooks», по паролю.
9. Надежность и диагностика систем электроснабжения железных дорог: учебник для ВУЗов ж\д 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. Биллинтон 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 инфомации, – 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.: Высш. 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. Конюхова, 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.

**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 oтказовом (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, выпушенным 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  ωркап, 1/год | Длительность  *t*ркап, дни |
| Агрегаты ТЭС 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  [\vec{t_{\text{в}}}](https://lms.mti.edu.ru/filter/tex/displaytex.php?texexp=%5Cvec%7Bt_%7B%5Ctext%7B%D0%B2%7D%7D%7D) | Средняя частота плановых остановов  ωпл, 1/год | Среднее время планового простоя  [\bar t_{\text{пл}}](https://lms.mti.edu.ru/filter/tex/displaytex.php?texexp=%5Cbar%20t_%7B%5Ctext%7B%D0%BF%D0%BB%7D%7D), ч |
| Энергоблок  В том числе: | 150. ..165 | 7,2 | 49 | 17 | 120 |
| котлоагрегат |  | 5,2 | 44 |  |  |
| турбина |  | 1,3 | 43 |  |  |
| турбогенератор |  | 0,7 | 91 |  |  |
| Энергоблок  В том числе: | 180. ..210 | 10,5 | 45 | 9,3 | 155 |
| котлоагрегат |  | 7,6 | 47 |  |  |
| турбина |  | 1,8 | 45 |  |  |
| турбогенератор |  | 1,1 | 58 |  |  |
| Энергоблок  В том числе: | 250.. .300 | 9,8 | 45 | 8,0 | 150 |
| котлоагрегат |  | 6,6 | 38 |  |  |
| турбина |  | 2,5 | 68 |  |  |
| турбогенератор |  | 0,7 | 83 |  |  |
| Энергоблок  В том числе: | 500\* | 29,5 | 70 | 3,6 | 345 |
| котлоагрегат |  | 12,7 | 56 |  |  |
| турбина |  | 8,1 | 85 |  |  |
| турбогенератор |  | 8,7 | 136 |  |  |
| Энергоблок  В том числе: | 800 | 15,6 | 74 | 5,1 | 277 |
| 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*,*  1/100 км×год | Среднее время восстановления  [\bar{T_{B}}](https://lms.mti.edu.ru/filter/tex/displaytex.php?texexp=%5Cbar%7BT_%7BB%7D%7D), ч | Средняя частота плановых остановов\*\*\*  \*ωпл,  1/год | Среднее время планового простоя  [\bar{T_{\text{пл}}}](https://lms.mti.edu.ru/filter/tex/displaytex.php?texexp=%5Cbar%7BT_%7B%5Ctext%7B%D0%BF%D0%BB%7D%7D%7D), ч |
| 1 | 2 | 3 | 4 | | 5 | 6 | 7 | 8 |
| **Воздушные** | До 1 |  |  | | 25 | 2,0 | 0,17 | 5 |
| 6…10 |  |  | | 7,6 | 5,0 | 0,17 | 6 |
| 35 | Металлические | Одноцепные | | 0,9 | 9,0 | 2,1 | 16,0 |
| Двух-цепные | Откл.  1 цепь | 1,1 | 6,0 | 1,0 | 13,0 |
| Откл.  2 цепи | 0,3 | 8,0 | 0,3 | 9,0 |
| Железобетонные | Одноцепные | | 0,7 | 10,0 | 1,2 | 15,0 |
| Двухцепные | Откл.  1 цепь | 0,8 | 10,0 | 1.3 | 14,0 |
| Откл.  2 цепи | 0,1 | 12,0 | 0,2 | 13,0 |
| Деревянные | Одноцепные | | 1,5 | 13,0 | 2,5 | 16,0 |
| 110 | Металлические | Одноцепные | | 1,3 | 9,0 | 2,1 | 15,0 |
| Двухцепные | Откл.  1 цепь | 1,7 | 7,0 | 3,8 | 15,0 |
| Откл.  2 цепи | 0,2 | 10,0 | 0,4 | 19,0 |
| Железобетонные | Одноцепные | | 0,7 | 11,0 | 1,6 | 16,0 |
| Двух-цепные | Откл.  1 цепь | 1,0 | 9,0 | 2,4 | 12,0 |
| Откл.  2 цепи | 0,2 | 15,0 | 0,4 | 13,0 |
| Деревянные | Одноцепные | | 1,5 | 10,0 | 3,6 | 14,0 |
| 220 | Металлические | Одноцепные | | 0,5 | 11,0 | 2,8 | 17,0 |
| Двухцепные | Откл.  1 цепь | 0,6 | 11,0 | 3,3 | 14,0 |
| Откл.  2 цепи | 0,1 | 15,0 | 0,5 | 24,0 |

