

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
институт

Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ А.С.Торопов
подпись инициалы, фамилия

« ____ » _____ 2024г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
(код и наименование специальности)

Анализ надежности электроснабжения потребителей сельскохозяйственного
назначения районных электрических сетей
(наименование темы)

Руководитель _____
подпись, дата

доцент каф. ЭМиАТ, к.э.н. Н.В. Дулесова
должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник _____
подпись дата

А.Ю. Ткачев
инициалы, фамилия

Нормоконтролер _____
подпись, дата

И.А.Кычакова
инициалы, фамилия

Абакан 2024

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
институт

Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

_____ А.С. Горопов

подпись инициалы, фамилия

«___» _____ 2024 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы

Студенту Ткачеву Александру Юрьевичу

(фамилия, имя, отчество)

Группа ЗХЭн 19-01 (3-19)

Специальность 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код)

(наименование)

Тема выпускной квалификационной работы Анализ надежности электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения районных электрических сетей.

Утверждена приказом по институту № 260 от 07.05.2024 г.

Руководитель ВКР Дулесова Наталья Валериевна, кандидат экономических работ, доцент кафедры «ЭМиАТ».

(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для ВКР данные по нагрузкам потребителей сельскохозяйственного назначения районных электрических сетей, оснащенных оборудованием энергообъектов, количество отключений электрооборудования за 2023 год.

Перечень разделов выпускной квалификационной работы:

1 Теоретическая часть:

1.1 Основные понятия надёжности. Классификация отказов. Составляющие надёжности.

1.2 Параметры отказов.

2 Аналитическая часть:

2.1 Исходные данные для расчета показателей надежности электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения.

2.2 Расчет показателей надежности системы электроснабжения.

2.3 Расчет продолжительности внезапных отключений потребителей.

3 Практическая часть. Мероприятия по повышению надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.

Перечень графического материала:

Лист 1. Диаграмма распределения среднего времени восстановления элементов СЭС.

Лист 2. Диаграмма распределения среднего времени восстановления элементов СЭС.

Лист 3. Мероприятия по повышению надежности электроснабжения потребителей.

Руководитель ВКР

/ Н.В. Дулесова

(подпись, инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению

/ А.Ю. Ткачев

(подпись, инициалы и фамилия студента)

«17» апреля 2024 г

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа (ВКР) на тему «Анализ надежности электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения районных электрических сетей» содержит 64 страницы текстового документа, 25 использованных источников, ПРИЛОЖЕНИЕ.

НАДЕЖНОСТЬ, ЭЛЕКТРОСБЕРЕЖЕНИЕ, ПОТРЕБИТЕЛЬ, КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ, ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ.

Проектируемый объект – потребители сельскохозяйственного назначения районных электрических сетей.

Цели: надежность электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения районных электрических сетей; обеспечение устойчивого снабжения электрической энергией потребителей; предупреждение отказов элементов воздушных линий, работающих в условиях загрязнения, увлажнения, динамических и термических перегрузок

Расчеты показателей надежности структуры районных электрических сетей, питающих сельскохозяйственные потребители являются востребованными в настоящее время, и это определяет актуальность выбранной темы.

Объектом исследования являются электрические сети районных электрических сетей.

Предметом исследования являются технологии и способы анализа и определения показателей надежности электрических сетей.

Научная новизна исследования заключается в том, что результаты расчета показателей характеризуют состояние электрической сети в течение длительного промежутка времени. Обеспечение надёжного электроснабжения сельских потребителей при условии поставки им качественной электрической энергии является необходимым условием эффективного развития всего сельского хозяйства.

THE ABSTRACT

The final qualification work (WRC) on the topic "Analysis of the reliability of power supply to agricultural consumers of district electric networks" contains 64 pages of a text document, 25 sources used.

RELIABILITY, POWER SAVING, CONSUMER, SHORT CIRCUIT, ELECTRICAL NETWORKS, ELECTRICITY, ENERGY EFFICIENCY.

The projected object is consumers of agricultural purposes of regional electric networks.

Objectives: reliability of power supply to agricultural consumers of regional electric networks; ensuring sustainable supply of electric energy to consumers; prevention of failures of overhead line elements operating in conditions of pollution, humidification, dynamic and thermal overloads

Calculations of reliability indicators of the structure of regional electric networks supplying agricultural consumers are currently in demand, and this determines the relevance of the chosen topic.

The object of the study is the electric networks of regional electric networks.

The subject of the research is technologies and methods for analyzing and determining reliability indicators of electric networks.

The scientific novelty of the study lies in the fact that the results of calculating the indicators characterize the state of the electrical network over a long period of time. Ensuring reliable power supply to rural consumers, provided they are supplied with high-quality electric energy, is a prerequisite for the effective development of the entire agriculture.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 7 |
| 1 Теоретическая часть. Основные понятия надёжности. Классификация отказов. Составляющие надёжности | 9 |
| 1.1 Основные понятия | 9 |
| 1.2 Параметры отказов | 13 |
| 2. Аналитическая часть | 20 |
| 2.1 Исходные данные для расчета показателей надёжности электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения ... | 20 |
| 2.2 Расчет показателей надёжности системы электроснабжения..... | 22 |
| 2.3 Расчет продолжительности внезапных отключений потребителей .. | 32 |
| 3 Практическая часть. Мероприятия по повышению надёжности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей | 51 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 60 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 61 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 1 | 64 |

ВВЕДЕНИЕ

Основным назначением электрической сети является обеспечение устойчивого снабжения электрической энергией потребителей. По организации, эксплуатации, принципам управления и структуре современные электрические сети относятся к классу сложных технических комплексов (систем), что определяет необходимость применения системного подхода к оценке их надёжности функционирования.

Важнейшим звеном народнохозяйственного комплекса является сельское хозяйство и отличается оно от других отраслей экономики сезонным характером производства, использованием земли как предмета и средства труда, сильной зависимостью от природных условий.

Одной из важнейших задач сельской электрификации является обеспечение надёжной работы системы электроснабжения потребителей агропромышленного комплекса.

Надёжная работа электрической сети, способная обеспечить непрерывное снабжение потребителей энергией требуемого качества и безопасность электроснабжения, существенным образом зависит от решения вопросов предупреждения отказов элементов воздушных линий, работающих в условиях загрязнения, увлажнения, динамических и термических перегрузок.

Расчеты показателей надёжности структуры районных электрических сетей, питающих сельскохозяйственные потребители являются востребованными в настоящее время, и это определяет актуальность выбранной темы.

Объектом исследования являются электрические сети районных электрических сетей.

Предметом исследования являются технологии и способы анализа и определения показателей надёжности электрических сетей.

Целью выполнения выпускной квалификационной работы является анализ состояния электрических сетей и определение показателей для выработки мероприятий по обеспечению требуемого уровня надежности.

Цель была достигнута решением следующих задач:

- теоретическое обоснование обеспечения высокого уровня надежности электрических сетей в процессе их эксплуатации;
- составление структурных схем передачи и распределения электроэнергии для выполнения анализа состояния надежности электрических сетей;
- формирование исходных данных с привязкой к структурным схемам для расчета показателей надежности электроснабжения потребителей;
- расчеты основных показателей надежности сети: количества внезапных отключений потребителей и продолжительности внезапных отключений потребителей;
- анализ и предложение мероприятий по повышению и обеспечению надежности электрических сетей в процессе их эксплуатации.

С учетом вышеизложенного, одной из приоритетных задач, является анализ надежности функционирования электрических сетей.

Научная новизна исследования заключается в том, что результаты расчета показателей характеризуют состояние электрической сети в течение длительного промежутка времени. Обеспечение надёжного электроснабжения сельских потребителей при условии поставки им качественной электрической энергии является необходимым условием эффективного развития всего сельского хозяйства.

1 Теоретическая часть. Основные понятия надёжности.

Классификация отказов. Составляющие надёжности

Термины и определения, используемые в теории надёжности, регламентированы ГОСТ Р 27.102-2021 «Надёжность в технике. Надёжность объекта. Термины и определения». Термины, устанавливаемые настоящим стандартом, рекомендуются для применения во всех видах документации и литературы в области надёжности в технике, входящих в сферу работ по стандартизации и (или) использующих результаты этих работ. Настоящий стандарт разработан с учетом основных нормативных положений международного стандарта МЭК 60050 (191):1990-12 «Надёжность и качество услуг» (IEC 60050 (191):1990-12 "Dependability and quality of service", NEQ).

1.1 Основные понятия

Под надёжностью любого технического объекта понимается свойство объекта выполнять заданные функции в заданном объеме при определенных условиях функционирования; применительно к ЭЭС – бесперебойное снабжение электрической энергией в пределах допустимых показателей ее качества и исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды.

Понятие надёжности тесно связано с понятиями работоспособности и отказа.

Работоспособность – состояние объекта, при котором он способен выполнять все или часть заданных функций в полном объеме или частично. Состояние называется полностью работоспособным, если все заданные функции выполняются полностью. Если ни одна из функций не выполняется, то имеет место неработоспособное состояние. Во всех других случаях объект частично работоспособен. Случайное событие, заключающееся в переходе от

полностью работоспособного к частично или неработоспособному состоянию, представляет собой отказ работоспособности.

Отказом называется событие, заключающееся в нарушении работоспособности, т.е. в переходе объекта с одного уровня работоспособности или функционирования на другой, более низкий, или в полностью неработоспособное состояние. Понятие отказа – одно из основных в теории надежности.

Отказы классифицируются по ряду признаков:

- по степени нарушения работоспособности – полные и частичные;
- по связи с отказами других объектов – независимые и зависимые;
- по характеру процессов проявления – внезапные и постепенные;
- по времени существования – устойчивые и неустойчивые.

Авария – событие, заключающееся в переходе объекта с одного уровня работоспособности (функционирования) на другой, существенно более низкий, с крупным нарушением режима работы объекта. Авария в ЭЭС – это массовое нарушение питания потребителей с созданием условий, опасных для людей и окружающей среды.

Восстановление – событие, заключающееся в повышении уровня работоспособности объекта (функционирования), которое достигается проведением ремонтов, отключений или изменением режима работы.

Надежность – это комплексное свойство, которое включает в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность, устойчивоспособность, сохраняемость, управляемость, живучесть и безопасность. Рассмотрим эти составляющие надежности или ее аспекты.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки. Наработка – продолжительность или объем работы объекта.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе

технического обслуживания и ремонта. Предельное состояние определяется невозможностью дальнейшей эксплуатации, снижением эффективности или требованиями безопасности.

Ремонтопригодность – свойство объекта, заключающееся в приспособлении к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий проведением технического обслуживания и ремонтов.

Устойчивоспособность – свойство системы непрерывно сохранять устойчивость в течение заданного времени. Устойчивость – способность системы переходить от одного устойчивого режима к другому при различных возмущениях.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и (или) транспортировки.

Управляемость – свойство объекта поддерживать нормальный режим посредством управления. Для ЭЭС различают режимную управляемость – свойство системы обеспечивать включение, отключение и изменение режима работы элементов по заданному алгоритму.

Живучесть – свойство системы противостоять возмущениям режима, не допуская их каскадного или цепочечного развития с массовым нарушением питания потребителей.

Безотказность – свойство объекта не допускать ситуаций, опасных для людей и окружающей среды.

Уровень расстройств функционирования установок энергосистем при авариях и нарушениях в работе называют *глубиной*. На электростанциях *глубина аварии* характеризуется уровнем снижения располагаемой мощности и выработки электрической энергии, на подстанциях – количеством отключенных потребителей и недоотпусков электроэнергии, на ЛЭП – числом отключенных цепей и уровнем снижения пропускной способности,

в электрических сетях – объемом погашений потребительских и районных подстанций, в системах электроснабжения – уровнем аварийных ограничений потребителей, в ЭЭС и объединениях – уровнем дефицита мощности и энергии и уровнем снижения частоты.

В зависимости от степени резервирования различают три типа схем: не резервируемая, частично резервируемая и взаимно резервируемая.

Не резервируемая схема участка сети или системы электроснабжения – это такая схема, в которой выход из строя одного элемента ведет к выходу из строя всей схемы.

Частично резервируемая – это такая схема, в которой выход из строя одного элемента или нескольких одной цепочки (секции или системы шин) ведет к ограничению мощности у потребителей и частичному перерыву в электроснабжении, но не полному погашению схемы.

Резервируемая – это такая схема, в которой выход из строя одного или нескольких элементов одной цепочки (секции или системы шин) не приводит к перерыву в электроснабжении и ограничению мощности.

Базируясь на относительности понятий «элемент» и, «система» применяются поэтапные методы расчета надежности, заключающиеся в том, что на каждом последующем этапе расчетные элементы системы представляются сами системой, с последовательным уточнением показателей надежности.

В качестве нормативных показателей надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей установлены: количество внезапных отключений потребителя (частота отказов), шт./год и средняя продолжительность одного отключения (длительность перерыва), ч.

1.2 Параметры отказов

Одним из основных понятий теории надежности является понятие отказа (изделия, объекта, элемента, системы).

Основными причинами возникновения отказов являются:

- конструктивные дефекты;
- технологические дефекты;
- эксплуатационные дефекты;
- постепенное старение (износ).

Отказы вследствие конструктивных дефектов возникают как следствие несовершенства конструкции из-за «промахов» при конструировании. В этом случае наиболее распространенными являются недоучет «пиковых» нагрузок, применение материалов с низкими потребительскими свойствами, схемные «промахи» и др. Отказы этой группы сказываются на всех экземплярах изделия, объекта, системы.

Отказы из-за технологических дефектов возникают как следствие нарушения принятой технологии изготовления изделий (например, выход отдельных характеристик за установленные пределы). Отказы этой группы характерны для отдельных партий изделий, при изготовлении которых наблюдались нарушения технологии изготовления.

Отказы из-за эксплуатационных дефектов возникают по причине несоответствия требуемых условий эксплуатации, правил обслуживания действительным. Отказы этой группы характерны для отдельных экземпляров изделий.

Отказы из-за постепенного старения (износа) вследствие накопления необратимых изменений в материалах, приводящих к нарушению прочности (механической, электрической), взаимодействия частей объекта.

По типу отказы подразделяются на:

- отказы функционирования (выполнение основных функций изделием прекращается, например, поломка зубьев шестерни);

- отказы параметрические (некоторые параметры изделия изменяются в недопустимых пределах, например, потеря точности станка).

По своей природе отказы могут быть:

- случайные, обусловленные непредусмотренными перегрузками, дефектами материала, ошибками персонала или сбоями системы управления и т. п.;

- систематические, обусловленные закономерными и неизбежными явлениями, вызывающими постепенное накопление повреждений: усталость, износ, старение, коррозия и т. п.

Отказы элементов систем могут возникать в результате (рисунок 1):

- 1) первичных отказов;
- 2) вторичных отказов;
- 3) ошибочных команд (инициированные отказы).

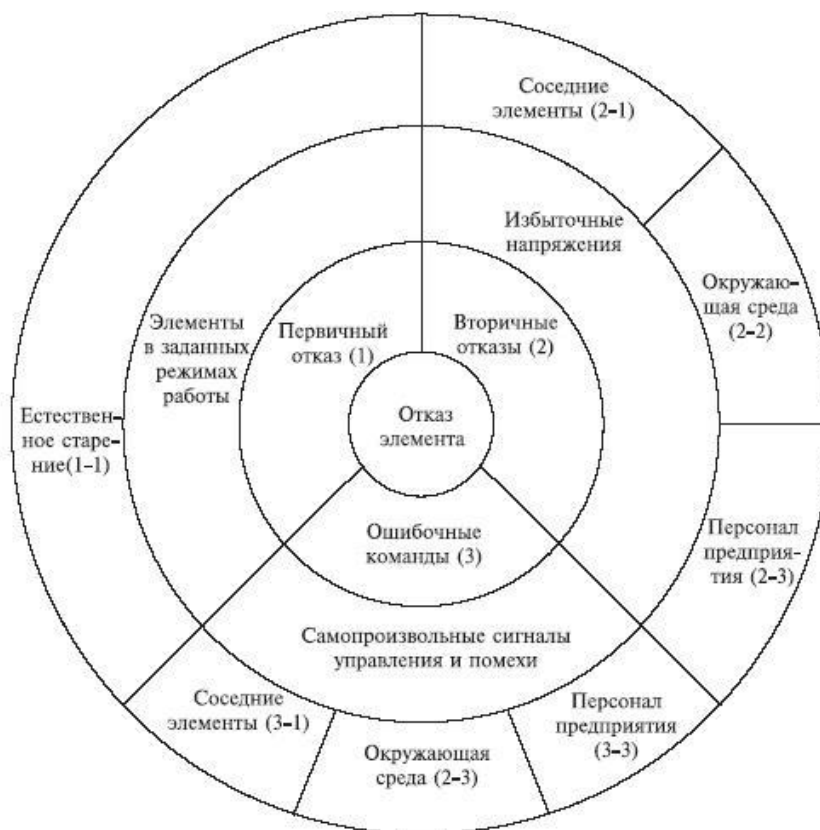


Рисунок 1– Классификация отказов

Отказы всех этих категорий могут иметь различные причины, приведенные в наружном кольце. Когда точный вид отказов определен и данные по ним получены, а конечное событие является критическим, то они рассматриваются как исходные отказы.

Первичный отказ элемента определяют, как нерабочее состояние этого элемента, причиной которого является он сам, и необходимо выполнить ремонтные работы для возвращения элемента в рабочее состояние. Первичные отказы происходят при входных воздействиях, значение которых находится в пределах, лежащих в расчетном диапазоне, а отказы объясняются естественным старением элементов. Разрыв резервуара вследствие старения (усталости) материала служит примером первичного отказа.

Вторичный отказ – такой же, как первичный, за исключением того, что сам элемент не является причиной отказа. Вторичные отказы объясняются воздействием предыдущих или текущих избыточных напряжений на элементы. Амплитуда, частота, продолжительность действия этих напряжений могут выходить за пределы допусков или иметь обратную полярность и вызываются различными источниками энергии: термической, механической, электрической, химической, магнитной, радиоактивной и т.п. Эти напряжения вызываются соседними элементами или окружающей средой, например - метеорологическими (ливень, ветровая нагрузка), геологическими условиями (оползни, просадка грунтов), а также воздействием со стороны других технических систем.

Инициированные отказы (ошибочные команды). Люди, например, операторы и обслуживающий технический персонал, также являются возможными источниками вторичных отказов, если их действия приводят к выходу элементов из строя. Ошибочные команды представляются в виде элемента, находящегося в нерабочем состоянии из-за неправильного сигнала

управления или помех (при этом лишь иногда требуется ремонт для возвращения данного элемента в рабочее состояние). Самопроизвольные сигналы управления или помехи часто не оставляют последствий (повреждений), и в нормальных последующих режимах элементы работают в соответствии с заданными требованиями.

Множественный отказ (отказы общего характера) есть событие, при котором несколько элементов выходят из строя по одной и той же причине. К числу таких причин могут быть отнесены следующие:

- конструкторские недоработки оборудования (дефекты, не выявленные на стадии проектирования и приводящие к отказам вследствие взаимной зависимости между электрическими и механическими подсистемами или элементами избыточной системы);

- ошибки эксплуатации и технического обслуживания (неправильная регулировка или калибровка, небрежность оператора, неправильное обращение и т. п.);

- воздействие окружающей среды (влага, пыль, грязь, температура, вибрация, а также экстремальные режимы нормальной эксплуатации);

- внешние катастрофические воздействия (естественные внешние явления, такие как наводнение, землетрясение, пожар, ураган);

- общий изготовитель (резервируемое оборудование или его компоненты, поставляемые одним и тем же изготовителем, могут иметь общие конструктивные или производственные дефекты. Например, производственные дефекты могут быть вызваны неправильным выбором материала, ошибками в системах монтажа, некачественной пайкой и т. п.);

- общий внешний источник питания (общий источник питания для основного и резервного оборудования, резервируемых подсистем и элементов);

- неправильное функционирование (неверно выбранный комплекс измерительных приборов или неудовлетворительно спланированные меры защиты).

Для каждой общей причины необходимо определить все вызываемые ею исходные события. При этом определяют сферу действия каждой общей причины, а также место расположения элементов и время происшествя. Некоторые общие причины имеют лишь ограниченную сферу действия. Например, утечка жидкости может ограничиваться одним помещением, и электрические установки, их элементы в других помещениях не будут повреждены вследствие утечек, если только эти помещения не сообщаются друг с другом.

Отказ считают по сравнению с другим более критичным, если его предпочтительнее рассматривать в первую очередь при разработке вопросов надежности и безопасности. При сравнительной оценке критичности отказов учитывают последствия отказа, вероятность возникновения, возможность обнаружения, локализации и т. д.

Указанные выше свойства технических объектов и промышленная безопасность – взаимосвязаны. Так, при неудовлетворительной надежности объекта вряд ли следует ожидать хороших показателей его безопасности. В то же время перечисленные свойства имеют свои самостоятельные функции. Если при анализе надежности изучается способность объекта выполнять заданные функции (при определенных условиях эксплуатации) в установленных пределах, то при оценке промышленной безопасности выявляют причинно-следственные связи возникновения и развития аварий и других нарушений с всесторонним анализом последствий этих нарушений.

Отказы по причинным схемам возникновения подразделяются на следующие группы:

- отказы с мгновенной схемой возникновения;
- отказы с постепенной схемой возникновения;

- отказы с релаксационной схемой возникновения;
- отказы с комбинированными схемами возникновения.

Отказы с мгновенной схемой возникновения характеризуются тем, что время наступления отказа не зависит от времени предшествующей эксплуатации и состояния объекта, момент отказа наступает случайно, внезапно. Примерами реализации такой схемы могут служить отказы изделий под действием пиковых нагрузок в электрической сети, механическое разрушение посторонним внешним воздействием и т. п.

Отказы с постепенной схемой возникновения происходят за счет постепенного накопления вследствие физико-химических изменений в материалах повреждений. При этом значения некоторых «решающих» параметров выходят за допустимые границы, и объект (система) не способен выполнять заданные функции. Примерами реализации постепенной схемы возникновения могут служить отказы вследствие снижения сопротивления изоляции, электрической эрозии контактов и т. п.

Отказы с релаксационной схемой возникновения характеризуются первоначальным постепенным накоплением повреждений, которые создают условия для скачкообразного (резкого) изменения состояния объекта, после которого возникает отказное состояние. Примером реализации релаксационной схемы возникновения отказов может служить пробой изоляции кабеля вследствие коррозионного разрушения брони.

Отказы с комбинированными схемами возникновения характерны для ситуаций, когда одновременно действуют несколько причинных схем. Примером, реализующим эту схему, может служить отказ двигателя в результате короткого замыкания по причинам снижения сопротивления изоляции обмоток и перегрева.

При анализе надежности необходимо выявлять преобладающие причины отказов и лишь затем, если в этом есть необходимость, учитывать влияние остальных причин.

По временному аспекту и степени предсказуемости отказы подразделяются на внезапные и постепенные.

По характеру устранения с течением времени различают устойчивые (окончательные) и самоустраняющиеся (кратковременные) отказы. Кратковременный отказ называется сбоем. Характерный признак сбоя - то, что восстановление работоспособности после его возникновения не требует ремонта аппаратуры. Примером может служить кратковременно действующая помеха при приеме сигнала, дефекты программы и т. п.

Для анализа и исследования надежности причинные схемы отказов можно представить в виде статистических моделей, которые вследствие вероятностного возникновения повреждений описываются вероятностными законами.

2. Аналитическая часть

2.1 Исходные данные для расчета показателей надежности электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения

Исходными данными для расчета показателей надежности являются:

1. Сведения о подстанциях (ПС) 110(35)/10 кВ:

- высшее напряжение ПС, кВ;
- число трансформаторов на ПС 110(35)/10 кВ, шт.;
- число линий электропередач (ЛЭП) 110(35) кВ, присоединенных к шинам ПС 110(35)/10 кВ;
- наличие секционного выключателя на стороне 110(35) кВ;
- число выключателей 10 кВ на ПС 110(35)/10 кВ, шт.;
- наличие оперативно-выездной бригады (ОВБ) дежурного на ПС.

2. Сведения о воздушных линиях (ВЛ) электропередачи 110(35) кВ:

- схемы сетей ВЛ 110(35) кВ с указанием длины участков, марки и сечения проводов, трансформаторы, коммутационные аппараты (разъединители, выключатели);
- сведения о количестве элементов различных видов на линии.

3. Сведения о потребителях:

- схемы электрических соединений ПС;
- классификация сельскохозяйственных потребителей с учетом подключения и уровня напряжения (сельское хозяйство и пищевая промышленность).

В качестве основных показателей надежности приняты:

- параметр потока отказов w , 1/год;
- среднее время восстановления T_v , ч;
- продолжительность ремонтов (планового, капитального, текущего) T_p ,

часов.

Табличные значения параметров потока отказов элементов электрической сети приведены в ПРИЛОЖЕНИИ 1.

Вероятное расчетное количество отказов электроснабжения потребителя определяется числом отключений элементов по всей цепи «источник питания – потребитель» с учетом наличия устройств противоаварийной автоматики. Началом цепи «источник питания - потребитель» принимаются шины 110 (35) кВ ПС, а последним элементом конец его питающей линии на зажимах вводного устройства потребителя.

Расчет количества отключений каждого элемента цепи «источник питания - потребитель» основан на учете их удельной повреждаемости.

Тогда количество повреждений, возникших в этой цепи за год, рассчитывается по формуле [2]:

$$M = \sum \omega_i \cdot n_i , \quad (1)$$

где ω_i – параметр потока отказов i -го элемента;

n_i – количество элементов i -го вида в цепи «источник – потребитель».

Учитывая элементы цепи «источник – потребитель» количество внезапных отключений потребителя за год можно представить в виде:

$$N = N_{\text{вл}} + N_{\text{р}} + N_{\text{од}} + N_{\text{кз}} + N_{\text{т}} + N_{\text{вл}} + N_{\text{в}} + N_{\text{р}} + N_{\text{в}}, \quad (2)$$

где $N_{\text{вл}}$, $N_{\text{р}}$, $N_{\text{од}}$, $N_{\text{кз}}$, $N_{\text{т}}$, $N_{\text{вл}}$, $N_{\text{в}}$, $N_{\text{р}}$, $N_{\text{в}}$ – количество внезапных отключений потребителя из-за повреждений соответственно на ЛЭП 110 кВ и на разъединителе 110 кВ, отделителе 110 кВ, короткозамыкателе 110 кВ, в трансформаторе ПС 110/35 кВ, на питающей потребителя ВЛ 35 кВ; на выключателе 35 кВ, разъединителе 35 кВ и выключателе 10 кВ.

2.2 Расчет показателей надежности системы электроснабжения

Были выделены 7 подстанций, питающих потребителей сельскохозяйственного назначения:

ПС – 110/35/10 Подстанция – 1;

ПС – 35/10 Подстанция – 2;

ПС – 35/10 Подстанция – 3;

ПС – 35/10 Подстанция – 4;

ПС – 35/10 Подстанция – 5;

ПС – 35/10 Подстанция – 6;

ПС – 110/10 Подстанция – 7.

Элементы сети 110,35,10 кВ ПС–110/35/10 Подстанция – 1 представлены в таблицах 1 – 3.

Таблица 1 – Элементы сети 110 кВ

| Тип оборудования | Длина, км количество, шт | ω, отказ/год при U 110 кВ | Элемент сети |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| ВЛ–110 кВ; воздушная линия 110кВ выполнена проводом марки АС – 185 | 18,29 | 0,768 | Двухцепная воздушная линия |
| ВЛ–110 кВ воздушная линия 110кВ выполнена проводом марки АС – 135 | 4,42 | 0,186 | Двухцепная воздушная линия |
| РЛНДЗ-2-110/1000 | 1 | 0,01 | Линейный разъединитель |
| РЛНДЗ-16-110/1000 | 2 | 0,01 | Секционный разъединитель |
| РНДЗ-2-110/1000 | 2 | 0,02 | Линейный разъединитель |
| МКП-110М-1000/630А-20У1 | 1 | 0,02 | Секционный выключатель |
| РНДЗ-16-110/1000 | 1 | 0,01 | Линейный разъединитель |
| КЗ – 110 | 1 | 0,029 | Короткозамыкатель |
| ОДЗ-110м/630 | 1 | 0,037 | Отделитель |
| ТМТН – 16000/110/35/10 | 1 | 0,04 | Трансформатор |

Таблица 2 – Элементы сети 35 кВ

| Тип оборудования | Длина, км количество, шт | ω , отказ/год при U 35 кВ | Элемент сети |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| ВЛ–35 кВ воздушная линия 35кВ выполнена проводом марки АС – 185 | 12,872 | 0,309 | Двухцепная воздушная линия |
| С-35-630-10 | 1 | 0,012 | Выключатель |
| С-35-630-10 | 1 | 0,015 | Выключатель |
| С-35-630-10 | 1 | 0,01 | Выключатель |
| РНДЗ-16-35/1000 | 1 | 0,008 | Разъединитель |
| РНДЗ-16-35/1000 | 1 | 0,008 | Разъединитель |
| РНДЗ-2-35/1000 | 1 | 0,01 | Разъединитель |
| РНДЗ-16-35/1000 | 3 | 0,024 | Разъединитель |
| РНДЗ-2-35/1000 | 2 | 0,02 | Линейный разъединитель |

Таблица 3 – Элементы сети 10 кВ

| Тип оборудования | Длина, км количество, шт | ω , отказ/год при U 10 кВ | Элемент сети |
|------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------|
| ВМП – 10К/1000 | 1 | 0,01 | Выключатель |
| ВМПЭ – 10К | 1 | 0,01 | Выключатель |
| ВМПЭ – 10К | 1 | 0,008 | Выключатель |
| ВМПЭ – 10К | 1 | 0,007 | Выключатель |
| ВМПЭ – 10К | 1 | 0,009 | Выключатель |
| ВМПЭ – 10К | 1 | 0,007 | Выключатель |
| ВМПЭ – 10К | 1 | 0,008 | Выключатель |

Расчет количества внезапных отключений по существующей схеме электроснабжения 110/35/10 кВ был произведен по формулам (1) и (2), описанным выше. Все аналитические расчеты были произведены в табличном редакторе MS Excel. Были рассчитаны выборочное среднее M , выборочное среднее квадратичное отклонение S и доверительный интервал для M с заданной надежностью β . Результаты расчета представим в таблицах 4,7,10,13,16,19,22.

Таблица 4 – Результаты расчета показателей надежности системы электроснабжения

| Выборочное среднее М | Сред. квадр. отклонение S | Доверит. интервал для М с $\beta = 0,95$ | | Параметр |
|----------------------|---------------------------|------------------------------------------|--------|---------------------------------------------------------|
| | | | | |
| 0,9604/0,775 | 0,1859 | 0,6313 | 1,2797 | Количество внезапных отключений потребителей, откл./год |
| | | | | в том числе из-за отказов: |
| 0,477/0,443 | 0,034 | 0,429 | 0,524 | ЛЭП 110 кВ |
| 0,01/0,0075 | 0,0025 | 0,0082 | 0,012 | Разъединителя 110 кВ |
| 0,037/0,03 | 0,007 | 0,023 | 0,051 | Отделителя 110 кВ |
| 0,029/0,02 | 0,009 | 0,0114 | 0,047 | Короткозамыкателя 110 кВ |
| 0,02/0,01 | 0,01 | 0,0004 | 0,03 | Выключателя 110 кВ |
| 0,04/0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,06 | Трансформатора ГПП 110/35/10 |
| 0,309/0,206 | 0,103 | 0,109 | 0,509 | ЛЭП 35 кВ |
| 0,012/0,01 | 0,002 | 0,01 | 0,014 | Выключателя 35 кВ |
| 0,009/0,008 | 0,001 | 0,0083 | 0,0097 | Разъединителя 35 кВ |
| 0,0174/0,01 | 0,0074 | 0,012 | 0,023 | Выключателя 10 кВ |

Элементы сети 35,10 кВ ПС– 35/10, Подстанция – 2, представлены в таблицах 5,6.

Таблица 5 – Элементы сети 35 кВ

| Тип оборудования | Длина, км количество, шт | ω , отказ/год при U 35 кВ | Элемент сети |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|------------------------|
| ВЛ–35 кВ воздушная линия 35кВ выполнена проводом марки АС - 70 | 21,215 | 0,997 | Воздушная линия |
| ВЛ–35 кВ воздушная линия 35кВ | 20,56 | 0,863 | Воздушная линия |
| РНДЗ - 2 – 35/1000 | 2 | 0,02 | Линейный разъединитель |
| ВТ – 35/630 | 1 | 0,011 | Секционный выключатель |
| РНДЗ – 2 – 35/1000 | 2 | 0,016 | Разъединитель |
| РЛНДЗ – 1 – 35/1000 | 2 | 0,016 | Разъединитель |
| ВТ - 35/630 | 2 | 0,02 | Выключатель |
| ТМ – 1600/35/10 | 2 | 0,026 | Трансформатор |

Таблица 6 – Элементы сети 10 кВ

| Тип оборудования | Длина, км количество, шт | ω , отказ/год при U 10 кВ | Элемент сети |
|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|---------------------------|
| РВЗ -10/400 | 7 | 0,07 | Разъединитель |
| РВО – 10/400 (яч.3, яч.8) | 2 | 0,02 | Разъединитель |
| ВММ - 10-20-630 | 2 | 0,04 | Выключатель |
| ВММ - 10-20-630 | 1 | 0,011 | Секционный выключатель |
| ВВТЭ – М-10-20/630 (яч.6,9) | 4 | 0,08 | Выключатель |
| РВЗ – 10/400 | 3 | 0,027 | Разъединитель |
| РВЗ – 10/400 | 4 | 0,04 | Линейный разъединитель |

Таблица 7 – Результаты расчета показателей надежности системы электроснабжения

| Выборочное среднее M | Сред. квадр. отклонение S | Доверит. интервал для M с $\beta = 0,95$ | | Параметр |
|-------------------------|------------------------------|---------------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------|
| | | | | |
| 0,9915/0,383 | 0,6085 | 0,1554 | 1,8286 | Количество внезапных отключений потребителей, откл./год |
| | | | | в том числе из-за отказов: |
| 0,93/0,334 | 0,596 | 0,104 | 1,756 | ЛЭП 35 кВ |
| 0,009/0,008 | 0,001 | 0,0082 | 0,0098 | Разъединителя 35 кВ |
| 0,011/0,01 | 0,001 | 0,0099 | 0,0121 | Выключателя 35 кВ |
| 0,013/0,012 | 0,001 | 0,0116 | 0,0144 | Трансформатора ГПП 35/10 |
| 0,0098/0,009 | 0,0008 | 0,0094 | 0,0102 | Разъединителя 10 кВ |
| 0,0187/0,01 | 0,0087 | 0,0123 | 0,0251 | Выключателя 10 кВ |

Элементы сети 35, 10 кВ ПС – 35/10 Подстанция – 3 представлены в таблицах 8,9.

Таблица 8 – Элементы сети 35 кВ

| Тип оборудования | Длина, км количество, шт | ω , отказ/год при U 35 кВ | Элемент сети |
|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------|
| ВЛ–35 кВ воздушная линия 35кВ | 20,56 | 0,391 | Воздушная линия |
| ВЛ–35 кВ воздушная линия 35кВ | 16,932 | 0,406 | Воздушная линия |
| РЛНДЗ – 1 – 35/600 | 2 | 0,02 | Линейный разъединитель |
| ВМ -35/600 | 1 | 0,011 | Секционный выключатель |
| РЛНД-1-35/600 | 2 | 0,01 | Секционный разъединитель |
| РНДЗ–2-35/1000 | 2 | 0,02 | Разъединитель |
| С-35М-630-10У1 | 2 | 0,02 | Выключатель |
| ТМ – 4000/35/10 | 2 | 0,018 | Трансформатор |

Таблица 9 – Элементы сети 10 кВ

| Тип оборудования | Длина, км количество, шт | ω , отказ/год при U 10 кВ | Элемент сети |
|------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|---------------------------|
| РВ-10/400 | 13 | 0,13 | Разъединитель |
| РВ-10/400 | 2 | 0,02 | Разъединитель |
| ВМГ-133 II (яч.3,5,15) | 3 | 0,027 | Выключатель |
| ВМП-10 (яч.17) | 1 | 0,009 | Выключатель |
| ВБЧ-С-10-20/630 | 8 | 0,16 | Выключатель |
| ВБЧ-С-10-20/630 | 1 | 0,011 | Секционный выключатель |
| РВ – 10/400 | 4 | 0,04 | Линейный разъединитель |

Таблица 10 – Результаты расчета показателей надежности системы электроснабжения

| Выборочное среднее М | Сред. квадр. отклонение S | Доверит. интервал для М с $\beta = 0,95$ | | Параметр |
|----------------------|---------------------------|------------------------------------------|--------|---------------------------------------------------------|
| | | | | |
| 0,452/0,3439 | 0,1081 | 0,401 | 0,7823 | Количество внезапных отключений потребителей, откл./год |
| | | | | в том числе из-за отказов: |
| 0,3985/0,2999 | 0,0986 | 0,2618 | 0,5351 | ЛЭП 35 кВ |
| 0,0083/0,008 | 0,0003 | 0,0081 | 0,0085 | Разъединителя 35 кВ |
| 0,0103/0,01 | 0,0003 | 0,1027 | 0,1033 | Выключателя 35 кВ |
| 0,009/0,007 | 0,002 | 0,0062 | 0,0118 | Трансформатора ГПП 35/10 |
| 0,0159/0,01 | 0,0059 | 0,0127 | 0,0191 | Выключателя 10 кВ |
| 0,01/0,009 | 0,001 | 0,0095 | 0,1045 | Разъединителя 10 кВ |

Элементы сети 35, 10 кВ ПС– 35/10 Подстанция – 4 представлены в таблицах 11,12.

Таблица 11 – Элементы сети 35 кВ

| Тип оборудования | Длина, км количество, шт | ω , отказ/год при U=35 кВ | Элемент сети |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| ВЛ–35 кВ воздушная линия 35кВ выполнена проводом марки АС - 70 | 28,083 | 0,674 | Воздушная линия |
| ВЛ–35 кВ воздушная линия 35кВ выполнена проводом марки АС – 185 | 12,872 | 0,245 | Воздушная линия |
| РНД – 16 – 35/1000 | 2 | 0,02 | Линейный разъединитель |
| TEND – 35/600/11 (РЛНД-35) | 1 | 0,008 | Разъединитель |
| ТМ – 3150/35 | 1 | 0,0075 | Трансформатор |

Таблица 12 – Элементы сети 10 кВ

| Элемент сети | Тип оборудования | Длина, км количество, шт | ω , отказ/год при U 10 кВ |
|---------------|------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|
| Разъединитель | TLDA – 10/400 – 31 | 1 | 0,01 |
| Выключатель | ВБЧ – СП – 10 – 20/630 | 1 | 0,04 |

Таблица 13 – Результаты расчета показателей надежности системы электроснабжения

| Выборочное среднее M | Сред. квадр. отклонение S | Доверит. интервал для M с $\beta = 0,95$ | | Параметр |
|-------------------------|------------------------------|---------------------------------------------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | | |
| 0,5263/0,3616 | 0,1647 | 0,2767 | 0,79 | Количество внезапных отключений потребителей, откл./год в том числе из-за отказов: |
| 0,4595/0,3276 | 0,1319 | 0,2767 | 0,6423 | ЛЭП 35 кВ |
| 0,0093/0,008 | 0,0013 | 0,0078 | 0,0108 | Разъединителя 35 кВ |
| 0,0075/0,007 | 0,0005 | 0,0065 | 0,0085 | Трансформатора ГПП 35/10 |
| 0,04/0,01 | 0,03 | 0,0188 | 0,0988 | Выключателя 10 кВ |
| 0,01/0,009 | 0,001 | 0,0096 | 0,0296 | Разъединителя 10 кВ |

Элементы сети 35, 10 кВ ПС– 35/10 Подстанция – 5 представлены в таблицах 14,15.

Таблица 14 – Элементы сети 35 кВ

| Тип оборудования | Длина, км количество, шт | ω , отказ/год при U 35 кВ | Элемент сети |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|---------------------------|
| ВЛ–35 кВ воздушная линия 35кВ выполнена проводом марки АС – 70 | 28,083 | 0,674 | Воздушная линия |
| ВЛ–35 кВ воздушная линия 35кВ выполнена проводом марки АС - 70 | 27,504 | 0,523 | Воздушная линия |
| РНДЗ – 2 – 35/1000 | 2 | 0,02 | Линейный разъединитель |
| РЛНД-2-35/600 | 2 | 0,016 | Разъединитель |
| ТМ – 1600/35 | 2 | 0,022 | Трансформатор |

Таблица 15 – Элементы сети 10 кВ

| Тип оборудования | Длина, км количество, шт | ω , отказ/год при U 10 кВ | Элемент сети |
|------------------|-----------------------------|----------------------------------------|---------------------------|
| РВ-10/400 | 10 | 0,1 | Разъединитель |
| ВМГ-133-600 | 2 | 0,2 | Выключатель |
| ВМГ-10 | 1 | 0,009 | Выключатель |
| ВМГ-133-600 | 3 | 0,024 | Выключатель |
| ВМГ-10 (яч.8) | 1 | 0,011 | Секционный выключатель |
| ВМГ-10 | 2 | 0,02 | Выключатель |
| РВ – 10/400 | 3 | 0,03 | Линейный разъединитель |
| РВ – 10/400 | 3 | 0,27 | Линейный разъединитель |
| РВ – 10/400 | 2 | 0,02 | Разъединитель |

Таблица 16 – Результаты расчета показателей надежности системы электроснабжения

| Выборочное среднее M | Сред. квадр. отклонение S | Доверит. интервал для M с $\beta = 0,95$ | | Параметр |
|-------------------------|------------------------------|---------------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------|
| 0,6699/0,4817 | 0,1882 | 0,4092 | 0,9039 | Количество внезапных отключений потребителей, откл./год |
| | | | | в том числе из-за отказов: |
| 0,5985/0,4447 | 0,1538 | 0,3583 | 0,8117 | ЛЭП 35 кВ |
| 0,009/0,008 | 0,001 | 0,008 | 0,0099 | Разъединителя 35 кВ |
| 0,011/0,01 | 0,001 | 0,0096 | 0,0124 | Трансформатора ГПП 35/10 |
| 0,0293/0,01 | 0,0193 | 0,0167 | 0,0419 | Выключателя 10 кВ |
| 0,0221/0,009 | 0,0131 | 0,0166 | 0,028 | Разъединителя 10 кВ |

Элементы сети 35, 10 кВ ПС– 35/10 Подстанция – 6 представлены в таблицах 17,18.

Таблица 17 – Элементы сети 35 кВ

| Тип оборудования | Длина, км количество, шт | ω, отказ/год при U 35 кВ | Элемент сети |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| ВЛ–35 кВ воздушная линия 35кВ выполнена проводом марки АС - 70 | 18,359 | 0,441 | Воздушная линия |
| ВЛ–35 кВ воздушная линия 35кВ выполнена проводом марки АС - 70 | 27,504 | 0,523 | Воздушная линия |
| РНДЗ – 2 – 35/1000 | 1 | 0,01 | Линейный разъединитель |
| ВМ - 35/600 – 6,6 | 1 | 0,011 | Выключатель |
| РЛНД - 35/1000 | 1 | 0,011 | Разъединитель |
| РНДЗ – 35/1000 | 1 | 0,01 | Линейный разъединитель |
| РЛНД - 35/600 | 2 | 0,01 | Секционный разъединитель |
| ВТД -35/630-12,5 | 1 | 0,01 | Выключатель |
| ВТ - 35/630-12,5 | 1 | 0,01 | |
| ТМН – 4000/35 | 2 | 0,016 | |

Таблица 18 – Элементы сети 10 кВ

| Тип оборудования | Длина, км количество, шт | ω, отказ/год при U 10 кВ | Элемент сети |
|-------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| РВ-10/400 | 14 | 0,14 | Разъединитель |
| РВ-10/400 (яч.16) | 1 | 0,01 | Разъединитель |
| ВМГ-133-600-20 | 4 | 0,04 | Выключатель |
| ВМГ-10/630 | 4 | 0,04 | Выключатель |
| ВМГ-10/630 | 1 | 0,011 | Секционный выключатель |
| РВ – 10/400 | 2 | 0,018 | Разъединитель |
| РВ – 10/400 | 7 | 0,07 | Линейный разъединитель |

Таблица 19 – Результаты расчета показателей надежности системы электроснабжения

| Параметр | Выборочное среднее М | Сред. квадр. отклонение S | Доверит. интервал для М с $\beta = 0,95$ | |
|---------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------|------------------------------------------|--------|
| | | | | |
| Количество внезапных отключений потребителей, откл./год | 0,5284/0,411 | 0,1174 | 0,36792 | 0,6896 |
| в том числе из-за отказов: | | | | |
| ЛЭП 35 кВ | 0,482/0,367 | 0,115 | 0,333 | 0,641 |
| Разъединителя 35 кВ | 0,0082/0,008 | 0,0002 | 0,00802 | 0,0084 |
| Выключателя 35 кВ | 0,0103/0,01 | 0,0003 | 0,001 | 0,0106 |
| Трансформатора ГПП 35/10 | 0,008/0,007 | 0,001 | 0,0066 | 0,0094 |
| Выключателя 10 кВ | 0,0101/0,01 | 0,0001 | 0,01 | 0,0102 |
| Разъединителя 10 кВ | 0,0098/0,009 | 0,0008 | 0,0093 | 0,01 |

Элементы сети 110, 10 кВ ПС 110/10 Подстанция – 7 представлены в таблицах 20 – 22.

Таблица 20 – Элементы сети 110 кВ

| Тип оборудования | Длина, км количество, шт | ω , отказ/год при U 110 кВ | Элемент сети |
|---------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| ВЛ–110 кВ воздушная линия 110кВ | 14,8 | 0,6216 | Воздушная линия |
| ВЛ–110 кВ воздушная линия 35кВ | 16,8 | 0,7056 | Воздушная линия |
| РНДЗ-16-110/1000 У1 | 2 | 0,01 | Секционный разъединитель |
| РНДЗ-2-110/1000 У1 | 2 | 0,02 | Линейный разъединитель |
| РНДЗ-2-110/1000 У1 | 2 | 0,02 | Разъединитель |
| КЗ – 110М 1Т | 1 | 0,029 | Короткозамыкатель |
| КЗ – 110М 2Т | 1 | 0,025 | Короткозамыкатель |
| ОДЗ-110м/630 1Т | 1 | 0,037 | Отделитель |
| ОДЗ-110м/630 2Т | 1 | 0,026 | Отделитель |
| ТМН – 63000/110/10 | 2 | 0,08 | Трансформатор |

Таблица 21 – Элементы сети 10 кВ

| Тип оборудования | Длина, км количество, шт | ω, отказ/год при U 10 кВ | Элемент сети |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|
| ВМПП-10-630-20 | 1 | 0,011 | Секционный выключатель |
| ВМПП-10-630-20 | 5 | 0,063 | Выключатель |
| ВМПП-10-630-20 | 2 | 0,011 | Выключатель |
| ВВТЭ-10-20 | 1 | 0,009 | Выключатель |

Таблица 22 – Результаты расчета показателей надежности системы электроснабжения

| Параметр | Выборочное среднее M | Сред. квадр. отклонение S | Доверит. интервал для M с $\beta = 0,95$ | |
|---------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------|------------------------------------------|--------|
| | | | | |
| Количество внезапных отключений потребителей, откл./год | 0,7808/0,7137 | 0,0671 | 0,662 | 0,8729 |
| в том числе из-за отказов: | | | | |
| ЛЭП 110 кВ | 0,6636/0,6162 | 0,0474 | 0,5979 | 0,7291 |
| Разъединителя 110 кВ | 0,0083/0,0075 | 0,0008 | 0,0077 | 0,0089 |
| Отделителя 110 кВ | 0,0315/0,03 | 0,0015 | 0,0029 | 0,0336 |
| Короткозамыкателя 110 кВ | 0,027/0,02 | 0,007 | 0,0173 | 0,0367 |
| Трансформатора ГПП 110/10 | 0,04/0,03 | 0,01 | 0,0261 | 0,0539 |
| Выключателя 10 кВ | 0,0104/0,01 | 0,0004 | 0,0101 | 0,0107 |

2.3 Расчет продолжительности внезапных отключений потребителей

Значение средней продолжительности одного внезапного отключения потребителя определялось как средневзвешенная длительность отключений, исходя из числа повреждений основных элементов цепи «источник – потребитель [2]:

$$\tau = \frac{N_{\text{ВЛ}} \cdot \tau_{\text{ВЛ}} + N_{\text{р}} \cdot \tau_{\text{р}} + N_{\text{од}} \cdot \tau_{\text{од}} + N_{\text{кз}} \cdot \tau_{\text{кз}} + N_{\text{т}} \cdot \tau_{\text{т}} + N_{\text{ВЛ}} \cdot \tau_{\text{ВЛ}} + N_{\text{в}} \cdot \tau_{\text{в}} + N_{\text{р}} \cdot \tau_{\text{р}} + N_{\text{в}} \cdot \tau_{\text{в}}}{N_{\Sigma}}, \quad (3)$$

где τ – средние продолжительности внезапных отключений потребителя

при повреждении соответственно на ЛЭП 110 кВ и на разъединителе 110 кВ, отделителе 110 кВ, короткозамкатель 110 кВ, в трансформаторе ПС 110/35 кВ, на питающей потребителя ВЛ 35 кВ; на выключателе 35 кВ, разъединителе 35 кВ и выключателе 10 кВ.

Элементы сети 110, 35, 10 кВ ПС – 110/35/10, Подстанция – 1 представлены в таблицах 23– 25.

Таблица 23 – Элементы сети 110 кВ

| Тип оборудования | Длина, км количество, шт | Среднее время восстановления при U 110 кВ, Т _в , час | Элемент сети |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| ВЛ–110 кВ воздушная линия 110кВ выполнена проводом марки АС – 185 | 18,29 | 10,5 | Двухцепная воздушная линия |
| ВЛ–110 кВ воздушная линия 35кВ выполнена проводом марки АС – 135 | 4,42 | 8,8 | Двухцепная воздушная линия |
| РЛНДЗ-2-110/1000 | 1 | 4,8 | Линейный разъединитель |
| РЛНДЗ-16-110/1000 | 2 | 7 | Секционный разъединитель |
| РНДЗ-2-110/1000 | 3 | 15,75 | Линейный разъединитель |
| МКП-110М-1000/630А-20У1 | 1 | 14,2 | Секционный выключатель |
| КЗ – 110 | 1 | 4,4 | Короткозамкатель |
| ОДЗ-110м/630 | 1 | 5 | Отделитель |
| ТМТН – 16000/110/35/10 | 1 | 72,7 | Трансформатор |

Таблица 24 – Элементы сети 35 кВ

| Тип оборудования | Длина, км количество, шт | Среднее время восстановления при U 35 кВ, Т _в , час | Элемент сети |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| ВЛ–35 кВ воздушная линия 35кВ выполнена проводом марки АС – 185 | 12,872 | 7,5 | Двухцепная воздушная линия |
| С-35-630-10 | 1 | 16,3 | Выключатель |
| С-35-630-10 | 2 | 34,4 | Выключатель |
| РНДЗ-16-35/1000 | 2 | 7,8 | Разъединитель |
| РНДЗ-2-35/1000 | 1 | 4 | Разъединитель |
| РНДЗ-16-35/1000 | 3 | 12,6 | Разъединитель |
| РНДЗ-2-35/1000 | 2 | 8,8 | Линейный разъединитель |

Таблица 25 – Элементы сети 10 кВ

| Элемент сети | Тип оборудования | Длина, км количество, шт | Среднее время восстановления при U 10 кВ Т _в , час |
|--------------|------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Выключатель | ВМП – 10К/1000 | 1 | 10,95 |
| Выключатель | ВМПЭ – 10К | 1 | 11 |
| Выключатель | ВМПЭ – 10К | 3 | 33,6 |
| Выключатель | ВМПЭ – 10К | 2 | 22,8 |

Расчет количества внезапных отключений по существующей схеме электроснабжения 110/35/10 кВ был произведен по формуле (3) описанной выше. Все аналитические расчеты были произведены в табличном редакторе MS Excel. Были рассчитаны выборочное среднее M , выборочное среднее квадратичное отклонение S и доверительный интервал для M с заданной надежностью β . Результаты расчета представим в таблицах 26,29,32,35,38,41,44.

Таблица 26 – Результаты расчета показателей надежности системы электроснабжения

| Параметр | Выборочное среднее M | Сред. квадр. отклонение S | Доверит. интервал для M с $\beta = 0,95$ | |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|--------|
| Средняя продолжительность одного внезапного отключения потребителя, ч | 15,028/13,518 | 1,5102 | 12,803 | 17,251 |
| в том числе из-за отказов: | | | | |
| ЛЭП 110 кВ | 9,65/7 | 2,65 | 5,977 | 13,323 |
| Разъединителя 110 кВ | 4,592/4,15 | 0,442 | 4,238 | 4,946 |
| Отделителя 110 кВ | 5/3,5 | 1,5 | 2,06 | 7,94 |
| Короткозамыкателя 110 кВ | 4,4/3,5 | 0,9 | 2,64 | 6,16 |
| Выключателя 110 кВ | 14,2/13,1 | 1,1 | 12,04 | 16,35 |
| Трансформатора ГПП 110/35/10 | 72,7/70,1 | 2,6 | 67,6 | 77,8 |
| ЛЭП 35 кВ | 7,5/7 | 0,5 | 6,52 | 8,48 |
| Выключателя 35 кВ | 16,9/13,6 | 3,3 | 13,16 | 20,63 |
| Разъединителя 35 кВ | 4,15/3,6 | 0,55 | 3,77 | 4,53 |
| Выключателя 10 кВ | 11,19/9,63 | 1,56 | 10,03 | 12,35 |

Элементы сети 35, 10 кВ ПС – 35/10 Подстанция – 2 представлены в таблицах 27, 28.

Таблица 27 – Элементы сети 35 кВ

| Элемент сети | Тип оборудования | Длина, км количество, шт | Среднее время восстановления при U 35 кВ, T _в , ч. |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Воздушная линия | ВЛ–35 кВ воздушная линия 35кВ выполнена проводом марки АС - 70 | 21,215 | 7,8 |
| Воздушная линия | ВЛ–35 кВ Т–66 | 20,56 | 9 |
| Линейный разъединитель | РНДЗ - 2 – 35/1000 | 2 | 7,8 |
| Секционный выключатель | ВТ – 35/630 | 1 | 12,7 |
| Разъединитель | РНДЗ – 2 – 35/1000 | 2 | 8,8 |
| Разъединитель | РЛНДЗ – 1 – 35/1000 | 2 | 8,8 |
| Выключатель | ВТ - 35/630 | 2 | 32,6 |
| Трансформатор | ТМ – 1600/35/10 | 2 | 127,8 |

Таблица 28 – Элементы сети 10 кВ

| Элемент сети | Тип оборудования | Длина, км количество, шт | Среднее время восстановления при U 10 кВ, T _в , ч. |
|------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Разъединитель | РВЗ -10/400 | 7 | 33,6 |
| Разъединитель | РВО – 10/400 (яч.3, яч.8) | 2 | 9,64 |
| Выключатель | ВММ - 10-20-630 | 2 | 21,9 |
| Секционный выключатель | ВММ - 10-20-630 | 1 | 9 |
| Выключатель | ВВТЭ – М-10-20/630 (яч.6,9) | 4 | 45,6 |
| Разъединитель | РВЗ – 10/400 | 3 | 15 |
| Линейный разъединитель | РВЗ – 10/400 | 4 | 21 |

Таблица 29 – Результаты расчета показателей надежности системы электроснабжения

| Параметр | Выборочное среднее M | Сред. квадр. отклонение S | Доверит. интервал для M с $\beta = 0,95$ | |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|--------|
| | | | | |
| Средняя продолжительность одного внезапного отключения потребителя, ч | 17,918/16,547 | 1,372 | 16,269 | 19,567 |
| в том числе из-за отказов: | | | | |
| ЛЭП 35 кВ | 8,4/7 | 1,4 | 5,656 | 11,144 |
| Разъединителя 35 кВ | 4,23/3,6 | 0,63 | 3,73 | 4,73 |
| Выключателя 35 кВ | 15,1/13,6 | 1,5 | 13,4 | 16,8 |
| Трансформатора ГПП 35/10 | 63,9/61,3 | 2,6 | 60,3 | 67,5 |
| Разъединителя 10 кВ | 4,95/4,15 | 0,8 | 4,56 | 5,34 |
| Выключателя 10 кВ | 10,93/9,63 | 1,3 | 9,97 | 11,89 |

Элементы сети 35, 10 кВ ПС – 35/10 Подстанция – 3 представлены в таблицах 30, 31.

Таблица 30 – Элементы сети 35 кВ

| Элемент сети | Тип оборудования | Длина, км количество, шт | Среднее время восстановления при U 35 кВ Т _в , ч. |
|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Воздушная линия | ВЛ-35 кВ | 20,56 | 9 |
| Воздушная линия | ВЛ-35 кВ | 16,932 | 7,8 |
| Линейный разъединитель | РЛНДЗ – 1 – 35/600 | 2 | 7,8 |
| Секционный выключатель | ВМ -35/600 | 1 | 12,7 |
| Секционный разъединитель | РЛНД-1-35/600 | 2 | 6,6 |
| Разъединитель | РНДЗ-2-35/1000 | 2 | 8,8 |
| Выключатель | С-35М-630-10У1 | 2 | 34,4 |
| Трансформатор | ТМ – 4000/35/10 | 2 | 127,8 |

Таблица 31 – Элементы сети 10 кВ

| Элемент сети | Тип оборудования | Длина, км количество, шт | Среднее время восстановления при U 10 кВ, Т _в , ч. |
|------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Разъединитель | РВ-10/400 | 13 | 62,4 |
| Разъединитель | РВ-10/400 | 2 | 9,64 |
| Выключатель | ВМГ-133 П (яч.3,5,15) | 3 | 32,85 |
| Выключатель | ВМП-10 (яч.17) | 1 | 10,95 |
| Выключатель | ВБЧ-С-10-20/630 | 8 | 91,2 |
| Секционный выключатель | ВБЧ-С-10-20/630 | 1 | 8,8 |
| Линейный разъединитель | РВ – 10/400 | 4 | 21 |

Таблица 32 – Результаты расчета показателей надежности системы электроснабжения

| Параметр | Выборочное среднее М | Сред. квадр. отклонение S | Доверит. интервал для М с $\beta = 0,95$ | |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|--------|
| | | | | |
| Средняя продолжительность одного внезапного отключения потребителя, ч | 17,97/16,547 | 1,423 | 16,428 | 19,512 |
| в том числе из-за отказов: | | | | |
| ЛЭП 35 кВ | 8,4/7 | 1,4 | 6,46 | 10,34 |
| Разъединителя 35 кВ | 3,87/3,6 | 0,27 | 3,65 | 4,09 |
| Выключателя 35 кВ | 15,7/13,6 | 2,1 | 13,32 | 18,08 |
| Трансформатора ГПП 35/10 | 63,9/61,3 | 2,6 | 60,3 | 67,5 |
| Выключателя 10 кВ | 11,06/9,63 | 1,43 | 10,28 | 11,84 |
| Разъединителя 10 кВ | 4,89/4,15 | 0,74 | 4,56 | 5,22 |

Элементы сети 35, 10 кВ ПС – 35/10 Подстанция – 4 представлены в таблицах 33, 34.

Таблица 33 – Элементы сети 35 кВ

| Элемент сети | Тип оборудования | Длина, км количество, шт | Среднее время восстановления при U 35 кВ Т _в , час |
|------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Воздушная линия | ВЛ–35 кВ | 28,083 | 8 |
| Воздушная линия | ВЛ–35 кВ | 12,872 | 7,5 |
| Линейный разъединитель | РНД – 16 – 35/1000 | 2 | 7,8 |
| Разъединитель | TEND – 35/600/11 (РЛНД-35) | 1 | 4,4 |
| Трансформатор | ТМ – 3150/35 | 1 | 63,9 |

Таблица 34 – Элементы сети 10 кВ

| Элемент сети | Тип оборудования | Длина, км количество, шт | Среднее время восстановления при U 10 кВ Т _в , час |
|---------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Разъединитель | TLDA – 10/400 – 31 | 1 | 5,25 |
| Выключатель | ВБЧ – СП – 10 – 20/630 | 1 | 11,4 |

Таблица 35 – Результаты расчета показателей надежности системы электроснабжения

| Параметр | Выборочное среднее М | Сред. квадр. отклонение S | Доверит. интервал для М с $\beta = 0,95$ | |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|--------|
| Средняя продолжительность одного внезапного отключения потребителя, ч | 18,474/17,44 | 1,034 | 16,612 | 20,334 |
| в том числе из-за отказов: | | | | |
| ЛЭП 35 кВ | 7,75/7 | 0,75 | 6,71 | 8,79 |
| Разъединителя 35 кВ | 4,07/3,6 | 0,47 | 3,54 | 4,6 |
| Трансформатора ГПП 35/10 | 63,9/61,3 | 2,6 | 58,8 | 68,99 |
| Выключателя 10 кВ | 11,4/10,5 | 0,9 | 9,64 | 13,16 |
| Разъединителя 10 кВ | 5,25/4,8 | 0,45 | 4,37 | 6,13 |

Элементы сети 35, 10 кВ ПС– 35/10 Подстанция – 5 представлены в таблицах 36, 37.

Таблица 36 – Элементы сети 35 кВ

| Элемент сети | Тип оборудования | Длина, км количество, шт | Среднее время восстановления при U 35 кВ T _в , ч. |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Воздушная линия | ВЛ–35 кВ воздушная линия 35кВ выполнена проводом марки АС – 70 | 28,083 | 8 |
| Воздушная линия | ВЛ–35 кВ воздушная линия 35кВ выполнена проводом марки АС - 70 | 27,504 | 8 |
| Линейный разъединитель | РНДЗ – 2 – 35/1000 | 2 | 8 |
| Разъединитель | РЛНД-2-35/600 | 2 | 8,8 |
| Трансформатор | ТМ – 1600/35 | 2 | 127,8 |

Таблица 37 – Элементы сети 10 кВ

| Элемент сети | Тип оборудования | Длина, км количество, шт | Среднее время восстановления при U 10 кВ T _в , ч. |
|------------------------|------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Разъединитель | РВ-10/400 | 10 | 48 |
| Выключатель | ВМГ-133-600 | 5 | 54,75 |
| Выключатель | ВМГ-10 | 1 | 10,95 |
| Секционный выключатель | ВМГ-10 (яч.8) | 1 | 8,8 |
| Выключатель | ВМГ-10 | 2 | 22,8 |
| Линейный разъединитель | РВ – 10/400 | 6 | 30 |
| Разъединитель | РВ – 10/400 | 2 | 10,5 |

Таблица 38 – Результаты расчета показателей надежности системы электроснабжения

| Параметр | Выборочное среднее M | Сред. квадр. отклонение S | Доверит. интервал для M с $\beta = 0,95$ | |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|--------|
| | | | | |
| Средняя продолжительность одного внезапного отключения потребителя, ч | 18,357/17,196 | 1,161 | 17,079 | 19,635 |
| в том числе из-за отказов: | | | | |
| ЛЭП 35 кВ | 8/7 | 1 | 6,61 | 9,39 |
| Разъединителя 35 кВ | 4,2/3,9 | 0,3 | 3,906 | 4,494 |
| Трансформатора ГПП 35/10 | 63,9/61,3 | 2,6 | 60,3 | 67,5 |
| Выключателя 10 кВ | 10,81/9,63 | 1,18 | 10,04 | 11,58 |
| Разъединителя 10 кВ | 4,875/4,15 | 0,725 | 4,54 | 5,21 |

Элементы сети 35, 10 кВ ПС– 35/10 Подстанция – 6 представлены в таблицах 39, 40.

Таблица 39 – Элементы сети 35 кВ

| Элемент сети | Тип оборудования | Длина, км количество, шт | Среднее время восстановления при U 35 кВ, T _в , час |
|--------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Воздушная линия | ВЛ–35 кВ выполнена проводом марки АС - 70 | 18,359 | 7,5 |
| Воздушная линия | ВЛ–35 кВ выполнена проводом марки АС - 70 | 27,504 | 8 |
| Линейный разъединитель | РНДЗ – 2 – 35/1000 | 1 | 4,4 |
| Выключатель | ВМ - 35/600 – 6,6 | 1 | 16,3 |
| Разъединитель | РЛНД - 35/1000 | 1 | 4 |
| Линейный разъединитель | РНДЗ – 35/1000 | 1 | 5,25 |
| Секционный разъединитель | РЛНД - 35/600 | 2 | 6,6 |
| Выключатель | ВТД -35/630-12,5 | 2 | 34,4 |
| Трансформатор | ТМН – 4000/35 | 2 | 127,8 |

Таблица 40 – Элементы сети 10 кВ

| Элемент сети | Тип оборудования | Длина, км количество, шт | Среднее время восстановления при U 10 кВ T _в , ч |
|------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Разъединитель | РВ-10/400 | 14 | 67,2 |
| Разъединитель | РВ-10/400 (яч.16) | 1 | 4,8 |
| Выключатель | ВМГ-133-600-20 | 4 | 43,8 |
| Выключатель | ВМГ-10/630 | 4 | 43,8 |
| Секционный выключатель | ВМГ-10/630 | 1 | 9 |
| Разъединитель | РВ – 10/400 | 2 | 10 |
| Линейный разъединитель | РВ – 10/400 | 7 | 36,75 |

Таблица 41 – Результаты расчета показателей надежности системы электроснабжения

| Параметр | Выборочное среднее M | Сред. квадр. отклонение S | Доверит. интервал для M с $\beta = 0,95$ | |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|-------|
| | | | | |
| Средняя продолжительность одного внезапного отключения потребителя, ч | 18,047/16,547 | 1,5 | 16,412 | 19,68 |
| в том числе из-за отказов: | | | | |
| ЛЭП 35 кВ | 7,75/7 | 0,75 | 6,71 | 8,79 |
| Разъединителя 35 кВ | 4,05/3,6 | 0,45 | 3,65 | 4,44 |
| Выключателя 35 кВ | 16,9/13,6 | 3,3 | 13,17 | 20,63 |
| Трансформатора ГПП 35/10 | 63,9/61,3 | 2,6 | 60,3 | 67,5 |
| Выключателя 10 кВ | 10,73/9,63 | 1,1 | 10,01 | 11,45 |
| Разъединителя 10 кВ | 4,95/4,15 | 0,8 | 4,63 | 5,27 |

Элементы сети 110, 10 кВ ПС 110/10 Подстанция – 7 представлены в таблицах 42, 43.

Таблица 42 – Элементы сети 110 кВ

| Элемент сети | Тип оборудования | Длина, км количество, шт | Среднее время восстановления при U 110 кВ Т _в , час |
|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Воздушная линия | ВЛ–110 кВ | 14,8 | 8,8 |
| Воздушная линия | ВЛ–110 кВ | 16,8 | 10,5 |
| Секционный разъединитель | РНДЗ-16-110/1000 У1 | 2 | 7,6 |
| Линейный разъединитель | РНДЗ-2-110/1000 У1 | 4 | 21 |
| Короткозамыкатель | КЗ – 110М 1Т | 1 | 4,8 |
| Короткозамыкатель | КЗ – 110М 2Т | 1 | 5 |
| Отделитель | ОДЗ-110М/630 1Т | 1 | 4,4 |
| Отделитель | ОДЗ-110М/630 2Т | 1 | 4,8 |
| Трансформатор | ТМН – 63000/110/10 | 2 | 145,4 |

Таблица 43 – Элементы сети 10 кВ

| Элемент сети | Тип оборудования | Длина, км количество, шт | Среднее время восстановления при U 10 кВ Т _в , час |
|------------------------|------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Секционный выключатель | ВМПП-10-630-20 | 1 | 9 |
| Выключатель | ВМПП-10-630-20 | 7 | 76,65 |
| Выключатель | ВВТЭ-10-20 | 1 | 11,4 |

Таблица 44 – Результаты расчета показателей надежности системы электроснабжения

| Параметр | Выборочное среднее М | Сред. квадр. отклонение S | Доверит. интервал для М с $\beta = 0,95$ | |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|--------|
| | | | | |
| Средняя продолжительность одного внезапного отключения потребителя, ч | 17,9/16,31 | 1,537 | 15,903 | 19,897 |
| в том числе из-за отказов: | | | | |
| ЛЭП 110 кВ | 9,65/7 | 2,65 | 5,977 | 13,323 |
| Разъединителя 110 кВ | 4,77/4,15 | 0,62 | 4,27 | 5,27 |
| Отделителя 110 кВ | 4,6/3,5 | 1,1 | 3,08 | 6,12 |
| Короткозамыкателя 110 кВ | 4,9/3,5 | 1,4 | 2,96 | 6,84 |
| Трансформатора ГПП 110/10 | 72,7/70,1 | 2,3 | 69,1 | 76,3 |
| Выключателя 10 кВ | 10,78/9,63 | 1,15 | 10,03 | 11,53 |

Таблица 45 – Результаты расчета среднего времени восстановления элемента сети в течение года

| Параметр | Средняя продолжительность одного внезапного отключения потребителя, ч | | Количество внезапных отключений потребителей, откл./год | | Среднее время восстановления элемента СЭС в течение одного года, ч. | |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------|--------|---------------------------------------------------------------------|-------|
| 1 | 2 | | 3 | | 4 | |
| ПС 110/35/10, Подстанция - 1 | | | | | | |
| Всего | | | | | 8,82 | 7,244 |
| в том числе из-за отказов: | | | | | | |
| ЛЭП 110 кВ | 9,65 | 7 | 0,477 | 0,443 | 4,603 | 3,101 |
| Разъединителя 110 кВ | 4,592 | 4,15 | 0,01 | 0,0075 | 0,046 | 0,031 |
| Отделителя 110 кВ | 5 | 3,5 | 0,037 | 0,03 | 0,185 | 0,105 |
| Короткозамыкателя 110 кВ | 4,4 | 3,5 | 0,029 | 0,02 | 0,128 | 0,07 |
| Выключателя 110 кВ | 14,2 | 13,1 | 0,02 | 0,01 | 0,284 | 0,131 |
| Трансформатора ГПП 110/35/10 | 72,7 | 70,1 | 0,04 | 0,03 | 2,908 | 2,103 |
| ЛЭП 35 кВ | 7,5 | 7 | 0,0309 | 0,206 | 0,232 | 1,442 |
| Выключателя 35 кВ | 16,9 | 13,6 | 0,012 | 0,01 | 0,201 | 0,136 |
| Разъединителя 35 кВ | 4,15 | 3,6 | 0,009 | 0,008 | 0,0374 | 0,029 |
| Выключателя 10 кВ | 11,19 | 9,63 | 0,0174 | 0,01 | 0,195 | 0,096 |
| ПС – 35/10 Подстанция - 2 | | | | | | |
| Всего | | | | | 9,1 | 3,372 |
| в том числе из-за отказов: | | | | | | |
| ЛЭП 35 кВ | 8,4 | 7 | 0,93 | 0,334 | 7,812 | 2,338 |
| Разъединителя 35 кВ | 4,23 | 3,6 | 0,009 | 0,008 | 0,038 | 0,029 |
| Выключателя 35 кВ | 15,1 | 13,6 | 0,011 | 0,01 | 0,166 | 0,136 |
| Трансформатора ГПП 35/10 | 63,9 | 61,3 | 0,013 | 0,012 | 0,831 | 0,736 |
| Разъединителя 10 кВ | 4,95 | 4,15 | 0,0098 | 0,009 | 0,049 | 0,037 |
| Выключателя 10 кВ | 10,93 | 9,63 | 0,0187 | 0,01 | 0,204 | 0,096 |
| ПС – 35/10 Подстанция - 3 | | | | | | |
| Всего | | | | | 4,341 | 2,827 |
| в том числе из-за отказов: | | | | | | |
| ЛЭП 35 кВ | 8,4 | 7 | 0,3985 | 0,2999 | 3,347 | 2,099 |
| Разъединителя 35 кВ | 3,87 | 3,6 | 0,0083 | 0,008 | 0,032 | 0,029 |
| Выключателя 35 кВ | 15,7 | 13,6 | 0,0103 | 0,01 | 0,162 | 0,136 |
| Трансформатора ГПП 35/10 | 63,9 | 61,3 | 0,009 | 0,007 | 0,575 | 0,429 |
| Выключателя 10 кВ | 11,06 | 9,63 | 0,0159 | 0,01 | 0,176 | 0,096 |
| Разъединителя 10 кВ | 4,89 | 4,15 | 0,01 | 0,009 | 0,049 | 0,037 |
| ПС– 35/10 Подстанция - 4 | | | | | | |
| Всего | | | | | 4,587 | 2,293 |
| в том числе из-за отказов: | | | | | | |
| ЛЭП 35 кВ | 7,75 | 7 | 0,4595 | 0,3276 | 3,561 | 2,293 |
| Разъединителя 35 кВ | 4,07 | 3,6 | 0,0093 | 0,008 | 0,038 | 0,029 |
| Трансформатора ГПП 35/10 | 63,9 | 61,3 | 0,0075 | 0,007 | 0,479 | 0,429 |
| