

Федеральное агентство по образованию
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)
Государственного образовательного учреждения
Высшего профессионального образования
«Казанский государственный технологический университет»

НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Учебно-методическое пособие для студентов заочников
отделения по специальности
140211 «Электроснабжение»

Составитель В.М. Булатова

Надежность систем электроснабжения: методические указания для выполнения контрольных работ / В.М. Булатова – 50 с.

Методические указания соответствуют требованиям государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования.

Предназначены для студентов заочного отделения, обучающихся по специальности 140211 «Электроснабжение»

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Нижекамского химико-технологического института.

Рецензенты;
Гл. энергетик ОАО «НКНХ» А.М. Вдовин
Д.п.н., профессор С.С. Амирова

© Нижекамский химико-технологический институт, 2008

Нижекамск
2008

Глава 1. Количественные характеристики основных показателей надежности

Свойства надежности

Надежность систем электроснабжения (СЭС) – свойство СЭС выполнять заданные функции в заданном объеме при определенных условиях функционирования.

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

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособность длительно, с возможными перерывами на ремонт, вплоть до разрушения или другого предельного состояния (например, по условиям безопасности).

Ремонтпригодность – свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и устранению их последствий.

Функция реакции – свойство СЭС или потребления реагировать на изменение напряжения в зависимости от их величины и продолжительности.

Количественные характеристики основных показателей надежности

Рассматриваемые здесь показатели применяются для оценки надежности как невозстанавливаемых (одноразового использования), так и подлежащих ремонту, т.е. восстанавливаемых объектов до появления первого отказа.

Вероятность безотказной работы $P(t)$ – вероятность того, что в заданном интервале времени $(0;t)$ в системе или элементе не произойдет отказ.

Статистически $P(t)$ определяется как отношение числа элементов $N(t)$, безотказно проработавших до момента t , к первоначальному числу наблюдаемых элементов $N(0)$:

$$P(t) = N(t) / N(0). \quad (1.1)$$

Число работоспособных в течение времени $(0, t)$ элементов будет:

$$N(t) = N(0) - n(0,t) \quad (1.2)$$

где $n(0,t)$ – число отказавших за время $(0,t)$ элементов.

Очевидно, что

$$0 \leq P(t) \leq 1, \quad P(0) = 1, \quad P(\infty) = 0.$$

Вероятность появления отказа $Q(t)$ – вероятность того, что в заданном интервале времени $(0, t)$ произойдет отказ.

Статистическая оценка $Q(t)$:

$$Q(t) = n(0,t) / N(0) \quad (1.3)$$

Таким образом, всегда имеет место соотношение

$$P(t) + Q(t) = 1. \quad (1.4)$$

Частота отказов $a(t)$ – производная от вероятности появления отказа, означающая вероятность того, что отказ элемента произойдет за единицу времени $(t, t + \Delta t)$.

$$a(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dP(t)}{dP(t)} \quad (1.5)$$

Для определения величины $a(t)$ можно использовать статистическую оценку:

$$a(t) = \frac{n(t, \Delta t)}{N(0) \cdot \Delta t}, \quad (1.6)$$

где $n(t, \Delta t)$ – число элементов, отказавших в интервале времени от t до $t + \Delta t$.

Точность статистической оценки (1.6) возрастает с увеличением первоначального числа наблюдаемых элементов и уменьшением временного интервала Δt .

Частота отказов, вероятность безотказной работы и вероятность появления отказа связаны следующими зависимостями:

$$P(t) = \int_t^{\infty} a(x) dx, \quad (1.7)$$

$$Q(t) = \int_0^t a(x) dx. \quad (1.8)$$

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ – условная вероятность отказа после момента t за единицу времени Δt при условии, что до момента t отказа элемента не было.

Интенсивность отказов связана с частотой отказов и вероятностью безотказной работы:

$$\lambda(t) = a(t) / P(t) \quad (1.9)$$

Так как $P(t) \leq 1$, то всегда выполняется соотношение $\lambda(t) \geq a(t)$.

Статистически интенсивность отказов определяется таким образом:

$$a(t) = \frac{n(t, \Delta t)}{N(t) \cdot \Delta t} \quad (1.10)$$

Различие между частотой и интенсивностью отказов в том, что первый показатель характеризует вероятность отказа за интервал $(t, t + \Delta t)$ элемента, взятого из группы элементов произвольным образом, причем неизвестно, в каком состоянии (работоспособном или неработоспособном) находится выбранный элемент. Второй показатель характеризует вероятность отказа за тот же интервал времени элемента, взятого из группы оставшихся работоспособными к моменту t элементов.

Отметим важную особенность, вытекающую из формулы (1.9) для высоконадежных элементов и систем: если $P(t) \geq 0,99$, то $a(t) \approx \lambda(t)$. Поэтому в практических расчетах возможна при указанном условии взаимная замена $a(t)$ и $\lambda(t)$.

Интегрируя выражение (1.9), получаем формулу для определения вероятности безотказной работы в зависимости от интенсивности отказов и времени:

$$P(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(x) dx \right] \quad (1.11)$$

Изменение интенсивности отказов во времени

Средняя наработка на отказ (среднее время безотказной работы) T представляет собой математическое ожидание наработки объекта до первого отказа. Этот показатель геометрически пред-

ставляет собой площадь под кривой вероятности безотказной работы:

$$T = \int_0^t P(t) dt \quad (1.12)$$

Расчетные формулы для экспоненциального закона надежности

Учитывая, что для объектов СЭС интенсивность отказов в период нормальной эксплуатации практически неизменна, т.е. $\lambda(t) = \lambda = const$, соотношения между основными показателями надежности можно представить с учетом этого условия в более простой и наглядной форме:

$$P(t) = \exp(-\lambda t), \quad (1.13)$$

$$Q(t) = 1 - \exp(-\lambda t), \quad (1.14)$$

$$a(t) = \lambda \exp(-\lambda t). \quad (1.15)$$

Формулы (1.13) – (1.15) характеризуют экспоненциальный закон надежности, т.е. экспоненциальное распределение времени безотказной работы при отказах с постоянной интенсивностью.

Формула (1.12) для определения средней наработки на отказ для экспоненциального закона принимает вид:

$$T = 1/\lambda. \quad (1.16)$$

Для статистической оценки величины T применяется формула:

$$T = \sum_{i=1}^{N(0)} t_i / N(0), \quad (1.17)$$

где t_i - время безотказной работы i -го элемента (объекта).

Если рассматривается один часто выходящий из строя элемент, то в формуле (1.17) под t_i понимается время безотказной работы на i -м интервале времени, а под $N(0)$ – число временных интервалов.

Для экспоненциального закона надежности средняя наработка элемента до первого отказа равна среднему времени безотказной

работы между соседними отказами. Поскольку в период нормальной эксплуатации $\lambda = \text{const}$, то и $T = \text{const}$.

Подавляющее большинство объектов СЭС характеризуется очень малыми численными значениями интенсивности отказов и, соответственно, большими значениями средней наработки на отказ и в расчетах возможно использовать упрощенные формулы для расчета показателей надежности:

$$P(t) = 1 - \lambda t, \quad (1.18)$$

$$Q(t) = \lambda t, \quad (1.19)$$

$$a(t) = \lambda(1 - \lambda t). \quad (1.20)$$

Упрощенные формулы допустимо применять при $\lambda \ll 20\delta^{-1}$.

Экспоненциальный закон хорошо описывает внезапные отказы, т.е. он справедлив для периода нормальной эксплуатации. Для описания изменений показателей надежности в начальный период эксплуатации и при старении и износе элементов в теории надежности используются другие законы распределения.

Глава 2. Показатели надежности восстанавливаемых объектов

Для оценки надежности объектов многоразового использования необходимы дополнительные показатели, учитывающие также процессы восстановления (ремонта) элементов (объектов).

Параметр потока отказов $\omega(t)$ – математическое ожидание числа отказов, происшедших за единицу времени, начиная с момента t при условии, что все элементы, вышедшие из строя, заменяются работоспособными, т.е. число наблюдаемых элементов сохраняется одинаковым в процессе эксплуатации.

Для экспоненциального закона надежности интенсивность и параметр потока отказов не зависят от времени и совпадают, т.е.

$$\lambda(t) = \omega(t) = \lambda = \omega = \text{const}.$$

Вероятность восстановления $S(t)$ – вероятность того, что отказавший элемент будет восстановлен в течение заданного времени t , т.е. вероятность своевременного завершения ремонта.

Очевидно то, что

$$0 \leq S(t) \leq 1, \quad S(0) = 0, \quad S(\infty) = 1.$$

Для определения величины $S(t)$ используется следующая статистическая оценка:

$$S(t) = N_B / N_B(0), \quad (2.1)$$

где $N_B(0)$ – число элементов, поставленных на восстановление в начальный момент времени $t = 0$; N_B – число элементов, время восстановления которых оказалось меньше заданного времени t , т.е. восстановленных на интервале $(0, t)$.

Вероятность невосстановления (несвоевременного завершения ремонта) $G(t)$ – вероятность того, что отказавший элемент не будет восстановлен в течение заданного времени t .

Статистическая оценка величины $G(t)$:

$$G(t) = \frac{N_B(0) - N_B}{N_B(0)}. \quad (2.2)$$

Из анализа выражений (2.1) и (2.2) следует, что всегда $S(t) + G(t) = 1$.

Частота восстановления $a_B(t)$ – производная от вероятности восстановления:

$$a_B(t) = \frac{dS(t)}{dt} = -\frac{dG(t)}{dt}. \quad (2.3)$$

Для численного определения величины $a(t)$ используется статистическая оценка:

$$a_B(t) = \frac{n_B(t, \Delta t)}{N_B(0) \cdot \Delta t}, \quad (2.4)$$

где $n_B(t, \Delta t)$ – число восстановленных элементов на интервале времени от t до $t + \Delta t$.

Интенсивность восстановления $\mu(t)$ – условная вероятность восстановления после момента t за единицу времени Δt при условии, что до момента t восстановления элемента не произошло. Интенсивность восстановления связана с частотой восстановления:

$$\mu(t) = a_B(t) / G(t). \quad (2.5)$$

Статистически интенсивность восстановления определяется следующим образом:

$$\mu(t) = \frac{n_B(t, \Delta t)}{(N_B(0) - N_B) \Delta t} \quad (2.6)$$

Так как установлены обоснованные нормативы времени на проведение ремонтных работ, то принимают интенсивность восстановления независимой от времени: $\mu(t) = \mu = \text{const}$. Численные значения интенсивности восстановления сведены в справочные таблицы по видам оборудования и ремонтов.