**Продолжение таблицы  П 5.4**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | | 5 | 6 | 7 | 8 |
| **Воздушные** | 220 |  | Одноцепные | | 0,4 | 9,0 | 1,8 | 24,0 |
| Железобетонные | Двухцепные | Откл.  1 цепь | 0,5 | 9,0 | 1,1 | 17,0 |
| Откл.  2 цепи | 0,1 | 8,0 | 0,3 | 10,0 |
| Деревянные | Одноцепные | | 0,6 | 11,0 | 5,4 | 18,0 |
| 330 | Металлические | Одноцепные | | 0,6 | 11,0 | 3,0 | 21,0 |
| Двухцепные | Откл.  1 цепь | 0,9 | 10,0 | 7,3 | 15,0 |
| Откл.  2 цепи | 0,1 | 2,0 | 0,3 | 11,0 |
| 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 *Tв* 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**

| *Uном*, кВ | ω/ωΣ |
| --- | --- |
| 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  [\vec{t_{\text{в}}}](https://lms.mti.edu.ru/filter/tex/displaytex.php?texexp=%5Cvec%7Bt_%7B%5Ctext%7B%D0%B2%7D%7D%7D), ч | Средняя | | | |
| частота текущих ремонтов  ωртек,  1/год | продолжительность текущего ремонта, ч | частота капитальных ремонтов ωркап,  1/год | продолжительность 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 |
| 0,050\*\* |  |  |  |  |  |
| 1150\*\*\* | 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  [\vec{t_{\text{в}}}](https://lms.mti.edu.ru/filter/tex/displaytex.php?texexp=%5Cvec%7Bt_%7B%5Ctext%7B%D0%B2%7D%7D%7D), ч | Вероятность отказа на коммутационную операцию αОП, | Вероятность  отказа при отключении короткого замыкания αКЗ | Средняя | | | |
| частота капитальных ремонтов ωркап,  1/год | продолжительность капитального  ремонта, ч | частота текущих ремонтов  ωртек,  1/год | продолжительность текущего  ремонта, ч |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Автоматические |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| До 1 |  | 0,02/0,03 | 4 |  |  | 0,33 | 10 | 0,67 | 8 |
| Электромагнит-  ные | 6...  10 | ВЭМ-6, ВЭМ-10 | 0,01/0,01 | 11 | 0,002 | 0,027 | 0,2 | 24 | 0,8 | 16 |
| ВЭ-10 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Мало-  масля-  ные |  | вмп-  10 | 0,003/0,007 | 20 | 0,003 | 0,005 | 0,14 | 8 | 0,86 | 8 |
| 10 |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | Прочие | 0,003/0,007 | 20 | 0,003 | 0,005 | 0,14 | 10 | 0,86 | 8 |
| 20 |  | 0,002/0,008 | 26 | 0,003 | 0,005 | 0,14 | 10 | 0,86 | 8 |
| 35 |  | 0,014/0,016 | 25 | 0,005 | 0,005 | 0,14 | 9 | 0,86 | 8 |
| 110… 150 |  | 0,02/0,04 | 20 | 0,006 | 0,013 | 0,14 | 30 | 0,86 | 8 |
| Масля-  ные баковые | 35 |  | 0,002/0,007 | 30 | 0,006 | 0,006 | 0,14 | 12 | 0,86 | 8 |
| 110 |  | 0,005/0,011 | 40 | 0,004 | 0,006 | 0,14 | 23 | 0,86 | 8 |
| 220 |  | 0,015/0,040 | 50 | 0,011 | 0,009 | 0,14 | 43 | 0,86 | 8 |
| Воздушные | 15...20 |  | 0,015/0,025 | 20 | 0,020 | 0,015\*\* | 0,2 | 40 | 0,8 | 8 |
| 35 |  | 0,004/0,016 | 40 | 0,013 | 0,012 | 0,2 | 29 | 0,8 | 8 |
| 110 |  | 0,003/0,017 | 20 | 0,004 | 0,004 | 0,2 | 45 | 0,8 | 12 |
|  | ВВБ | 0,004/0,016 | 55 | 0,004 | 0,006 | 0,2 | 122 | 0,8 | 15 |
|  | Прочие | 0,004/0,016 | 25 | 0,004 | 0,003 | 0,2 | 96 | 0,8 | 15 |

**Продолжение таблицы  П 5.7**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Воздушные |  | 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 |
|  | 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 ВНВ.

\*\* 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  частота  отказов ω,  1/год | Среднее  время  восстановления,  [\vec{t_{\text{в}}}](https://lms.mti.edu.ru/filter/tex/displaytex.php?texexp=%5Cvec%7Bt_%7B%5Ctext%7B%D0%B2%7D%7D%7D), ч | Средняя | | | |
| частота капитальных ремонтов ωркап,  1/год | продолжительность капитального  ремонта, ч | частота текущих ремонтов  ωртек,  1/год | продолжительность текущего  ремонта, ч |
| Разъеди- | 6-10 | 0,01 | 7 | 0,166 | 4 | 0,834 | 3 |
| нитель | 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 |
| Отдели- | 35 | 0,015 | 3 | 0,33 | 7 | 0,667 | 4 |
| тель | 110 | 0,01 | 3,5 | 0,33 | 10 | 0,667 | 5 |
|  | 220 | 0,01 | 3,5 | 0,33 | 16 | 0,667 | 6 |
| Коротко- | 35 | 0,01 | 4 | 0,33 | 8 | 0,667 | 4 |
| замыка- | 110 | 0,01 | 6 | 0,33 | 6 | 0,667 | 5 |
| тель | 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_{\text{в}}}](https://lms.mti.edu.ru/filter/tex/displaytex.php?texexp=%5Cvec%7Bt_%7B%5Ctext%7B%D0%B2%7D%7D%7D), ч | Средняя | | | |
| частота  капитальных ремонтов\*  ωркап,  1/год | продолжительность капитального ремонта, ч | частота  текущих  ремонтов\*  ωртек,  1/год | продолжи-  тельность  текущего  ремонта\*,  ч |
| 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 полуторных и многоугольниковых 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  ωлож,  1/год | Вероятность излишних срабатываний на требования вне зоны ρизл, | Частота  излишних\*  срабатываний  ωизл,1/год | Вероятность отказа на требование ρ, отказ/требование |
| 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, | 0,77 | 0,1 | 0,73 | 0,57 |
| без высокочастотной  блокировки  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...ЗЗ0 кВ, подстанций, частотной  разгрузки.  Автоматическое устройство разгрузки при отключении участков электропередачи | -    0,7  0,17      - | -    -        - | -    12,0  0,25      - | 0,72      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 удель-ного основного ущерба уо, у.е./кВт×ч** | Удельная величина ущерба внезапности при полном отключении **увн**,у.е./кВт при продолжительности отключения, ч | | | Показатель степени α | Доля нагрузки технологической брони σ, % | | Удельный ущерб при невосполняемом дефиците энергии уэ, у.е./кВт×ч | | Удельный ущерб при последующей компенсации недоданной энергии yN,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 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**Продолжение таблицы  П 6.1**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | | | 3        4        5 | | | | 6 | | 7 | 8 | 9 |
| **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 |
| 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 сельскохо-  зяйственного 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 штапельно-го волокна | 0,25 | | 4,0 | 4,1 | 4,3 | 7 | 30 | 0,4 | 0,1 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**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 ущербов приведена в условных единицах, равных приблизительно доллару США.**

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