|  |  |
| --- | --- |
| **Описание: 15** | Негосударственное образовательное учреждение  высшего образования  Московский технологический институт |

Факультет Техники и современных технологий Кафедра Энергетики

Уровень образования Бакалавриат

Направление Электроэнергетика и электротехника

Профиль \_электрооборудование и хозяйство предприятий организаций и учреждений

ИНС \_\_\_\_\_\_\_

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

по дисциплине

Надежность систем энергообеспечения предприятий

**на тему:**

**«Расчет и анализ надежности системы восстанавливаемых объектов энергообеспечения предприятия»**

Выполнил (а):

Студент \_\_\_ курса

Форма обучения

ПРОВЕРИЛ:

Руководитель

Москва 2019

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

Введение………………………………………………………………….……….3

1 Основы обеспечение надежности систем электроснабжения предприятий……………………………………………………………………….4

2 Анализ надежности системы восстанавливаемых объектов энергообеспечения предприятия………………………………………………..17

3 Оценка экономического ущерба от перерывов электроснабжения предприятия……………………………………………………………………...27

Заключение…………………………………………………………...…..............32

Список использованной литературы…………………………………………...33

**Введение**

Обеспечение надежности является очень важной проблемой при создании и эксплуатации любой технической системы. Особенно актуальна она для очень сложных систем, таких как системы электроснабжения, состоящих из большенства числа элементов и имеющих обширные внутренние и внешние связи.

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 железнодорожного транспорта. Анализ и обеспечение работоспособного состояния систем электроснабжения на этапах проектирования и эксплуатации – сложная задача, для решения которой используется математический аппарат теории надежности.

**1 Основы обеспечение надежности систем электроснабжения предприятий**

Надежность – понятие старое, но область знаний новая. На протяжении веков вещи и люди назывались надежными, если они соответствовали некоторым ожиданиям, и ненадежными в противном случае.

Перерывы электроснабжения приводят к простою производства, снижению объема выпуска продукции, увеличению затрат из-за порчи основного технологического оборудования и т. п. Следует учитывать, что существуют технологические процессы, не допускающие даже кратковременного перерыва электроснабжения.

Перерывы электроснабжения приводят к простою производства, снижению объема выпуска продукции, увеличению затрат из-за порчи основного технологического оборудования и т. п. Следует учитывать, что существуют технологические процессы, не допускающие даже кратковременного перерыва электроснабжения.

В производственных системах, в том числе электроэнергетике, необходимо иметь численные меры надежности. Под надежностью понимают вероятность того, что устройство или система будут в полном объеме выполнять свои функции в течение заданного промежутка времени или при заданных условиях работы. Надежность определяется через математическое понятие вероятности.

К ним относятся некоторые производства нефтеперерабатывающей, химической и других отраслей промышленности, крупные вычислительные центры и т.д. В связи с этим возникает необходимость в определении способности систем электроснабжения обеспечить бесперебойность подачи электроэнергии при определенных затратах на строительство и эксплуатацию (ремонт и обслуживание). Эти затраты могут быть сопоставлены с материальным убытком, вызываемым перерывами в подаче электроэнергии.

Самым ненадежным элементом СЭС являются линии электропередачи (ЛЭП) из-за их большой протяженности и влияния на них большого числа различных внешних воздействий. В городских сетях около 85 % отключений приходятся на долю ЛЭП, а в сельских сетях – 90-95 % Отказом линии электропередачи называется всякое вынужденное отключение при ее повреждениях.

Наряду с задачами анализа надежности действующего оборудования теория надежности решает задачи синтеза, т.е. позволяет принимать обоснованные решения о выборе способов повышения надежности бесперебойного электроснабжения за счет резервирования различных элементов системы электроснабжения, совершенствования организации технического обслуживания и других мероприятий.

Электрическое оборудование промышленных предприятий в процессе эксплуатации оказывается под воздействием разнообразных факторов: повышенной влажности, агрессивных сред, пыли, неблагоприятных атмосферных явлений, а также механических и электрических нагрузок. При этом изменяются основные свойства материалов электроустановок, что приводит к возникновению коротких замыканий, вызывающих отключение электроустановок или электрических сетей, т.е. к перерывам в подаче электрической энергии.

Воздушные линии электропередачи

Различают устойчивые повреждения воздушных линий (опоры, провода, изоляторы) и неустойчивые (самовосстанавливающиеся.) Последние ликвидируются путем успешного действия устройств автоматического повторного включения (АПВ) или ручного включения.

Основными причинами повреждения воздушных линий (ВЛ) являются:

• грозовые перекрытия изоляции;

• гололедно-изморозевые отложения;

• ветровые нагрузки;

• вибрация и пляска проводов;

• возгорание деревянных опор;

• ослабление прочности деталей опор;

• повреждение опор и проводов автотранспортом и др.

Внешние воздействия приводят к перекрытию изоляции, разрушению изоляторов, обрыву проводов, падению опор.