Для экспоненциального распределения времени восстановления, т.е. при постоянной интенсивности восстановления, по аналогии с процессом отказов (формулы (1.10) и (1.11)) имеем следующие зависимости:

$$S(t) = 1 - \exp(-\mu t), \quad (2.7)$$

$$G(t) = \exp(-\mu t). \quad (2.8)$$

Среднее время восстановления T_B представляет собой математическое ожидание времени восстановления и численно соответствует площади под кривой вероятности невосстановления:

$$T_B = \int_0^{\infty} G(t) dt. \quad (2.9)$$

Статистическая оценка величины T_B :

$$T_B = \sum_{i=1}^{N_B(0)} t_{Bi} / N_B(0), \quad (2.10)$$

где t_{Bi} – длительность восстановления i -го элемента.

Для отдельно рассматриваемого элемента под t_{Bi} понимается длительность восстановления после i -го отказа, а под $N_B(0)$ – число отказов данного элемента.

При экспоненциальном распределении времени восстановления, когда интенсивность восстановления $\mu = \text{const}$, аналогично (1.16) имеет соотношение

$$T_B = 1/\mu, \quad (2.11)$$

т.е. среднее время восстановления численно равно средней по множеству однотипных элементов (объектов) продолжительности

сти восстановления, приходящейся на один объект. Поскольку $\mu = \text{const}$, то и $T_B = \text{const}$.

В случае, когда требуется оценить надежность работы элемента безотносительно к времени его работы, используются рассматриваемые ниже показатели.

Коэффициент готовности K_G – вероятность того, что элемент работоспособен в произвольный момент времени.

Для определения величины K_G отдельного элемента используется следующая статистическая оценка:

$$K_G = \frac{\sum_{i=1}^n t_{Pi}}{\sum_{i=1}^n t_{Pi} + \sum_{i=1}^n t_{Bi}}, \quad (2.12)$$

где t_{Pi} – i -й интервал времени исправной работы элемента, t_{Bi} – i -й интервал времени восстановления элемента после i -го отказа, n – число отказов.

Разделив численно знаменатель выражения (2.12) на число отказов n , происшедших за рассматриваемое время, получим следующее выражение:

$$K_G = \frac{T}{T + T_B}. \quad (2.13)$$

Таким образом, коэффициент готовности равен вероятности пребывания элемента в работоспособном состоянии в произвольный момент времени в рассматриваемом периоде.

Коэффициент готовности имеет смысл *надежностного коэффициента полезного действия*, так как числитель представляет собой полезную составляющую, а знаменатель – общие затраты времени.

Коэффициент готовности является важным показателем надежности, т.к. характеризует готовность элемента к работе и позволяет также оценить его эксплуатационные качества (удобство эксплуатации, стоимость эксплуатации) и требуемую квалификацию обслуживающего персонала.

Коэффициент простоя K_{II} – вероятность того, что элемент неработоспособен в любой момент времени.

Статистическая оценка величины $K_{П}$:

$$K_{П} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{Bi}}{\sum_{i=1}^n t_{Pi} + \sum_{i=1}^n t_{Bi}}. \quad (2.14)$$

По аналогии с коэффициентом готовности получаем зависимость для коэффициента простоя:

$$K_{П} = \frac{T_B}{T + T_B}. \quad (2.15)$$

Очевидно, что всегда имеет место равенство

$$K_{Г} + K_{П} = 1. \quad (2.16)$$

Относительный коэффициент простоя $K_{ПО}$ – отношения коэффициента простоя к коэффициенту готовности:

$$K_{ПО} = K_{П} / K_{Г} = T_B / T. \quad (2.17)$$

Коэффициент технического использования $K_{ТИ}$ учитывает дополнительные преднамеренные отключения элемента, необходимые для проведения планово-предупредительных ремонтов:

$$K_{ТИ} = \frac{T}{T + T_B + T_0}, \quad (2.18)$$

где T_0 – среднее время обслуживания, т. е. среднее время нахождения элемента в отключенном состоянии для производства планово-предупредительных ремонтов (профилактики).

Коэффициент оперативной готовности $K_{ОГ}$ – вероятность того, что элемент работоспособен в произвольный момент времени t и безошибочно проработает в течение заданного времени τ ($t, t+\tau$):

$$K_{ОГ} = K_{Г} P(\tau). \quad (2.19)$$

Для определения величины $K_{ОГ}$ используется статистическая оценка

$$K = N_t(\tau) / N(0), \quad (2.20)$$

где $N_t(\tau)$ – число элементов, исправных в момент времени t и безотказно проработавших в течение времени τ ; $N(0)$ – первоначальное число наблюдаемых элементов в момент времени $t = 0$.

Коэффициент оперативной готовности позволяет количественно оценить надежность объекта в аварийных условиях, т.е. до окончания выполнения какой-то эпизодической функции.

ГЛАВА 3. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СХЕМ

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В схеме электрической цепи требуется определить показатели надежности электроснабжения в расчетной ее точке. Выполняется это следующим образом.

1. Технологическая схема электрических соединений представляется схемой замещения по надежности. При расчетах надежности СЭС общего назначения источниками питания являются распределительные устройства электростанций и узловых подстанций, имеющие не менее двух систем шин высшего напряжения и не менее двух трансформаторов.

Элементы схемы представляются в виде участков и узлов. На схеме замещения проставляют также направления движения электроэнергии по элементам от высшего напряжения к низшему, от источников питания к потребителю. По транзитным элементам, связывающим промежуточные узлы схемы, энергия может передаваться в обоих направлениях.

2. Определяются численные значения показателей надежности элементов (узлов и участков) схемы, часть из которых находится непосредственно по статистическим данным о повреждаемости оборудования, а часть рассчитывается.

3. Схема замещения поэтапно эквивалентруется объединением последовательно и параллельно соединенных элементов, в результате схема преобразуется в двухполюсную неразделимую структуру (граф), входом в которую являются источники, а выходом — расчетная точка сети.

Показатели надежности участков, представляющих совокупность тесно связанного оборудования, определяются расчетами. Например, показатели надежности участка, имеющего линию и

два выключателя на передающей и приемной подстанции (имеются в виду статические показатели надежности выключателей, а не показатели надежности их функционирования) рассчитываются по формулам для последовательно соединенных элементов

$$\lambda_{уч} = 2\lambda_B + \lambda_{Л}^0 l_{Л}$$

$$T_{ВУЧ} = \lambda^{-1}(2\lambda_B T_{ВВ} + \lambda_{Л}^0 l_{Л} T_{ВЛ}) \quad (3.1)$$

где λ_B — интенсивность отказов выключателя; $\lambda_{Л}^0$ — удельная интенсивность отказов линии; $l_{Л}$ — длина линии; $T_{ВВ}$ — среднее время восстановления выключателя; $T_{ВЛ}$ — среднее время восстановления линии.

Исключением являются двухцепные линии и кабели, проложенные в одной траншее. Их отказы нельзя полагать независимыми событиями, поскольку поломка двухцепной опоры ВЛ приводит к одновременному отказу обеих цепей, а два проложенных в одной траншее кабеля обычно повреждаются строительными механизмами при выполнении земляных работ одновременно.

Для учета одновременности отказов двухцепные линии или кабели в одной траншее на рис.3.1 принимаются как система со смешанным соединением элементов, где параллельно соединенные элементы 1, 2 — показатели надежности отдельных цепей (двух кабелей) и их отказы — независимые события, а общий элемент 3 характеризует одновременный отказ обеих цепей (линий), которые можно определить также по статистическим данным.

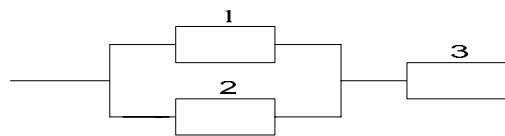


Рис. 3.1.

Показатели надежности шин распределительных устройств (узлов) также определяются расчетами.

Рассмотрим надежность узла — секции шин распределительного устройства (рис. 3.2). Шины могут быть обесточены в следующих случаях:

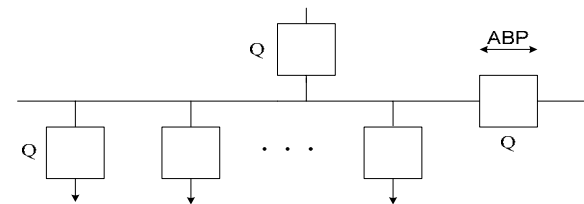


Рис 3.2.

- 1) при отказе самих шин на время ремонта; при этом интенсивность отказов шин принимается прямо пропорциональной количеству присоединений $N_{ПР}$:

$$\lambda_{Ш} = \lambda_{Ш}^0 N_{ПР} \quad (3.2)$$

где $\lambda_{Ш}^0$ - интенсивность отказов одного соединения.

- 2) при отказе присоединения (ячейки РУ) на время, необходимое для отсоединения этой ячейки и подачи питания на шины:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_{Q_i} \quad (3.3)$$

где λ_{Q_i} - интенсивность отказов ячейки РУ (выключателя); N – число отходящих линий, включая трансформатор собственных нужд;

- 3) при отказе рабочего питания секции и несрабатывания УРЗ и КА на питающей линии или АВР и КА секционного выключателя на время, необходимое для подачи питания на секцию шин вручную:

$$\lambda_{P3A} = \lambda_{раб} (q_{P3} + q_{ABP}) \quad (3.4)$$

- 4) при отказе в срабатывании УРЗ и КА отходящих линий на время отсоединения ячейки и подачи питания на шины:

$$\lambda_{отх} = \sum_{i=1}^{n_{Л}} \lambda_{Лi} k_{Hi} q_{P3i} \quad (3.5)$$

где $n_{Л}$ – число отходящих линий.

Схема замещения по надежности рассмотренного узла представлена на рис. 3.3.

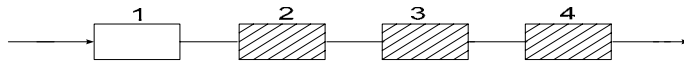


Рис. 3.3.

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Расчет показателей надежности схем электроустановок (ЭУ) относится, прежде всего, к понизительным подстанциям и распределительным пунктам. Электроустановки различаются схемой построения, способом ввода резервного питания, применяемым оборудованием. Показатели надежности для подстанций, как правило, определяются на шинах РУ низшего напряжения.

Выход их строя любого из элементов нерезервированной электроустановки или установки с ручным резервированием приводит к исчезновению напряжения на шинах РУ: в случае нерезервированной ЭУ — на время ремонта отказавшего элемента, а для ЭУ, резервированных вручную, — на время подключения резервного питания. Таким образом, схема замещения этих ЭУ представляет собой систему последовательно соединенных элементов.

Пример 1

Определить показатели надежности на шинах 10 кВ понизительной подстанции 110/10 кВ (рис. 3.4). Подстанция с закрытым РУ 10 кВ обслуживается без дежурного персонала и имеет четыре отходящие линии 10 кВ, общая длина которых l_{Σ} составляет 50 км. Длина питающей линии ВЛ 110 кВ $l_{110} = 25$ км.

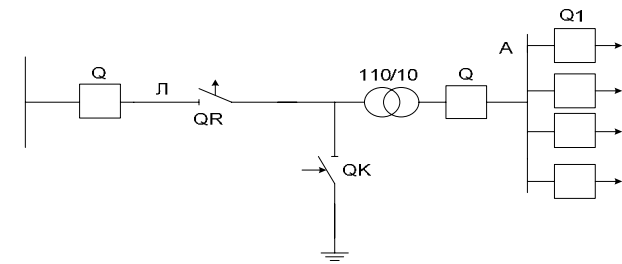


Рис. 3.4

Решение.

Схема замещения приведена на рис. 3.5

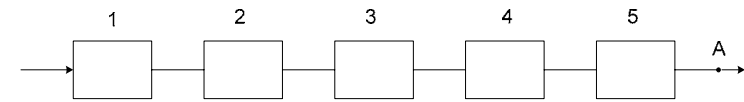


Рис. 3.5

Показатели надежности элемента 1 (ВЛ 110 кВ):

$$\lambda_1 = \lambda_{110} l_{110} = 0,08 \cdot 25 = 2,0 \text{ год}^{-1}; \quad T_{B1} = T_{B110} = 8 \text{ ч};$$

$$\nu_1 = 0,15 \cdot 25 = 3,75 \text{ год}^{-1}; \quad T_{O1} = T_{B110} = 8 \text{ ч}.$$

Показатели надежности элемента 2 (отделителя):

$$\lambda_2 = \lambda_{QR} = 0,05 \text{ год}^{-1}; \quad T_{B2} = T_{QR} = 4 \text{ ч};$$

$$\nu_2 = \nu_{QR} = 0,3 \text{ год}^{-1}; \quad T_{O2} = T_{QR} = 5 \text{ ч}.$$

Показатели надежности элемента 3 (короткозамыкателя):

$$\lambda_3 = \lambda_{QK} = 0,05 \text{ год}^{-1}; \quad T_{B3} = T_{QK} = 4 \text{ ч};$$

$$\nu_3 = \nu_{QK} = 0,3 \text{ год}^{-1}; \quad T_{O3} = T_{QK} = 5 \text{ ч}.$$

Показатели надежности элемента 4 (трансформатора 110/10 кВ с выключателем 10 кВ):

$$\lambda_4 = \lambda_T + \lambda_{Q11} = 0,45 \text{ год}^{-1}; \quad T_{B4} = \lambda_4^{-1} (\lambda_T T_{BT} + \lambda_Q T_{BQ}) = 22,0 \text{ ч};$$

$$\nu_4 = \nu_T = 0,4 \text{ год}^{-1}; \quad T_{O4} = T_T = 11 \text{ ч}.$$

Показатели надежности элемента 5 (секция шин ЗРУ 10 кВ):

- отказ шин секции

$$\lambda_{Ш} = \lambda_{Ш10}^0 N_{ПР} = 0,006 \text{ год}^{-1},$$

где $N_{ПР} = 6$ (четыре присоединения – отходящие линии, одно – выключатель трансформатора 110/10 кВ, одно – трансформатор собственных нужд 10/0,4 кВ);

$$T_{ВШ} = 4 \cdot 4 = 16 \text{ ч};$$

- отказ присоединения

$$\lambda_{ПР} = 4\lambda_{QR} + \lambda_{QS} = 0,062 \text{ год}^{-1}; T_{ВПР} = T_{нер} = 2 \text{ ч}; T_{ОПР} = 0;$$

- отказ в срабатывании РЗ отходящих ВЛ 10 кВ

$$\lambda_{омх} = \sum_{i=1}^4 \lambda_{Лi} k_{Hi} q_{P3i} = k_H q_{P3} \lambda_{Л}^0 l_{10\Sigma} = 1,5 \cdot 0,02 \cdot 0,1 \cdot 50 = 0,15 \text{ год}^{-1};$$

$$T_{Вомх} = T_{нер} = 2 \text{ ч}; T_{Оотх} = 0.$$

Итоговые показатели надежности элемента 5:

$$\lambda_5 = \lambda_{Ш} + \lambda_{ПР} + \lambda_{омх} = 0,218 \text{ год}^{-1}; \nu_5 = \lambda_{Ш} = 0,15 \text{ год}^{-1};$$

$$T_{B5} = \lambda_5^{-1} (\lambda_{Ш} T_{ВШ} + \lambda_{ПР} T_{ВПР} + \lambda_{омх} T_{Вомх}) = 2,39 \text{ год}^{-1};$$

$$T_{O5} = T_{OШ} = 5 \text{ ч}.$$

Окончательно показатели надежности на шинах 10 кВ подстанции следующие:

$$\lambda_A = \sum_{i=1}^5 \lambda_i = 2,363 \text{ год}^{-1}; T_{BA} = \lambda_A^{-1} \sum_{i=1}^5 \lambda_i T_{Bi} = 7,58 \text{ ч}.$$

С учетом преднамеренных отключений согласно (6.4) и (6.5) получаем (за базовый принимаем элемент 1 – ВЛ 110 кВ):

$$\nu_A = 3,75 + 0,3(1 - 0,8) + 0,3(1 - 0,8) + 0,4(1 - 0,6) + 0,15(1 - 0,75) = 4,0675 \text{ год}^{-1}.$$

$$T_{OA} = \frac{1}{4,0675} *$$

$$[3,75 \cdot 0,8 + 0,4(11 - 8) + 5 \cdot 0,3 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,3 \cdot 0,2 + 11 \cdot 0,4 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,15 \cdot 0,25] =$$

$$= 8,37$$

ч.

При определении показателей надежности электроустановок с автоматическим вводом резерва следует учитывать вероятность выхода из строя резервного питания при простое рабочего питания. Поэтому схема замещения обычно представляет собой систему со смешанным (последовательно-параллельным) соединением элементов.

ГЛАВА 4. НАДЕЖНОСТЬ НЕРЕЗЕРВИРУЕМЫХ СЕТЕЙ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

При оценке надежности электроснабжения одного потребителя чаще всего рассматривается два состояния системы: работоспособное и неработоспособное. Вероятность нахождения СЭС большой группы потребителей полностью в неработоспособном состоянии очень мала. Современные СЭС представляют собой сложные, многократно резервируемые сети, получающие питание от нескольких источников, оснащенные большим количеством устройств защиты, автоматики, телемеханики. В то же время отказ в электроснабжении хотя бы одного потребителя приводит к невыполнению системой основной задачи — снабжения потребителей электроэнергией в нужном количестве и должного качества. В этом случае происходит снижение выходного эффекта системы. Количественно надежность СЭС можно оценить, определяя выходной эффект системы.

Выходной эффект абсолютно надежной СЭС выражается в количестве электроэнергии $\mathcal{E}_{нотр}$, отпущенной в соответствии с требованиями потребителей. Реальный эффект $\mathcal{E}_{омн}$, представляющий собой количество отпущенной с учетом отказов электроэнергии, всегда меньше идеального выходного эффекта $\mathcal{E}_{нотр}$. Разность между идеальным и реальным выходными эффектами является мерой оценки надежности СЭС. Таким образом, по-

следняя представляет собой количество недоотпущенной потребителям электроэнергии в результате отказов в СЭС:

$$W = \mathcal{E}_{\text{нотпр}} - \mathcal{E}_{\text{отн}} \quad (4.1)$$

Для сравнения СЭС, различных по количеству отпускаемой энергии, используется коэффициент необеспеченности электроэнергией

$$\rho = W / \mathcal{E}_{\text{нотпр}} \quad (4.2)$$

Коэффициент обеспеченности электроэнергией определяется следующим образом:

$$\pi = \mathcal{E}_{\text{отн}} / \mathcal{E}_{\text{нотпр}} = 1 - W / \mathcal{E}_{\text{нотпр}} = 1 - \rho \quad (4.3)$$

Ожидаемое количество электроэнергии, недоотпущенное потребителям за период времени (обычно за год), определяется как суммарный ожидаемый недоотпуск электроэнергии всем M потребителям, присоединенным к данной СЭС, т.е.

$$W = \sum_{i=1}^M W_i \quad (4.4)$$

Ожидаемый недоотпуск i -му потребителю соответствует произведению средней величины нагрузки P_i на эквивалентную продолжительность простоя за рассматриваемый период времени

$$W_i = P_i \Theta_{\mathcal{E}i} \quad (4.5)$$

Эквивалентная продолжительность простоя i -го потребителя

$$\Theta_{\mathcal{E}i} = \lambda_i T_{Bi} + \xi v_i T_{Oi} \quad (4.6)$$

где λ_i , T_{Bi} , v_i , T_{Oi} – показатели надежности i -го потребителя, рассчитываемые в соответствии с гл. 2 и 3; ξ – коэффициент, отражающий меньшую тяжесть последствий от преднамеренных отключений по сравнению с внезапными отказами. В практических расчетах принимают $\xi = 0,33$.

Необходимое для расчета коэффициентов ρ и π количество отпущенной потребителям электроэнергии при отсутствии отказов в СЭС определяется как

$$\mathcal{E}_{\text{нотпр}} = \sum_{i=1}^M \mathcal{E}_{\text{нотпр}i} = \sum_{i=1}^M P_{Pi} T_{Hci} \quad (4.7)$$

где P_{Pi} – расчетная нагрузка i -го потребителя; T_{Hci} – число часов использования максимума.

Порядок расчета надежности СЭС следующий:

- 1) определяется надежность электроснабжения i -го потребителя в соответствии с изложенными в гл.3 правилами;
- 2) устанавливается величина ожидаемого недоотпуска электроэнергии i -му потребителю W_i и требуемое количество электроэнергии $\mathcal{E}_{\text{нотпр}i}$;
- 3) определяются величины суммарного недоотпуска и требуемого количества электроэнергии для потребителей СЭС;
- 4) вычисляется коэффициент необеспеченности электроэнергией.

Надежность сетей с линиями без коммутационных аппаратов

Рассмотрим ВЛ напряжением 10 кВ (рис 4.1). Потребители П1 и П3 присоединены непосредственно к магистральной линии, а потребители П2, П4, П5 питаются от ответвлений, наглухо присоединенных к магистрали.

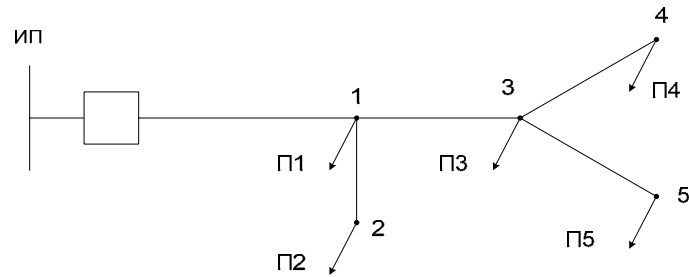


Рис. 4.1

Пусть произошло повреждение одного из участков линии. Для восстановления электроснабжения оперативной выездной бригаде (ОВБ) потребуется выехать к ИП, вручную опробовать включение отключенной линии, установить место повреждения, устранить повреждение и включить линию в работу.

Среднее время восстановления электроснабжения составит:

$$T_{BC} = T_{B0} + T_{ПМ} + T_B, \quad (4.8)$$

где T_{B0} – время момента отказа до пробного включения линии, $T_{ПМ}$ – время поиска места повреждения, T_B – время ремонта и включения линии в работу (восстановления без учета времени выезда ОВБ и поиска повреждения).

Величину $T_{ПМ}$ можно определить по формуле:

$$T_{ПМ} = 0,5 l_{\Sigma} v_x^{-1}, \quad (4.9)$$

где l_{Σ} – длина поврежденной линии (вместе с ответвлениями), км; v_x – скорость передвижения по трассе линии с целью обнаружения места повреждения, км/ч.

Для всех потребителей данной линии время восстановления электроснабжения одинаково: $T_{B1} = T_{B2} = T_{B3} = T_{B4} = T_{B5}$.

Интенсивность отказов также одинакова и прямо пропорциональна длине линии:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = \lambda_{Л10}^0 \cdot l_{\Sigma}.$$

Схема замещения по надежности для любого i -го потребителя представлена на рис. 4.2.

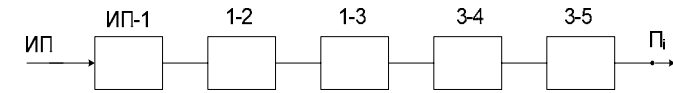


Рис. 4.2.

Ожидаемый недоотпуск электроэнергии i -му потребителю составит:

$$W_i = P_i \Theta_{\Sigma}, \quad (4.10)$$

поскольку $\Theta_{\Sigma 1} = \Theta_{\Sigma 2} = \Theta_{\Sigma 3} = \Theta_{\Sigma 4} = \Theta_{\Sigma 5} = \Theta_{\Sigma}$. Суммарный ожидаемый недоотпуск электроэнергии

$$W_{\Sigma} = \sum_{i=1}^5 W_i = \Theta_{\Sigma} \sum_{i=1}^5 P_i \quad (4.11)$$

Пример 4.1.

Определить надежности электроснабжения потребителей, присоединенных к сети, представленной на рис. 4.1., и надежность схемы сети в целом. Расчетные нагрузки приведены в табл. 4.1. Длины участков линии, км:

$l_{ИП-1} = 3,0$; $l_{1-2} = 1,5$; $l_{1-3} = 5,0$; $l_{3-4} = 3,5$; $l_{3-5} = 2,0$.

Таблица 4.1.

Показатели работы	Потребители				
	П1	П2	П3	П4	П5
Расчетная нагрузка P_{Pi} , кВт	200	150	100	50	160
Число часов использования максимума T_{Hoi} , ч	3000	3200	2800	3200	4000
Число часов работы T^* , ч	8760	8760	8760	8760	8760

Показатели надежности линии:

$$\lambda_{Л}^0 = 0,25 \text{ год}^{-1}/\text{км}; \quad T_B = 6 \text{ ч}; \quad \nu_{Л}^0 = 0,25 \text{ год}^{-1}/\text{км};$$

$$\xi = 0,33 ;$$

$$T_{ОЛ} = 5,8 \text{ ч}; \quad \nu = 2,5 \text{ км/ч}; \quad T_{ВО} = 1 \text{ ч}.$$

Решение.

Находим средние нагрузки потребителей

$$P_i = P_{Pi} \cdot T_{Hoi} / T^*; \quad P_1 = 200 \cdot 3000 \cdot 8760^{-1} = 68,5 \text{ кВт};$$

$$P_2 = 54,8 \text{ кВт};$$

$$P_3 = 32,0 \text{ кВт}; \quad P_4 = 18,3 \text{ кВт};$$

$$P_5 = 73,1 \text{ кВт}.$$

Определяем показатели надежности электроснабжения

$$\lambda_C = \lambda_{Л}^0 \sum_{i=1}^5 l_i = \lambda_{Л}^0 l_{\Sigma} = 0,25(3,0 + 1,5 + 5,0 + 3,5 + 2,0) = 3,75 \text{ год}^{-1}$$

$$\nu_C = \nu_{Л}^0 l_{\Sigma} = 3,75 \text{ год}^{-1}; \quad T_{ПМ} = 0,5 l_{\Sigma} \nu_x^{-1} = 3,0 \text{ ч};$$

$$T_{ОС} = T_{ОЛ} = 5,8 \text{ ч};$$

$$T_{ВС} = T_{ВО} + T_{ПМ} + T_B = 10,0 \text{ ч};$$

$$\Theta_{\text{э}} = \lambda_C T_{ВС} + \xi \cdot \nu_C \cdot T_{ОС} = 44,7 \text{ ч/год};$$

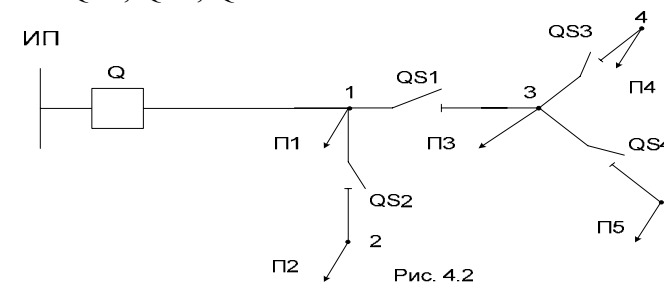
$$W = \Theta_{\text{э}} \sum_{i=1}^5 P_i = 44,7 \cdot 246,7 = 11027,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год}.$$

Пример 4.2.

Определить показатели надежности электроснабжения потребителей, присоединенных к ВЛ 10 кВ (рис.4.2). На линии устанавливаются линейные разъединители. Показатели надежности рассчитать для двух случаев:

1. На линии установлен один разъединитель QS1 в точке 1 в сторону точки 3.

2. На линии установлены четыре разъединителя QS1, QS2, QS3, QS4.



Исходные данные приведены в примере 4.1. Кроме того, известны $\nu_a = 20 \text{ км/ч}$; $t_{ОП} = 0,15 \text{ ч}$; $k_P = 1,3$.

Решение.

Рассмотрим первый случай. Время восстановления для потребителей П1, П2 при повреждении участков ИП-1 и 1-2, расположенных до QS1, согласно (4.12) будет

$$T_{В,ИП-1-2}^{(1,2)} = T_{ВО} + T_{ПВ} + T_{ПМ}^{(1,2)} + T_B,$$

где $T_{ВО} = 1 \text{ ч}$; $T_B = 6 \text{ ч}$; а согласно (4.19) и (4.9)

$$T_{ПВ} = 2(l_{ИП-1} k_P \nu_a^{-1} + t_{ОП}) = 0,7 \text{ ч}$$

$$T_{ПМ}^{(1,2)} = 0,5(l_{ИП-1} + l_{1-2}) \nu_x^{-1} = 0,9 \text{ ч}.$$

Следовательно,

$$T_{В,ИП-1-2}^{(1,2)} = 1,0 + 0,7 + 0,9 + 6,0 = 8,6 \text{ ч}$$

Время восстановления потребителей П1 и П2, расположенных за разъединителем QS1, согласно (4.13)

$$T_{В,ИП-1-2}^{(1,2)} = T_{ВО} + T_{ПВ} = 1,7 \text{ ч}.$$

Эквивалентную продолжительность отключения потребителей П1 и П2 определяем, используя формулу (4.6):

$$\Theta_3^{(1,2)} = \sum_{i=1}^5 \lambda_i T_{Bi} + \sum_{i=1}^5 \xi_i T_{Oi} = \lambda_{\text{Л}}^0 [(l_{\text{ИПН}} + l_{1-2}) T_{B, \text{ИПН-2}}^{(1,2)} + (l_{1-3} + l_{3-4} + l_{3-5}) T_{B, 1-3-4-5}^{(1,2)}] + \xi \nu_{\text{Л}}^0 T_{\text{ОЛ}} (l_{\text{ИПН}} + l_{1-2}) = 0,25 [3+1,5] 8,6 + (5+3,5+2) 1,7 + 0,33 \cdot 0,25 \cdot 5,8 (3+1,5) = 1634 / \text{год}$$

По (4.5) находим ожидаемый недоотпуск электроэнергии 1-му и 2-му потребителям:

$$W_1 = P_1 \Theta_3^{(1,2)} \approx 1117 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год}$$

$$W_2 = P_2 \Theta_3^{(1,2)} \approx 893 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год}$$

Перейдем к рассмотрению показателей надежности потребителей П3, П4, П5, расположенных за QS1. Повреждения всех участков приводят к их обесточиванию на время ремонта. Величины $T_{BO}, T_{ПВ}, T_B$ здесь те же, что и для потребителей П1, П2, а среднее время поиска места повреждения возрастает:

$$T_{\text{ПМ}}^{(3,4,5)} = 0,5(l_{1-3} + l_{3-4} + l_{3-5}) \nu_x^{-1} = 2,1 \text{ ч.}$$

При этом время восстановления для потребителей П3, П4, П5 составит

$$T_{B, 1-3-4-5}^{(3,4,5)} = 1,0 + 0,7 + 2,1 + 6,0 = 9,8 \text{ ч.}$$

Эквивалентная продолжительность простоя П3, П4, П5 будет

$$\Theta_3^{(3,4,5)} = \lambda_{\text{Л}}^0 [(l_{\text{ИП-1}} + l_{1-2}) T_{B, \text{ИП-1-2}}^{(3,4,5)} + (l_{1-3} + l_{3-4} + l_{3-5}) T_{B, 1-3-4-5}^{(3,4,5)}] + \xi \nu_{\text{Л}}^0 T_{\text{ОЛ}} l_{\Sigma} = 42,6 \text{ ч/год.}$$

Ожидаемый недоотпуск энергии потребителям П3, П4, П5:

$$W_3 = P_3 \Theta_3^{(3,4,5)} \approx 1363 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год};$$

$$W_4 = P_4 \Theta_3^{(3,4,5)} \approx 780 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год};$$

$$W_5 = P_5 \Theta_3^{(3,4,5)} \approx 3114 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год}.$$

Суммарный недоотпуск энергии для случая, когда установлен один линейный разъединитель QS1, составит

$$W = \sum_{i=1}^5 W_i = 7267 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}.$$

Рассмотрим второй случай, когда на линии установлены четыре разъединителя QS1, QS2, QS3, QS4. Порядок выполнения расчетов рассмотрен на примере повреждения участка 1-3. Схема замещения приведена на рис. 4.5.

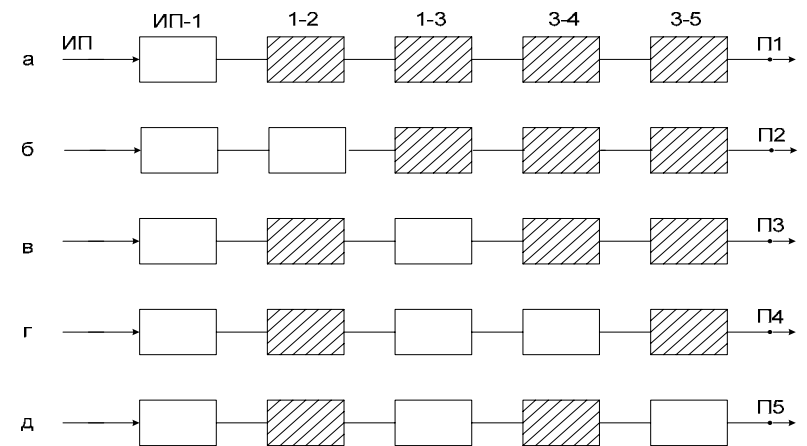


Рис. 4.5.

Потребители П1, П2 будут обесточены на время:

$$T_{B, 1-3}^{(1,2)} = T_{BO} + T_{ПВ},$$

где $T_{BO} = 1$ час,
 $T_{ПУ} = 2(l_{ИП1} k_P v_a^{-1} + t_{ОП}) + 4(l_{ИП1-2} k_P v_a^{-1} + t_{ОП}) = 0,7 + 4(8,0 \cdot 1,3 \cdot 20^{-1} + 0,15) = 3,4$
 ч.

Следовательно,

$$T_{B,1-3}^{(1,2)} = 1 + 3,4 = 4,4 \text{ ч.}$$

Потребители ПЗ, П4 и П5 будут обесточены на время:

$$T_{B,1-3}^{(3,4,5)} = T_{BO} + T_{ПУ} + T_{ПМ}^{(3,4,5)} + T_B,$$

$$\text{где } T_{ПМ}^{(3,4,5)} = l_{ИП-1} k_P v_a^{-1} + 0,5 l_{ИП-1-3} k_P v_x^{-1} = 1,2 \text{ ч.}$$

Следовательно,

$$T_{B,1-3}^{(3,4,5)} = 1 + 3,4 + 1,2 + 6,0 = 11,6 \text{ ч.}$$

Далее по формулам (4.6) и (4.11) определяются эквивалентные продолжительности простоя и суммарный недоотпуск электроэнергии потребителям.

Из сравнения примеров 4.1 и 4.2 можно увидеть, как влияет наличие КА на надежность электроснабжения потребителей. Недоотпуск электроэнергии в схеме с одним разъединителем меньше, чем в схеме без разъединителя.

Пример 4.3.

Определить показатели надежности для потребителей на шинах 10 кВ ТП и для схемы в целом (рис. 4.6). Нагрузки потребителей приведены в табл. 4.1.

Длины участков КЛ: $l_{ИП-1} = 0,7$ км; $l_{1-2} = 0,25$ км; $l_{2-3} = 0,3$ км; $l_{3-4} = 0,35$ км; $l_{4-5} = 0,4$ км; $l_{5-ИП1} = 0,9$ км.

Составляющие времени восстановления: $T_{BO} = 0,6$ ч; $T' = 0,4$ ч; $T'' = 0,2$ ч.

Показатели надежности шин 10 кВ в данном случае не учитываются.

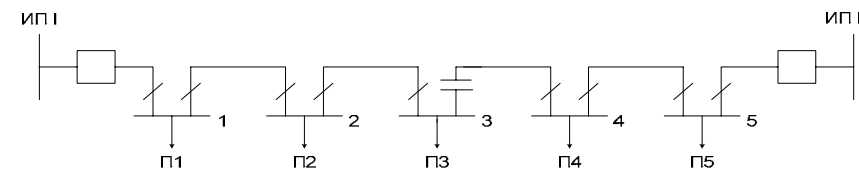


Рис. 8.2.

Решение.

Для полуцепочки (П1, П2, П3) имеем

$$T_B^{(1,2,3)} = T_{BO} + T' + nT'' = 0,6 + 0,4 + 3 \cdot 0,2 = 1,6 \text{ ч.}$$

Для второй полуцепочки (П4, П5) получаем

$$T_B^{(4,5)} = 0,6 + 0,4 + 2 \cdot 0,2 = 1,4 \text{ ч.}$$

Так как имеется резервирование, коэффициент ξ , характеризующий тяжесть последствий от преднамеренных отключений, принимается равным нулю. Тогда в соответствии с (4.6) эквивалентная продолжительность простоя потребителей П1, П2, П3 определяется как

$$Q_{Э1} = Q_{Э2} = Q_{Э3} = \lambda_{Л}^0 (l_{ИП1} + l_{1-2} + l_{2-3}) T_B^{(1,2,3)} = 0,25(0,7 + 0,25 + 0,3) 1,6 = 0,58 \text{ ч;}$$

а потребителей П4, П5 как

$$Q_{Э4} = Q_{Э5} = \lambda_{Л}^0 (l_{3-4} + l_{4-5} + l_{5-ИП1}) T_B^{(4,5)} = 0,25(0,35 + 0,4 + 0,9) 1,4 = 0,58 \text{ ч.}$$

Средние нагрузки потребителей были определены в примере 4.1:

$P_1 = 68,5 \text{ кВт}; P_2 = 58,4 \text{ кВт}; P_3 = 32,0 \text{ кВт}; P_4 = 18,3 \text{ кВт}; P_5 = 73,1 \text{ кВт}.$

Согласно (4.5) рассчитываем ожидаемые недоотпуски электроэнергии:

$$W_1 = 68,5 \cdot 0,5 = 34,25 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год};$$

$$W_3 = 32,0 \cdot 0,5 = 16,0 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год};$$

$$W_5 = 73,1 \cdot 0,58 = 42,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год};$$

$$W_2 = 58,4 \cdot 0,5 = 27,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год};$$

$$W_4 = 18,3 \cdot 0,58 = 10,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год};$$

$$W = \sum_{i=1}^5 W_i = 130,65 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год}.$$

ЗАДАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Номер контрольного задания определяется согласно номеру зачетной книжки по последним двум цифрам. Контрольная работа включает в себя два теоретических вопроса и задачу. Контрольную работу необходимо выполнять в тетради, аккуратным подчерком.

ЗАДАНИЕ 1

1. Определение надежности в энергетике.
2. Синтез оптимальной схемы для систем электроснабжения собственных нужд электростанций.

ЗАДАЧА

Завод получает электроэнергию от одного источника питания – районной подстанции системы (рис. П 1).

Параметры потоков отказов (λ_0) и преднамеренных отключений (ν) элементов системы электроснабжения, средние времена вос-

становления (T_B) и длительность преднамеренных отключений (T_o) приведены в табл. П 1.

Определить параметр потока отказов системы электроснабжения, среднее время восстановления, а также недоотпуск электроэнергии за год, считая, что средняя годовая мощность завода P равна 3 МВт.

При расчете принять, что преднамеренные отключения последовательно включенных элементов цепей совмещаются по времени. Надежность источников питания не учитывать.

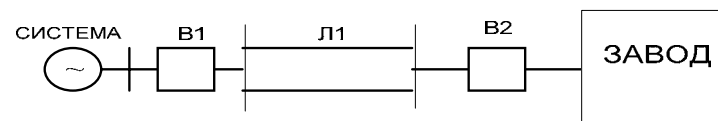


Рис. П 1. Схема электроснабжения завода.

Таблица П 1.

Элемент	В1	Л1	В2
$\lambda_0, 1/\text{км год}$ 1/год	0,098	0,021	0,045
$l, \text{км}$		18	
$T_B, \text{ч}$	15	30	15
$\nu, 1/\text{год}$	0,3	0,2	0,3
$T_o, \text{ч}$	50	40	50

ЗАДАНИЕ 2

1. Основные понятия надежности.
2. анализ надежности и выбор схемы ОРУ - 220 кВ при проектировании.

ЗАДАЧА.

Завод получает электроэнергию от трех источников питания – ГРЭС и двух районных подстанций системы (рис. П 2). Каждая цепь может пропустить всю необходимую заводу мощность.

Параметры потоков отказов (λ_0) и преднамеренных отключений (ν) элементов системы электроснабжения, средние времена восстановления (T_B) и длительность преднамеренных отключений (T_o) приведены в табл.П 2.

Определить параметр потока отказов системы электроснабжения, среднее время восстановления, а также недоотпуск электроэнергии за год, считая, что средняя годовая мощность завода P равна 40 МВт.

При расчете принять, что преднамеренные отключения последовательно включенных элементов цепей совмещаются по времени. Надежность источников питания не учитывать.

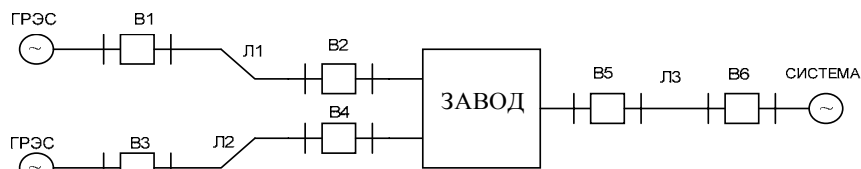


Рис. П 2. Схема электроснабжения завода.

Таблица П 2

T_o , ч	60	50	60	80	20	80	70	40	70
Элемент	В1	Л1	В2	В3	Л2	В4	В5	Л3	В6
λ_0 , 1/км год 1/год	0,099	0,023	0,048	0,137	0,019	0,133	0,055	0,021	0,055
l , км		100			50			50	
T_B , ч	10	20	10	15	30	15	20	40	20
ν , 1/год	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4

ЗАДАНИЕ 3

1. Мера надежности. Показатели надежности.
2. Экспертно-факторный анализ надежности схем районных подстанций.

ЗАДАЧА.

Завод получает электроэнергию от двух источников питания – двух районных подстанций системы (рис. П 3). Каждая цепь может пропустить всю необходимую заводу мощность.

Параметры потоков отказов (λ_0) и преднамеренных отключений (ν) элементов системы электроснабжения, средние времена восстановления (T_B) и длительность преднамеренных отключений (T_o) приведены в табл. П 3.

Определить параметр потока отказов системы электроснабжения, среднее время восстановления, а также недоотпуск электроэнергии за год, считая, что средняя годовая мощность завода P равна 20 МВт.

При расчете принять, что преднамеренные отключения последовательно включенных элементов цепей совмещаются по времени. Надежность источников питания не учитывать.

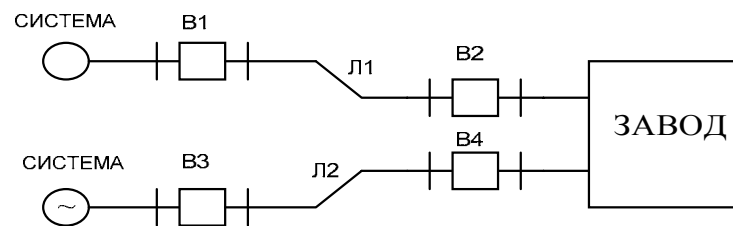


Рис. П 3. Схема электроснабжения завода.

Таблица П 3.

Элемент	В1	Л1	В2	В3	Л2	В4
λ_0 , 1/км год 1/год	0,096	0,022	0,044	0,133	0,019	0,133
l , км		50			50	
T_B , ч	10	20	10	15	30	15
ν , 1/год	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2
T_o , ч	70	60	70	50	20	50

ЗАДАНИЕ 4

1. Сбор и обработка статистической информации об отказах и авариях.
2. Роль человеческого фактора в обеспечении надежности электроэнергетических установок и систем.

ЗАДАЧА.

Завод получает электроэнергию от двух источников питания – двух районных подстанций системы (рис. П 4). Каждая цепь может пропустить всю необходимую заводу мощность.

Параметры потоков отказов (λ_0) и преднамеренных отключений (ν) элементов системы электроснабжения, средние времена восстановления (T_B) и длительность преднамеренных отключений (T_o) приведены в табл.П 4.

Определить параметр потока отказов системы электроснабжения, среднее время восстановления, а также недоотпуск электроэнергии за год, считая, что средняя годовая мощность завода P равна 35 МВт.

При расчете принять, что преднамеренные отключения последовательно включенных элементов цепей совмещаются по времени. Надежность источников питания не учитывать.

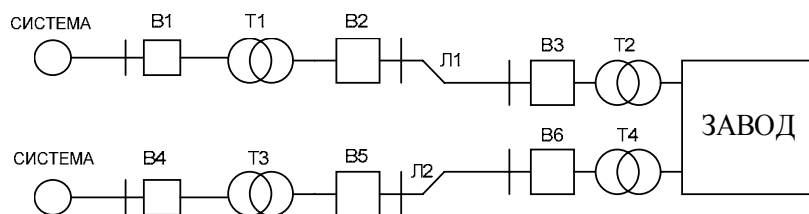


Рис. П 4. Схема электроснабжения завода.

Таблица П 4.

Элемент	В1, В2, В3	Л1	Т1, Т2	В4, В5, В6	Л2	Т3, Т4
λ_0 , 1/км год	0,083	0,017	0,05	0,089	0,021	0,06
ν , 1/год	0,2	0,1	0,3	0,3	0,2	0,4
T_B , ч	20	40	60	30	50	70
T_o , ч	50	40	30	60	40	40

ЗАДАНИЕ 5

1. Профилактическое обслуживание электрооборудования.
2. Погрешность оценки показателей надежности и зона неопределенности критериев.
3. ЗАДАЧА.

Завод получает электроэнергию от двух источников питания – двух районных подстанций системы (рис. П 5). Каждая цепь может пропустить всю необходимую заводу мощность.

Параметры потоков отказов (λ_0) и преднамеренных отключений (ν) элементов системы электроснабжения, средние времена восстановления (T_B) и длительность преднамеренных отключений (T_o) приведены в табл.П 5.

Определить параметр потока отказов системы электроснабжения, среднее время восстановления, а также недоотпуск электроэнергии за год, считая, что средняя годовая мощность завода P равна 40 МВт.

При расчете принять, что преднамеренные отключения последовательно включенных элементов цепей совмещаются по времени. Надежность источников питания не учитывать.

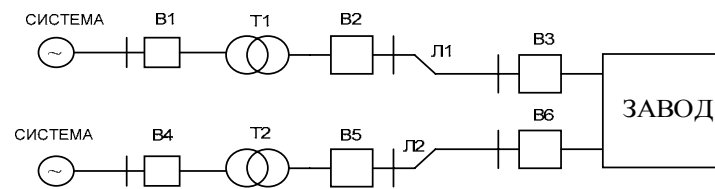


Рис. П 5. Схема электроснабжения завода.

Таблица П 5.

Элемент	В1, В2, В3	Т1	Л1	В4, В5, В6	Т2	Л2
λ_0 , 1/км год	0,082	0,055	0,020	0,075	0,060	0,022
ν , 1/год	0,25	0,15	0,35	0,30	0,25	0,35
T_B , ч	30	60	50	30	70	50
T_o , ч	40	30	50	40	30	60

ЗАДАНИЕ 6

1. Статистическая оценка показателей надежности.
2. прогнозирование надежности и стратегия профилактического обслуживания высоковольтных выключателей.
3. ЗАДАЧА.

Завод получает электроэнергию от двух источников питания – двух районных подстанций системы (рис. П 6). Каждая цепь может пропустить всю необходимую заводу мощность.

Параметры потоков отказов (λ_0) и преднамеренных отключений (ν) элементов системы электроснабжения, средние времена восстановления (T_B) и длительность преднамеренных отключений (T_o) приведены в табл.П 6.

Определить параметр потока отказов системы электроснабжения, среднее время восстановления, а также недоотпуск электроэнергии за год, считая, что средняя годовая мощность завода P равна 15 МВт.

При расчете принять, что преднамеренные отключения последовательно включенных элементов цепей совмещаются по времени. Надежность источников питания не учитывать.

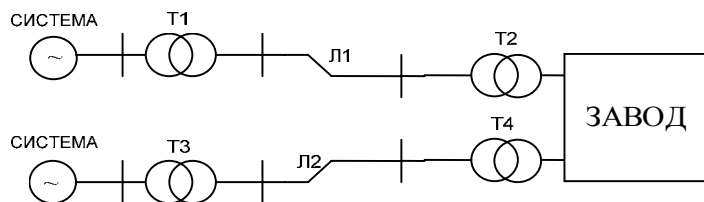


Рис. П 6. Схема электроснабжения завода.

Таблица П 6.

Элемент	T1	T2	Л1	T3	T4	Л2
λ_0 , 1/км год	0,055	0,066	0,022	0,055	0,065	0,021
ν , 1/год	0,20	0,22	0,33	0,15	0,20	0,35
T_B , ч	60	50	40	50	40	30
T_o , ч	60	70	40	50	60	30

ЗАДАНИЕ 7

1. Методы статистического анализа надежности.
2. Погрешность оценки показателей надежности и зона неопределенности критериев.
3. ЗАДАЧА.

Завод получает электроэнергию от одного источника питания – районной подстанции системы (рис. П 7).

Параметры потоков отказов (λ_0) и преднамеренных отключений (ν) элементов системы электроснабжения, средние времена восстановления (T_B) и длительность преднамеренных отключений (T_o) приведены в табл.П 7.

Определить параметр потока отказов системы электроснабжения, среднее время восстановления, а также недоотпуск электроэнергии за год, считая, что средняя годовая мощность завода P равна 2 МВт.

При расчете принять, что преднамеренные отключения последовательно включенных элементов цепей совмещаются по времени. Надежность источников питания не учитывать.



Рис. П 7. Схема электроснабжения завода.

Таблица П 7.

Элемент	В1, В2	T1	Л1	В3, В4	T2
λ_0 , 1/км год	0,095	0,068	0,015	0,091	0,0
ν , 1/год	0,21	0,25	0,30	0,20	0,18
T_B , ч	40	50	40	30	60
T_o , ч	40	30	50	50	40

ЗАДАНИЕ 8

1. Анализ причин отказов.
2. повышение надежности распределительных устройств с обходной системой шин.
3. ЗАДАЧА.

Завод получает электроэнергию от одного источника питания – районной подстанции системы (рис. П 8).

Параметры потоков отказов (λ_0) и преднамеренных отключений (ν) элементов системы электроснабжения, средние времена восстановления (T_B) и длительность преднамеренных отключений (T_0) приведены в табл.П 8.

Определить параметр потока отказов системы электроснабжения, среднее время восстановления, а также недоотпуск электроэнергии за год, считая, что средняя годовая мощность завода P равна 1,5 МВт.

При расчете принять, что преднамеренные отключения последовательно включенных элементов цепей совмещаются по времени. Надежность источников питания не учитывать.

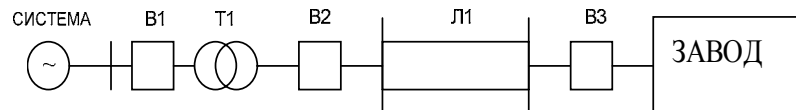


Рис. П 8. Схема электроснабжения завода.

Таблица П 8.

Элемент	В1	Т1	В2	Л1	В3
λ_0 , 1/км год	0,096	0,056	0,097	0,027	0,094
ν , 1/год					
T_B , ч	40	60	40	38	50
T_0 , ч	40	60	40	50	40

ЗАДАНИЕ 9

1. Методы статистического контроля качества и надежности.
2. Задача проектирования и эксплуатации, требующие анализа надежности.
3. ЗАДАЧА

Завод получает электроэнергию от одного источника питания – районной подстанции системы (рис. П 9).

Параметры потоков отказов (λ_0) и преднамеренных отключений (ν) элементов системы электроснабжения, средние времена восстановления (T_B) и длительность преднамеренных отключений (T_0) приведены в табл.П 9.

Определить параметр потока отказов системы электроснабжения, среднее время восстановления, а также недоотпуск электроэнергии за год, считая, что средняя годовая мощность завода P равна 1,2 МВт.

При расчете принять, что преднамеренные отключения последовательно включенных элементов цепей совмещаются по времени. Надежность источников питания не учитывать.

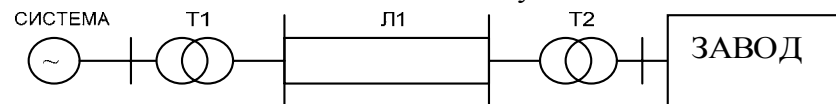


Рис. П 9. Схема электроснабжения завода.

Таблица П 9

Элемент	Т1	Л1	Т2
λ_0 , 1/км год	0,55	0,025	0,065
ν , 1/год			
T_B , ч	60	40	60
T_0 , ч	70	50	70

ЗАДАНИЕ 10

1. Аналитический расчет надежности на основе вероятностных моделей.
2. сравнительный анализ надежности упрощенных схем подстанций.

ЗАДАЧА.

Завод получает электроэнергию от трех источников питания – районных подстанций системы (рис. П 10).

Параметры потоков отказов (λ_0) и преднамеренных отключений (ν) элементов системы электроснабжения, средние времена восстановления (T_B) и длительность преднамеренных отключений (T_0) приведены в табл.П 10.

Определить параметр потока отказов системы электроснабжения, среднее время восстановления, а также недоотпуск электроэнергии за год, считая, что средняя годовая мощность завода P равна 50 МВт.

При расчете принять, что преднамеренные отключения последовательно включенных элементов цепей совмещаются по времени. Надежность источников питания не учитывать.

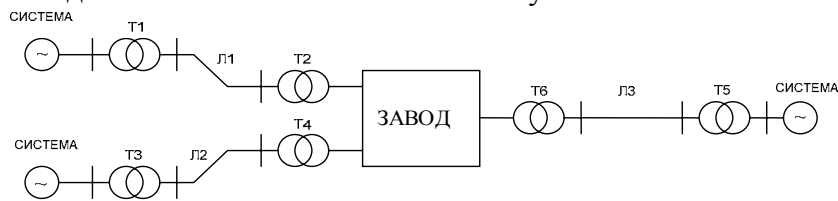


Рис. П 10. Схема электроснабжения завода.

Таблица П 10

Элемент	T1, T3	Л1, Л2	T2, T4	T5, T6	Л3
λ_0 , 1/км год	0,66	0,022	0,55	0,61	0,033
ν , 1/год					
l , км		130			110
T_B , ч	60	40	50	55	45
ν , 1/год	0,29	0,22	0,28	0,33	0,26
T_0 , ч	70	60	70	70	50

ЗАДАНИЕ 11

1. Логико-вероятностный расчет надежности с помощью дерева отказов.
2. Анализ влияния отказов устройств релейной защиты на надежность распределительной сети.

ЗАДАЧА.

Завод получает электроэнергию от трех источников питания – районных подстанций системы (рис. П 11).

Параметры потоков отказов (λ_0) и преднамеренных отключений (ν) элементов системы электроснабжения, средние времена восстановления (T_B) и длительность преднамеренных отключений (T_0) приведены в табл.П 11.

Определить параметр потока отказов системы электроснабжения, среднее время восстановления, а также недоотпуск электроэнергии за год, считая, что средняя годовая мощность завода P равна 55 МВт.

При расчете принять, что преднамеренные отключения последовательно включенных элементов цепей совмещаются по времени. Надежность источников питания не учитывать.

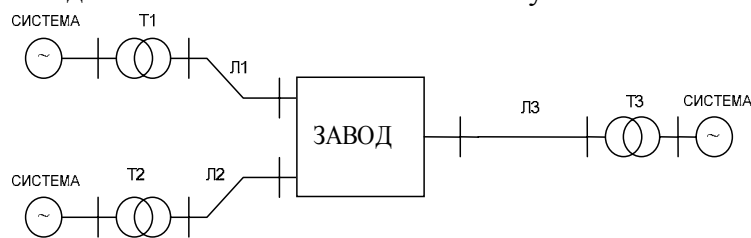


Рис. П 11. Схема электроснабжения завода.

Таблица П 11

Элемент	T1	Л1	T2	Л2	T3	Л3
λ_0 , 1/км год	0,5	0,021	0,6	0,025	0,7	0,031
ν , 1/год						
l , км		180		170		150
T_B , ч	60	40	65	45	55	50
ν , 1/год	0,31	0,25	0,33	0,24	0,33	0,23
T_0 , ч	66	50	68	50	71	56

ЗАДАНИЕ 12

1. Таблично-логический метод и анализ надежности главных схем электрических соединений.
2. Методы много-целевой оптимизации.

ЗАДАЧА.

Завод получает электроэнергию от трех источников питания – районных подстанций системы (рис. П 12).

Параметры потоков отказов (λ_0) и преднамеренных отключений (ν) элементов системы электроснабжения, средние времена восстановления (T_B) и длительность преднамеренных отключений (T_0) приведены в табл. П 12.

Определить параметр потока отказов системы электроснабжения, среднее время восстановления, а также недоотпуск электроэнергии за год, считая, что средняя годовая мощность завода P равна 46 МВт.

При расчете принять, что преднамеренные отключения последовательно включенных элементов цепей совмещаются по времени. Надежность источников питания не учитывать.

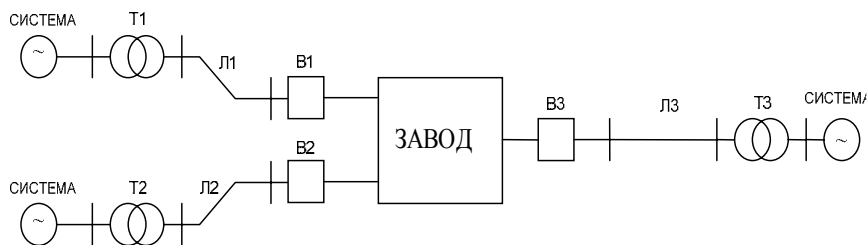


Рис. П 12. Схема электроснабжения завода.

Таблица П 12

Элемент	T1, T2	Л1, Л2	В1, В2	T3	Л3	В3
λ_0 , 1/км год; 1/год	0,71	0,022	0,038	0,72	0,018	0,035
l , км		150			180	
T_B , ч	60	30	10	60	30	15
ν , 1/год	0,33	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4
T_0 , ч	70	50	60	60	40	80

ЗАДАНИЕ 13

1. Алгоритм расчета надежности главных схем электрических соединений.
2. Основы оптимального профилактического обслуживания.
3. ЗАДАЧА.

Завод получает электроэнергию от одного источника питания – районной подстанции системы (рис. П 13).

Параметры потоков отказов (λ_0) и преднамеренных отключений (ν) элементов системы электроснабжения, средние времена восстановления (T_B) и длительность преднамеренных отключений (T_0) приведены в табл. П 13.

Определить параметр потока отказов системы электроснабжения, среднее время восстановления, а также недоотпуск электроэнергии за год, считая, что средняя годовая мощность завода P равна 1,4 МВт.

При расчете принять, что преднамеренные отключения последовательно включенных элементов цепей совмещаются по времени. Надежность источников питания не учитывать.

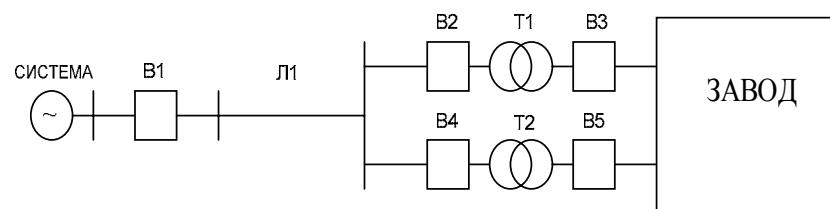


Рис. П 13. Схема электроснабжения завода.

Таблица П 13

Элемент	В1	Л1	В2, В3	T1	В4, В5	T2
λ_0 , 1/км год 1/год	0,044	0,022	0,026	0,55	0,021	0,62
l , км		80				
T_B , ч	15	30	20	60	15	60
ν , 1/год	0,4	0,3	0,4	0,35	0,4	0,33
T_0 , ч	40	50	45	60	40	60

ЗАДАНИЕ 14

1. Общие вопросы оптимизации технических решений с учетом надежности.
2. Анализ надежности электрической части станций.
3. ЗАДАЧА.

Завод получает электроэнергию от одного источника питания – районной подстанции системы (рис. П 14).

Параметры потоков отказов (λ_0) и преднамеренных отключений (ν) элементов системы электроснабжения, средние времена восстановления (T_B) и длительность преднамеренных отключений (T_o) приведены в табл.14.

Определить параметр потока отказов системы электроснабжения, среднее время восстановления, а также недоотпуск электроэнергии за год, считая, что средняя годовая мощность завода P равна 4,1 МВт.

При расчете принять, что преднамеренные отключения последовательно включенных элементов цепей совмещаются по времени. Надежность источников питания не учитывать.

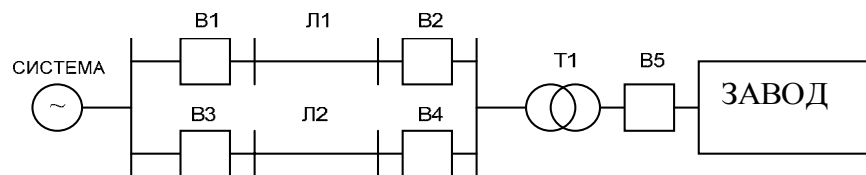


Рис. П 14. Схема электроснабжения завода.

Таблица П 14

Элемент	В1, В2	Л1	В3, В4	Л2	Т1	В5
λ_0 , 1/км год	0,055	0,025	0,045	0,025	0,52	0,019
ν , 1/год	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4
T_B , ч	15	35	17	30	50	10
T_o , ч	30	50	30	50	60	60

ЗАДАНИЕ 15

1. Непараметрические оценки надежности электроэнергетических установок.
2. Выбор схемы агрегата бесперебойного питания.
3. ЗАДАЧА.

Завод получает электроэнергию от двух источников питания – районных подстанций системы (рис. П 15).

Параметры потоков отказов (λ_0) и преднамеренных отключений (ν) элементов системы электроснабжения, средние времена восстановления (T_B) и длительность преднамеренных отключений (T_o) приведены в табл.15.

Определить параметр потока отказов системы электроснабжения, среднее время восстановления, а также недоотпуск электроэнергии за год, считая, что средняя годовая мощность завода P равна 35 МВт.

При расчете принять, что преднамеренные отключения последовательно включенных элементов цепей совмещаются по времени. Надежность источников питания не учитывать.

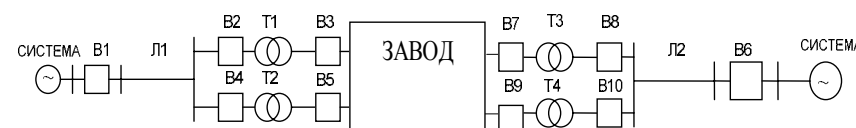


Рис. П 15. Схема электроснабжения завода.

Таблица П 15

Элемент	В1, В6	Л1	В2, В4, В7, В9	Т1, Т2	В3, В5, В8, В10	Л2
λ_0 , 1/км год	0,095	0,024	0,088	0,55	0,055	0,022
ν , 1/год	0,4	0,3	0,4	0,5	0,4	0,3
T_B , ч	15	40	10	60	10	30
T_o , ч	30	50	30	70	25	45

ЗАДАНИЕ 16

1. Анализ надежности подстанций распределительных сетей.
2. Методы расчета надежности электроэнергетических установок.
3. ЗАДАЧА.

Завод получает электроэнергию от двух источников питания – районных подстанций системы (рис. П 16).

Параметры потоков отказов (λ_0) и преднамеренных отключений (ν) элементов системы электроснабжения, средние времена восстановления (T_B) и длительность преднамеренных отключений (T_o) приведены в табл.П 16.

Определить параметр потока отказов системы электроснабжения, среднее время восстановления, а также недоотпуск электроэнергии за год, считая, что средняя годовая мощность завода P равна 44 МВт.

При расчете принять, что преднамеренные отключения последовательно включенных элементов цепей совмещаются по времени. Надежность источников питания не учитывать.

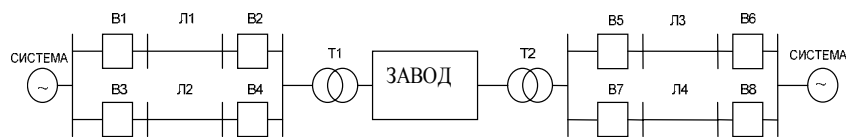


Рис. П 16. Схема электроснабжения завода.

Таблица П 16

Элемент	В1, В3, В5, В7	В2, В4, В6, В8	Т1	Т2	Л1, Л3	Л2, Л4
λ_0 , 1/км год	0,099	0,088	0,50	0,60	0,077	0,091
l , км					12	13
T_B , ч	10	10	50	50	40	44
ν , 1/год	0,44	0,45	0,55	0,55	0,42	0,43
T_o , ч	30	40	70	80	50	60

ЗАДАНИЕ 17

1. Показатели надежности. Условность и неопределенность оценки показателей надежности.
2. синтез оптимальной схемы 6 кВ для системы электроснабжения собственных нужд.
3. ЗАДАЧА.

Завод получает электроэнергию от одного источника питания – районной подстанции системы (рис. П 17).

Параметры потоков отказов (λ_0) и преднамеренных отключений (ν) элементов системы электроснабжения, средние времена восстановления (T_B) и длительность преднамеренных отключений (T_o) приведены в табл.17.

Определить параметр потока отказов системы электроснабжения, среднее время восстановления, а также недоотпуск электроэнергии за год, считая, что средняя годовая мощность завода P равна 8,8 МВт.

При расчете принять, что преднамеренные отключения последовательно включенных элементов цепей совмещаются по времени. Надежность источников питания не учитывать.

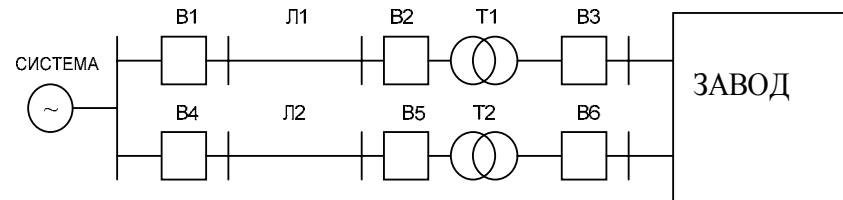


Рис. П 17. Схема электроснабжения завода.

Таблица П 17

Элемент	В1, В4	Л1	В2, В5	Т1, Т2	В3, В6	Л2
λ_0 , 1/км год	0,093	0,025	0,088	0,55	0,099	0,018
l , км		10				10
T_B , ч	15	30	15	40	10	40
ν , 1/год	0,4	0,3	0,4	0,5	0,4	0,33
T_o , ч	30	60	40	70	40	65

ЗАДАНИЕ 18

1. Непараметрические оценки надежности электроэнергетических установок.
2. Роль человеческого фактора в обеспечении надежности электроэнергетических установок.
3. ЗАДАЧА.

Завод получает электроэнергию от двух источников питания – районных подстанций системы (рис. П 18).

Параметры потоков отказов (λ_0) и преднамеренных отключений (ν) элементов системы электроснабжения, средние времена восстановления (T_B) и длительность преднамеренных отключений (T_0) приведены в табл. П 18.

Определить параметр потока отказов системы электроснабжения, среднее время восстановления, а также недоотпуск электроэнергии за год, считая, что средняя годовая мощность завода P равна 40 МВт.

При расчете принять, что преднамеренные отключения последовательно включенных элементов цепей совмещаются по времени. Надежность источников питания не учитывать.

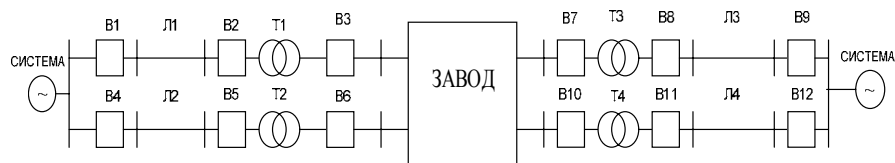


Рис. П 18. схема электроснабжения завода.

Таблица П 18

Элемент	В1, В2, В3, В10, В11, В12	Л1, Л4	Т1, Т4	В4, В5, В6, В7, В8, В9	Л2, Л3	Т2, Т3
λ_0 , 1/км год 1/год	0,094	0,022	0,55	0,066	0,017	0,65
l , км		7			8	
T_B , ч	16	30	40	15	20	50
ν , 1/год	0,44	0,35	0,41	0,43	0,48	0,42
T_0 , ч	30	50	40	23	44	55

ЗАДАНИЕ 19

1. Анализ и обеспечение надежности электроэнергетических установок и систем.
2. Методы многоцелевой оптимизации.
3. ЗАДАЧА.

Завод получает электроэнергию от двух источников питания – районных подстанций системы (рис. П 19).

Параметры потоков отказов (λ_0) и преднамеренных отключений (ν) элементов системы электроснабжения, средние времена восстановления (T_B) и длительность преднамеренных отключений (T_0) приведены в табл. П 19.

Определить параметр потока отказов системы электроснабжения, среднее время восстановления, а также недоотпуск электроэнергии за год, считая, что средняя годовая мощность завода P равна 55 МВт.

При расчете принять, что преднамеренные отключения последовательно включенных элементов цепей совмещаются по времени. Надежность источников питания не учитывать.

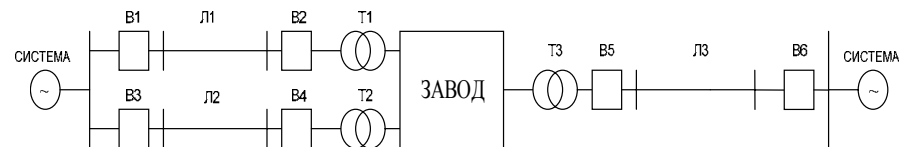


Рис. П 19. Схема электроснабжения завода.

Таблица П 19

Элемент	В1, В2, В3, В5	Л1, Л2	Т1, Т3	Т2	В4, В6	Л3
λ_0 , 1/км год 1/год	0,095	0,022	0,51	0,57	0,092	0,017
l , км		11				17
T_B , ч	10	30	40	50	15	40
ν , 1/год	0,44	0,33	0,89	0,88	0,42	0,33
T_0 , ч	40	50	60	70	30	40

ЗАДАНИЕ 20

1. Профилактическое обслуживание силовых трансформаторов.
2. Анализ причин отказов электроустановок.
3. ЗАДАЧА.

Завод получает электроэнергию от двух источников питания – районных подстанций системы (рис. П 20).

Параметры потоков отказов (λ_0) и преднамеренных отключений (ν) элементов системы электроснабжения, средние времена восстановления (T_B) и длительность преднамеренных отключений (T_o) приведены в табл. П 20.

Определить параметр потока отказов системы электроснабжения, среднее время восстановления, а также недоотпуск электроэнергии за год, считая, что средняя годовая мощность завода P равна 60 МВт.

При расчете принять, что преднамеренные отключения последовательно включенных элементов цепей совмещаются по времени. Надежность источников питания не учитывать.

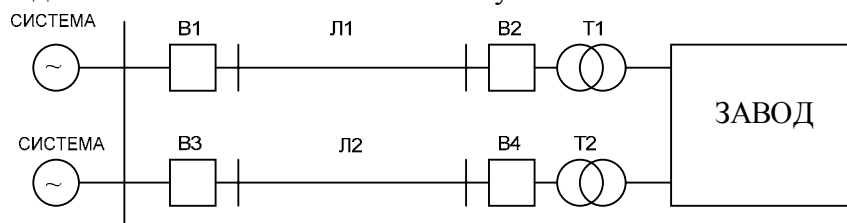


Рис. П 20. Схема электроснабжения завода.

Таблица П 20

Элемент	В1, В2	Л1	Т1	В3, В4	Л2	Т2
λ_0 , 1/км год	0,096	0,019	0,62	0,056	0,026	0,057
ν , 1/год	0,44	0,35	0,48	0,33	0,48	0,42
T_B , ч	12	35	45	10	50	40
T_o , ч	30	60	50	35	70	45

ВОПРОСЫ К ПЕРЕАТТЕСТАЦИИ

1. Общие понятия надежности.
2. Основные свойства, обеспечивающие надежность.
3. Состояние электрооборудования.
4. События и процессы, влияющие на надежность.
5. Причины и общая характеристика повреждений воздушных линий.
6. Причины и общая характеристика повреждений кабельных линий.
7. Причины и общая характеристика повреждений силовых трансформаторов.
8. Причины и общая характеристика повреждений электродвигателей.
9. Причины и общая характеристика повреждений коммутационной аппаратуры.
10. Причины и общая характеристика повреждений элементов релейной защиты и автоматики.
11. Классификация отказов электрооборудования.
12. Типы отказов.
13. Основные показатели надежности (вероятность безотказной работы, вероятность появления отказов, частота отказов, интенсивность отказов).
14. Показатели надежности восстанавливаемых элементов.
15. Надежность систем с последовательным соединением элементов.
16. Надежность систем с параллельным соединением элементов.
17. Резервирование. Виды резервирования.
18. Надежность систем при постоянном общем резервировании.
19. Надежность систем при постоянном раздельном резервировании.
20. Надежность систем со смешанным соединением элементов.
21. Учет преднамеренных отключений.

22. Преднамеренные отключения при последовательном соединении элементов.
23. Преднамеренные отключения при параллельном соединении элементов.
24. Показатели надежности систем электроснабжения.
25. Определение показателей надежности коммутационных аппаратов.
26. Определение показателей надежности линий с коммутационными аппаратами.
27. Определение показателей надежности воздушных линий с глухим присоединением элементов.
28. Определение показателей надежности потребителей, подключенных по кольцевой схеме.
29. Определение показателей надежности многократнорезервируемых линий.
30. Влияний показателей качества напряжения и частоты на работу потребителей.
31. Классификация потребителей по степени последствия отказов системы электроснабжения.
32. Группы потребителей, в зависимости от требований, предъявляемых к системам электроснабжения.
33. Определение ущерба от нарушения электроснабжения.
34. Выбор схем систем электроснабжения потребителей в зависимости от удельного ущерба.
35. Эксплуатационная информация о надежности.
36. Показатели надежности электрических сетей и оборудования подстанции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анищенко В.А. Надежность систем электроснабжения: Учеб. Пособие/ В.А. Анищенко. –Мн.: «Технопринт», 2001.
2. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1990
3. Гук Ю.Б. анализ надежности электроэнергетических установок, -Л.: Энергоатомиздат, 1998
4. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию . Т.1. Электроснабжение. Под общей редакцией А. А. Федорова. –М.: Энергоатомиздат, 1986
5. правила устройства электроустановок. –М.: Изд-во КНО-РУС, 2009.
6. Михайлов В.В. Надежность электроснабжения промышленных предприятий. –М.: Энергоатомиздат, 1982.
7. Ермилов А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий, -М.: Энергоатомиздат, 1983.

Содержание

Раздел 1. Количественные характеристики основных показателей надежности	
Свойства надежности.....	3
Количественные характеристики основных показателей надежности.....	4
Изменение интенсивности отказов во времени	6
Расчетные формулы для экспоненциального закона надежности.....	6
Раздел 2. Показатели надежности восстанавливаемых объектов	8
Раздел 3. Расчет показателей надежности схем электроснабжения	13
Расчет показателей надежности электроустановок.....	16
Раздел 4. Надежность нерезервируемых сетей систем электроснабжения.....	20
Показатели надежности систем электроснабжения.....	20
Надежность сетей с линиями без коммутационных аппаратов.....	22
Задания для выполнения контрольных работ.....	31
Список литературы.....	52
Содержание.....	53