Повреждения ВЛ возможны и в нормальных условиях работы из-за:

• превышения фактических электрических нагрузок расчетных значений;

• дефектов, возникших при изготовлении опор, проводов, изоляторов;

• неправильного применения типов проводов, опор, изоляторов по природно-климатическим зонам;

• нарушения правил монтажа и сооружения ВЛ;

• недостатков эксплуатации (несоблюдения сроков и объемов проверок, текущих и капитальных ремонтов).

Кабельные линии электропередачи

Основной причиной повреждений кабельных линий (КЛ) является нарушение их механической прочности строительными машинами и механизмами при земляных работах. По этой причине в городских электросетях происходят 60-70 % всех повреждений КЛ. Другими причинами являются старение межфазной и поясной изоляции, электрическая и химическая коррозия покрытия, перегрузка кабеля, попадание влаги в кабель, нарушение изоляции грызунами.

Повреждаемость КЛ зависит от способа прокладки КЛ (в земле, блоках, трубах, тоннелях), разности горизонтальных уровней участка КЛ (при больших перепадах происходит стекание масла и осушение изоляции), агрессивности окружающей среды, величины блуждающих токов и наличия защиты от них, интенсивности ведения строительных работ в зоне прокладки КЛ, срока эксплуатации, режима работы.

Электрические пробои чаще происходят не на целом кабеле, а в местах установки соединительных муфт, на концевых воронках, вертикальных участках кабеля.

Силовые трансформаторы

Этот вид оборудования повреждается значительно реже, чем линии электропередачи, однако его отказ ведет к более тяжким последствиям, и восстановление работоспособности требует длительного времени.

Ремонт трансформаторов больших габаритов производится на месте. Он требует, как правило, выемки керна трансформатора, применения подъемных механизмов и может длиться несколько суток.

Ремонт трансформаторов малых габаритов на напряжение 6-20 кВ производится централизованно в мастерских предприятий электрических сетей.

Основные причины повреждения силовых трансформаторов:

• повреждение вводов, в основном при воздействии внешних перенапряжений в сети (перекрытие внешней или внутренней изоляции, механические повреждения, некачественные контактные соединения).

• повреждение изоляции обмоток трансформатора из-за дефектов конструкции и изготовления, а также из-за воздействия внешних перенапряжений в сети и токов короткого замыкания;

• повреждение переключателей (в основном регулируемых под нагрузкой), обусловленное конструктивными и технологическими дефектами;

Основные способы повышения надежности эксплуатации трансформаторов:

• соблюдение режимов работы трансформаторов, не допускающих значительной перегрузки в течение длительного времени;

• периодические осмотры и проверки в процессе эксплуатации с соблюдением требуемых сроков и объема испытаний;

• тщательная приемка в эксплуатацию с выполнением контрольных испытаний;

• установка в сети средств снижения мощности коротких замыканий (реакторов) и величины перенапряжений (разрядников).

Электрические двигатели

Наибольшая часть отказов электродвигателей происходит из-за повреждений обмоток статора, что чаще всего связано с межвитковыми и межфазными короткими замыканиями, обрывом фазы и замыканиями на корпус.

Состояние подшипников зависит от состояния их смазки, которая с течением времени теряет свои смазывающие свойства из-за постепенного возрастания вязкости.

Состояние подшипников зависит от состояния их смазки, которая с течением времени теряет свои смазывающие свойства из-за постепенного возрастания вязкости.

Для ротора характерными отказами являются выплавление алюминиевой обмотки; затир ротора и статора, происходящий из-за неточного совпадения осей ротора и статора, износа подшипников, одностороннего магнитного притяжения, недопустимого прогиба вала.

У подшипников имеют место усталостные повреждения из-за переменных циклических напряжений и бринелирование поверхностей качения в результате несоосности валов двигателя и редуктора, дисбаланса ротора, резких колебаний нагрузки двигателей, внешних ударных и вибрационных воздействий.

Коммутационные электрические аппараты

Основная причина повреждений коммутационных аппаратов – механические повреждения, связанные с несовершенством конструкции, нарушением технологии изготовления или правил эксплуатации. Среди них следует выделить дефекты контактных соединений, неполадки в электроприводе, повреждения из-за ошибочных действий персонала, а также отказы при выполнении операций включения из-за некачественной регулировки, настройки или вследствие обледенения.

Элементыцы повреждения коммутационных аппаратов вызываются перекрытием изоляции при внешних и внутренних перенапряжениях, пробоем внутрибаковой изоляции выключателей и пр.

Следует отметить большую повреждаемость линейных разъединителей 6-10 кВ из-за недостатков их конструктивного исполнения.

Отказы коммутационных аппаратов (автоматических выключателей, разъединителей, короткозамыкателей, отделителей) происходят при отключении коротких замыканий, выполнении ими различных операций, а также в стационарном состоянии.

Для короткозамыкателей причиной отказов могут быть также самопроизвольные включения, а для отделителей – отказы в бестоковую паузу.

К отказам предохранителей относятся их повреждения, а также неселективные и ложные срабатывания.

Отказами устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) являются:

• отказы в срабатывании при наличии требования (команды) на срабатывание;

• ложные срабатывания при отсутствии требования (команды) на срабатывание;

• срабатывания при несоответствии командного импульса, т.е неселективные срабатывания.

Причиной этих отказов являются повреждения элементов (резисторов, диодов, транзисторов, тиристоров, конденсаторов, реле), из которых состоят схемы РЗА.

Пайки, печатный монтаж из-за плохого их выполнения имеют до 95 % отказов типа "обрыв".

Для резисторов и полупроводниковых приборов характерен отказ типа "обрыв" (до 90 %), для конденсаторов – типа "короткое замыкание" (до 80 %).

Для маломощных реле характерны отказы из-за ложных срабатываний под действием вибрационных и ударных нагрузок.

Модели отказов в системах электроснабжения

Виды отказов

Различают два вида отказов:

• отказ в работоспособности объекта;

• отказ в электроснабжении, т.е. отказ функционирования.

При анализе надежности СЭС имеют в виду два процесса:

• изменение уровня функционирования,

• изменение уровня способности выполнять заданные функции в заданном объеме, т.е. изменение спроса электроэнергии потребителем.

Разделение отказов на полные и частичные отражает то, что СЭС и ее части являются объектами с изменяющимся уровнем эффективности функционирования. Например, при повреждении секционированной ЛЭП отключается только часть линии, что означает частичный отказ ЛЭП. Ограниченное и некачественное электроснабжение является типичным отказом функционирования СЭС в отличие от полного перерыва электроснабжения потребителя (полного отказа).

Основным источником отказов реле является контактная система, а причиной отказов – разрегулировка контактов, их сваривание, образование на их поверхности непроводящих пленок из-за коррозии, загрязнения, эрозии.

Возникновение отказа работоспособности объекта не всегда влечет за собой отказ в электроснабжении и, наоборот, отказ в электроснабжении потребителя не всегда вызывается отказом работоспособности объекта.

Классификация отказов

По продолжительности различают следующие отказы в электроснабжении:

• прекращение питания потребителей на время восстановления работоспособности отказавшего элемента СЭС (от 4 до 24 ч);

• прекращение питания потребителей на время, необходимое для включения резервного элемента вручную оперативно-выездными бригадами предприятий электрических сетей (от 1,5 до 6 ч);

• прекращение питания потребителей на время оперативных переключений выполняемых дежурным персоналом на подстанциях (несколько минут);

• кратковременные перерывы питания потребителей на время автоматического ввода резервного питания (АВР) или автоматического отключения поврежденного участка сети (несколько секунд).

С точки зрения информативности отказы бывают:

• внезапные, когда потребитель не получает никакой информации об отказе;

• плановые, о которых потребитель предупреждается заблаговременно.

• длительные перерывы в электроснабжении потребителей, вызываемые многочисленными повреждениями в СЭС, например гололедно-ветровыми разрушениями опор и проводов ЛЭП (на период до нескольких суток);

• внеплановые, сведения о которых поступают потребителю незадолго до момента отключения;

Критериями отказов являются их признаки (проявления), позволяющие установить факт нарушения работоспособного состояния. Они приводятся в нормативно-технической документации на объекты энергетики.

В зависимости от характеристики нарушения, степени повреждения и их последствий учитываются:

• потребительские отключения.

• отказы в работе 1 степени;

•отказы в работе II степени;

• аварии;

Аварии бывают станционные, электросетевые, теплосетевые, системные.

На предприятиях электрической сети аварией считается:

• нарушение нормальной работы электрической сети напряжением 6 кВ и выше, вызвавшее:

а) перерыв электроснабжения потребителей I категории при несоответствии схемы питания требованиям Правил устройств электроустановок (ПУЭ), т.е. не обеспеченным электроснабжением oт двух независимых источников питания, на срок более 2,5 ч, а для сельскохозяйственных потребителей – более 10 ч;

б) перерыв электроснабжения одного и более потребителей I категории, имеющих питание от двух независимых источников, на срок, превышающий время действия устройств АПВ или АВР;

в) перерыв электроснабжения одного и более потребителей III категории на срок более 24 ч;

г) перерыв электроснабжения одного и более потребителей II категории на срок более 2,5 ч; а для сельскохозяйственных потребителей II категории – более 10 ч;

д) недоотпуск электроэнергии потребителям в размере 20 тыс. кВт.ч и более независимо от длительности перерыва электроснабжения;

• разрушение силового трансформатора мощностью 10 МВА и более, если восстановление его невозможно или нецелесообразно;

• пожар на подстанции с высшим напряжением 110 кВ и выше, вызвавший ее обесточивание на срок 8 ч и более.

• повреждение ВЛ 110 кВ и выше, требующее восстановления в течение 24 ч, а также повреждение КЛ 110 кВ, требующее восстановления в течение 36 ч;

Системными авариями считаются:

• работы энергосистемы с частотой ниже 49,5 Гц длительностью более 1 ч;

• нарушение устойчивости работы энергосистемы и разделение ее на части, вызвавшее отключение потребителей на общую мощность более 5 % от нагрузки энергосистемы;

• многочисленные отключения или повреждения ЛЭП напряжением 6 кВ и выше из-за стихийного явления, приведшие к отключению потребителей на общую мощность более 10 % нагрузки энергосистемы.

Отказом в работе I степени являются:

• повреждение основного электрооборудования сетей, требующее восстановительного ремонта в установленные сроки;

• нарушение нормальной работы электрической сети, вызвавшее перерыв электроснабжения одного и более потребителей I категории при несоответствии схемы их питания требованиям ПУЭ либо одного и более потребителей II категории на срок от 0,5 до 2,5 ч, а для сельскохозяйственных потребителей – от 2 до 10 ч; одного и более потребителей III категории на срок от 8 до 24 ч; недоотпуск электроэнергии потребителям от 5 до 20 тыс. кВт.ч;

• повреждение ВЛ или КЛ 35 (110) кВ, требующее восстановительного ремонта в срок до 24 (36) ч.

К отказам в работе II степени относятся нарушения нормальной работы электрических сетей, в том числе:

• перерывы в электроснабжении потребителей, не являющиеся аварией 1 степени;

• недовыполнение диспетчерского графика электрической нагрузки или оперативного задания диспетчера;

• автоматическое отключение или ошибочное отключение оборудования персоналом;

• обесточивание участков электросети напряжением ниже 6 кВ.

• повреждение некоторых видов оборудования;

Под потребительским отключением понимают отключение оборудования из-за неправильных действий персонала потребителя.

Типы отказов

Как показывает практика, даже наилучшая конструкция, совершенная технология и правильная эксплуатация не исключают полностью отказы.

Различают три характерных типа отказов, присущих любым объектам.

I. Отказы приработанные, обусловленные дефектами проектирования, изготовления, монтажа. Они в основном устраняются путем "отбраковки" при испытании или наладке объекта. Доля этих отказов снижается по истечении периода приработки объекта.

II. Отказы внезапные (случайные), вызванные воздействием различных случайных факторов и характерные преимущественно для периода нормальной эксплуатации объекта. Особенностью таких отказов является невозможность их предсказания.

III. Отказы постепенные, происходящие в результате износа и старения объекта. Долговечность работы системы можно увеличить за счет периодической замены наиболее ненадежных составляющих элементов.

**2 Анализ надежности системы восстанавливаемых объектов энергообеспечения предприятия**

Схема замещения заданной подстанции показана на рисунке 1, ее описание и исходные данные приведены в таблице 1.

10 кв

110 кв

Т3

Т1

В1

В2

Л2

Л1

В3

**1**

**2**

От1

От3

Рисунок 1 - Схема замещения подстанции

В4

Т2

От2

**3**

Описание схемы и параметры расчета:

* Минимально допустимый уровень надежности *kГдоп*= 0,86 .
* Выключатели: В1 и В3 - масляные, В2 – воздушный.
* Период эксплуатации N = 4 года; период прогнозирования L = 2 года.
* Длина линий: Л1 = 74 км; Л2 = 174 км.
* ЛЭП - Л1- одноцепная воздушная линия электропередачи с железобетонными опорами; Л2 - двухцепная воздушная линия электропередачи.
* Все выключатели и отделители включены.

Предприятие: Топливная промышленность.

Таблица 1 - Исходные данные по элементам схемы

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Элемент | λ – частота  отказов,  откл./год | tв - ср. время  восстановления,  10-3 лет/отказ | Число отказов | Время  восстановления  10-3 лет/отказ |
| Паспортные данные | | Статистика отказов | |
| 1 | В1 | 0,005 | 40 | 3 | 17,3; 11,2; 17,8 |
| 2 | В2(воздушный) | 0,003 | 20 | 2 | 30,4; 32,3; |
| 3 | В3 | 0,005 | 40 | 3 | 37,5; 24,5; 20,6 |
| 4 | В4 | 0,005 | 40 | - | - |
| 5 | ВЛ1 | 0,518\* | 11 | - | - |
| 6 | ВЛ2 | 0,348\* | 10 | - | - |
| 7 | OT1 | 0,01 | 3,5 | - | - |
| 8 | OT2 | 0,01 | 3,5 | - | - |
| 9 | OT3 | 0,01 | 3,5 | - | - |
| 10 | Т1 | 0,018 | 40 | - | - |
| 11 | Т2 | 0,018 | 40 | 1 | 78,4 |
| 12 | Т3 | 0,018 | 40 | - | - |

\* - с учетом пересчета на протяженность линии

По данным статистики отказов, рассчитаем оценки частоты отказов и среднего времени их восстановления.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| g = *N /M ;*  *λi\* = (1-g) · λi + g ·(ni\N);*  *tвi\* = (1-g) · tвi + g ·*()*;* |  | (1) |

В таблице 1 выделены параметры линий, пересчитанные на их конкретную длину:

|  |  |
| --- | --- |
| *Л1:* | *0,7·(74 км/100 км) = 0,518 откл/год;* |
| *Л2:* | *0,2·(174 км/100 км) = 0,348 откл/год.* |

где *N -* период эксплуатации; *M= N+15* – полное «время старения» априорных данных*; i* – номер элемента, *ni* – число отказов *i-го* элемента за период эксплуатации; *j*- индекс;  - время восстановления *i-го* элемента при *j*-м отказе. Верхним индексом \* отмечены оценки параметров – эти значения должны быть использованы в формуле коэффициентов готовности элементов.

*kг*=. (2)

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

* оценки параметров найдем по формулам (1.4) и (1.3):

*λ\*( В1) = (1- g) · λ( В1) + g · ( 3/4 ) =*

*= 0,7895∙0.005 + 0,2105∙0,75 = 0,162 откл/год;*

*t\*в(В1) = (1- g) · tв( В1) + g · [(17,3+ 11,2+17,8)/3] =*

*= 0,7895 ∙40 + 0,2105∙15,43 = 35,91 ·10-3лет/отказ.*

*kг (В1)* = *1 / (1+ 0,162∙35,91∙10-3) = 0.99422*

* вес измерений определим как «коэффициент старения информации»:

*g = 4/(4+15) = 0,2105; (1- g) = 0,7895;*

В таблице 2 приведены результаты расчетов. При отсутствии данных об отказах, остаются паспортные (априорные) значения. В таблицу введен дополнительный столбец «переменная *xi* », который будет заполнен далее.

Таблица 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** |
| **В1** | *x1* | 0,162 | 35,91 | 0,99422 |
| **В2** | *X5* | 0,108 | 25,69 | 0,99724 |
| **В3** | *x23* | 0,162 | 39,31 | 0,99368 |
| **В4** | *x34* | 0,004 | 31,58 | 0,99988 |
| **Л1** | *x12* | 0,409 | 8,68 | 0,99646 |
| **Л2** | *x45* | 0,275 | 7,89 | 0,99784 |
| **От1** | *x26* | 0,008 | 2,76 | 0,99998 |
| **От2** | *x37* | 0,008 | 2,76 | 0,99998 |
| **От3** | *x48* | 0,008 | 2,76 | 0,99998 |
| **Т1** | *x6* | 0,014 | 31,58 | 0,99955 |
| **Т2** | *x7* | 0,067 | 64,59 | 0,99570 |
| **Т3** | *x8* | 0,014 | 31,58 | 0,99955 |

Исходя из заданной схемы замещения подстанции (рис. 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» x26, см. рис 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 введены в структурную схему как узлы ветвления 2 и 3).

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

x1 : состояние выключателя В1 , x5 : состояние выключателя В4 ,

x12 : состояние линии Л1 , x23 : состояние выключателя ШСВ В2,

x12 : состояние линии Л2 , x34 : состояние выключателя ШСВ В3,

x2 : состояние шин 110 кв , x4 : состояние шин 110 кв

x6 : состояние трансформатора Т1 , x26 : состояние отделителя От1 ,

x7 : состояние трансформатора Т2 , x37 : состояние отделителя От2 ,

x8 : состояние трансформатора Т3 , x48 : состояние отделителя От3 .

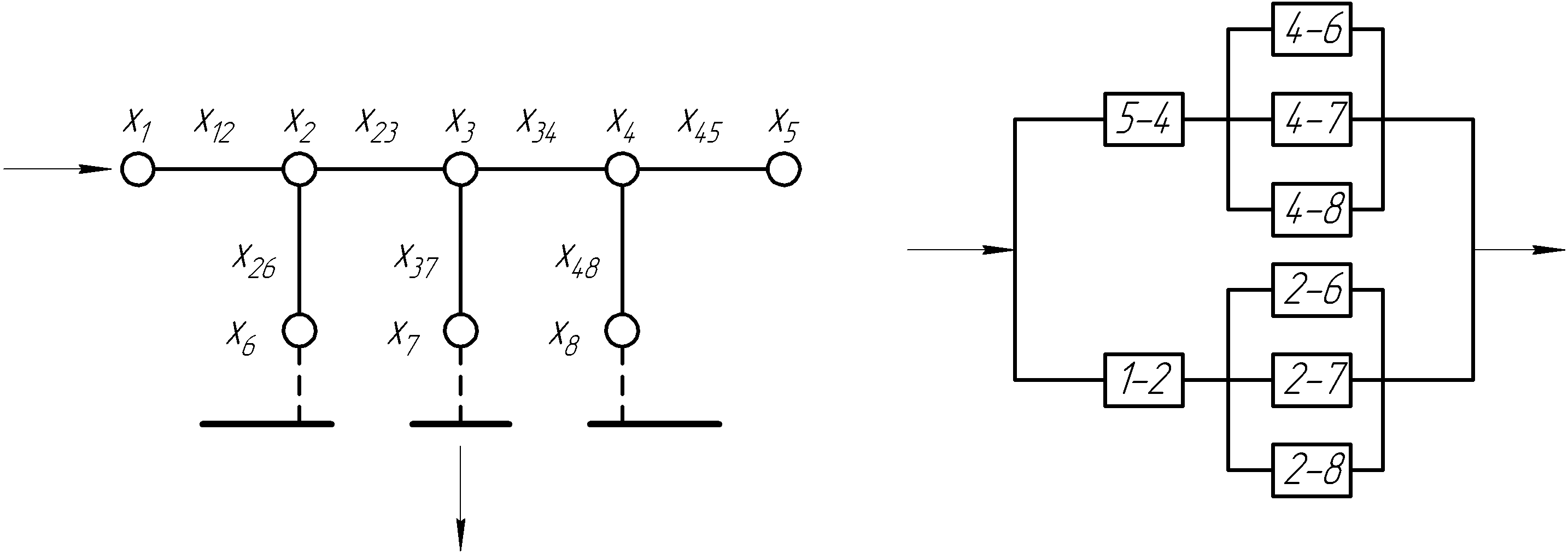


Рисунок 2. Структурная схема анализа

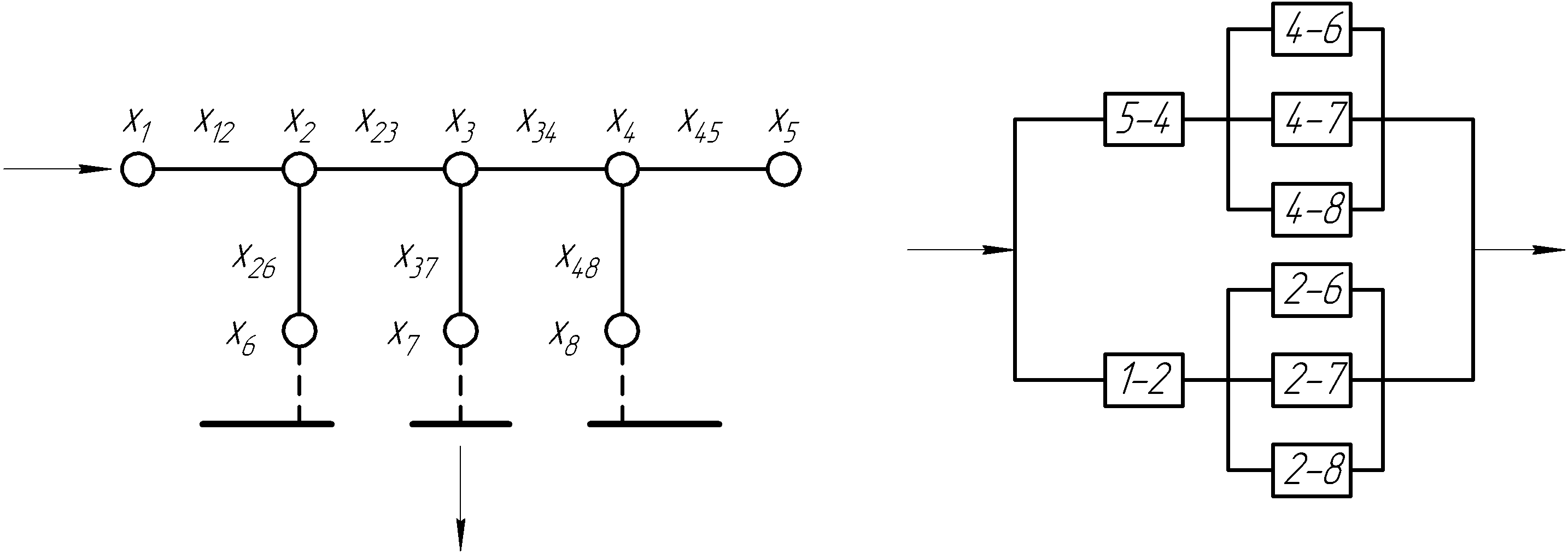




Рисунок 3. Схема представления ЛФР надежности

Из анализа структурной логической блок-схемы надежности подстанции на рис 2. можно сделать вывод, что ЛФР системы электроснабжения представляет дизъюнкцию ЛФР шести путей электропитания (при индексации пути использованы только номера узлов структурной схемы):

Z = Z1-2-6 + Z1-2-3-7 + Z1-2-3-4-8 + Z5-4-8+ Z5-4-3-7+ Z5-4-3-2-6

Раскрывая ЛФР правой части, получим

Z = (x1 x12 x2 x26 x6) + (x1 x12 x2 x23 x3 x37 x7)+ (x1 x12 x2 x23 x3 x34 x4 x48 x8)+ +(x5 x54 x4 x48 x8) + (x5 x54 x4 x43 x3 x37 x7)+ (x5 x54 x4 x43 x3 x32 x2 x26 x6).

С учетом допущения об абсолютной надежности источников питания, т.е. состоянии шин 110 кВ можно учесть, что x2=1, x3=1и x4=1 и, таким образом, упростить дизъюнктивную форму ЛФР системы электроснабжения:

Z = (x1 x12 x26 x6) + (x1 x12 x23 x37 x7)+ (x1 x12 x23 x34 x48 x8)+

+(x5 x54 x48 x8) + (x5 x54 x43 x37 x7)+ (x5 x54 x43 x32 x26 x6)=

= (x1 x12)· (x26 x6 +x23 x37 x7+x23 x34 x48 x8)+

+(x5 x54)·(x48 x8 +x43 x37 x7+x43 x32 x26 x6)=

= .

Эквивалентная схема представления ЛФР в виде соединения комплексных элементов надежности представлена на рис. 3.

Раскроем выражения составляющих ЛФР P(Z = 1), для ее конкретного представления и заданного экспоненциального закона распределения:

Для блоков последовательных элементов на рис. 3:

P(=1)=P(x1=1)∙P(x12=1)=p1­-2=

P(=1)=P(x5=1)∙P(x54=1)=p5­-4=

Для блоков параллельных элементов на рис. 3:













Введем промежуточные обозначения:

p2-­6-7-8 = 1-­ q2-­6-7-8 =1­- q2­-6∙ q2­-7∙ q2­-8 -­ ВБР блока параллельных элементов

Z2­-6 + Z2-­7+ Z2-­8;

p4-­6-7-8 = 1-­ q4-­6-7-8 =1­- q4-6∙ q4­-7∙ q4­-8 ­ - ВБР блока параллельных элементов

Z4-­6 + Z4-­7+ Z4-­8;

q1\* = 1- p1-­2∙p2-­6-7-8 ­ - ВО питания на пути от узла №1 на схеме замещения (на структурной схеме анализа надежности рис.2. это узел 1),

q5\* = 1- p5-­4∙p4-­6-7-8 ­- ВО питания на пути от узла №2 на схеме замещения (на структурной схеме анализа надежности рис.2. это узел 5),

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

Q = q1\*∙ q5\*; kГ(t) = P(Z = 1) = 1 – Q.

Расчеты, выполненные по полученным формулам, приведены в таблице 4. Данные таблицы характеризуют изменение составляющих ЛФР на заданном периоде прогноза эксплуатации (L=2 года) с поквартальной разбивкой.

Таблица 4 - Расчет показателей надежности на двухлетний период эксплуатации (прогноз)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Формула Z(\*) | ∑λ | 1­-й год | | | | 2-­й год | | | |
| 0,25 | 0,5 | 0,75 | 1 | 1,25 | 1,5 | 1,75 | 2 |
| p1­-2= | 0,162+0,409 | 0,8670 | 0,7517 | 0,6518 | 0,5651 | 0,4899 | 0,4248 | 0,3683 | 0,3193 |
| p5­-4= | 0,004+0,275 | 0,932701 | 0,86993 | 0,811385 | 0,756779 | 0,705848 | 0,658345 | 0,614039 | 0,572714 |
|  | 0,008+0,014 | 0,005511 | 0,010992 | 0,016442 | 0,021863 | 0,027253 | 0,032614 | 0,037946 | 0,043247 |
|  | 0,108+0,008+  +0,067 | 0,044568 | 0,08715 | 0,127835 | 0,166706 | 0,203844 | 0,239328 | 0,27323 | 0,305621 |
|  | 0,108+0,162+  +0,008+0,014 | 0,070301 | 0,13566 | 0,196425 | 0,252917 | 0,305438 | 0,354267 | 0,399662 | 0,441867 |
|  | 0,008+0,014 | 0,005511 | 0,010992 | 0,016442 | 0,021863 | 0,027253 | 0,032614 | 0,037946 | 0,043247 |
|  | 0,162+0,075 | 0,05743 | 0,111561 | 0,162584 | 0,210676 | 0,256007 | 0,298734 | 0,339008 | 0,376968 |
|  | 0,162+0,108+  +0,008+0,014 | 0,070301 | 0,13566 | 0,196425 | 0,252917 | 0,305438 | 0,354267 | 0,399662 | 0,441867 |
| p2-­6-7-8=1­- q2­-6∙q2­-7∙q2­-8 | - | 0,999983 | 0,99987 | 0,999587 | 0,999078 | 0,998303 | 0,997235 | 0,995856 | 0,99416 |
| p4-­6-7-8=1­- q4-6∙q4­-7∙q4­-8 | - | 0,999978 | 0,999834 | 0,999475 | 0,998835 | 0,997869 | 0,996548 | 0,994859 | 0,992796 |
| q1\* = 1- p1-­2∙p2-­6-7-8 | ­- | 0,132999 | 0,24838 | 0,348518 | 0,435442 | 0,510898 | 0,576395 | 0,633235 | 0,68255 |
| q5\* = 1- p5-­4∙p4-­6-7-8 | ­- | 0,06732 | 0,130214 | 0,189041 | 0,244103 | 0,295656 | 0,343927 | 0,389118 | 0,431411 |
| *k*Г*(t)=*P(Z=1)***=****1-q1\*∙q5\** | ­- | 0,991047 | 0,967657 | 0,934116 | 0,893707 | 0,84895 | 0,801762 | 0,753597 | 0,70554 |

На рис. 4 показаны графики изменения трех основных показателей надежности данной системы электроснабжения: q1\*∙(t), q5\*(t), kГ(t), построенные по данным табл. 4.

Рисунок 4 - Изменение ВО питания и Кг системы

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

любым из численных методов, но для планирования сроков технического обслуживания достаточно указать интервал времени, в котором первый раз нарушается критерий kГ(t)>kГдоп, так как зависимость kГ(tдоп) является монотонно убывающей. Из таблицы и графиков видно, что критерий нарушается в первом квартале 2-­го года последующей эксплуатации:

kГ(1,0) > kГдоп > kГ(1,25), или: 0,893707> 0,86 > 0,84895,

поэтому tдоп=1 [лет] и техническое обслуживание (профилактическое) следует назначить в первом квартале 2-­го года.

**3 Оценка экономического ущерба от перерывов электроснабжения предприятия**

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. Если предположить, что ограничение рассматриваемого потребителя известено 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:

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.

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

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;

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/WТВ.расч·ωрасч. )Nср.=(уt/W·ТВ.расч·ωрасч. ) (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) (3.7)

где у"t – удельный ущерб, связанный с длительностью простоя вто­ричного производства, руб. / ед. прод.;

у"t/W – удельный ущерб, связанный с простоем (недопотребле­нием электроэнергии) вторичного производства, руб. / кВт·ч ;

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

Т"кр – максимально допустимое (критическое) время перерыва первичного производства без ущерба для вторичного, час.

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. В общем случае нагрузка потребителя состоит из электроприемников аварийной брони, технологической брони и прочих.

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:

 (3.9)

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=Nрез·tрез.), 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,

В итоге полный экономический ущерб потребителя можно определить по формулам:

У’ =γ·(y0+yt·Tв.расч.)·ωрасчП, (3.10)

У’=γ·(y0+yt Tв.расч)··ωрасч (3.11)

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

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

Из приложения 6 [10] для предприятия топливной промышленности по добыче нефти выбираем исходные данные для расчета по формуле (3.11):

yt =0,4 у.е./кВт×ч;

y0=3,5 у.е./кВт×ч (при отключении на 1 ч).

Поскольку остальные данные, необходимые для расчета по формуле (3.11) отсутствуют в исходных данных и в приложении 6, то зададимся ими самостоятельно:

интенсивность отключений в год ωрасч.=1 раз/год;

среднее время одного отключения Tв.расч=1 ч;

потребляемая электроэнергия заводом в год =15 млн. кВт·ч;

потребляемая электроэнергия заводом при отключении =0;

коэффициент, учитывающий степень ограничения производства при перерывах электроснабжения γ=1 (полная остановка завода).

Тогда по формуле (3.11) получим:

У’ = 1·(3,5+0,4·1)··1=6678 у.е.

Таким образом, при заданных условиях, потеря предприятия топливной промышленности по добыче нефти от перерывов в электроснабжении за год составит У’ =6678 у.е.

**Заключение**

В курсовой работе были показаны методы исследования и обеспечения надежности технических систем и получе­ние практических навыков в определении отдельных показателей надежности применительно к устройствам электроснабжения. Нами рассматривался логико-вероятностный метод построения модели сложной системы для расчета и анализа надежности заданного объекта электроснабжения.

В работе расчетным методом проведена оценка надежности электроснабжения промышленного предприятия топливной промышленности по добыче нефти, оценен ущерб от недоотпуска электроэнергии для заданной отрасли промышленности (рассмотрен случай с полным отключением завода 1 раз в год длительностью 1 час). Общий расчетный ущерб в данном случае составил 6678 у.е. При заданном уровне надежности электроснабжения промышленного предприятия kГдоп=0,86 по результатам расчетов сделан вывод, что для сохранения требуемого уровня надежности техническое обслуживание (профилактическое) следует назначить в первом квартале 2-­го года.

**Список использованной литературы**

* ГОСТ 27.310-95 ССНТ Анализ видов, последствий и критичности отказов технике. Основные положения. – М.: Издательство стандартов, 1998.
* ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 24 с.
* Правила устройства электроустановок. – М.: Главгосэнергонадзор РФ, 2000.
* 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: http://www.iprbookshop.ru/34694.— ЭБС «IPRbooks», по паролю
* Справочник по проектированию электроснабжения / под.ред. Ю.Г.Барыбина. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
* 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: http://www.iprbookshop.ru/26826.— ЭБС «IPRbooks», по паролю
* Китушин В.Г. Надежность энергетических систем: учебное пособие для электроэнергетических специальностей вузов.- М.: Высшая школа, 1984. – 256с.
* 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.
* Методические указания по выполнению курсовой работы по курсу: «Надежность систем энергообеспечения предприятий», Часть 1,2. Расчет и анализ надежности системы восстанавливаемых объектов энергообеспечения предприятий, НОУ ВО МТИ, 2015, 68 стр.
* 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: http://www.iprbookshop.ru/30147.— ЭБС «IPRbooks», по паролю
* Биллинтон Р., Аллан Р. Оценка надежности электроэнергетических систем: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
* Балаков Ю.Н., Шевченко А.Т., Шунтов А.В. Надежность схем выдачи мощности электростанций. – М.: изд-во МЭИ, 1993. – 128 с.
* Горелик А.В. Практикум по основам теории надежности учебное пособие 2013.— 133 c/
* Гук Ю.Б. Анализ надежности электроэнергетических установок. - Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отд., 1988. – 224с.
* Анисимов Д.Н. Надежность систем автоматизации. – М.: изд-во МЭИ, 2003. – 96 с.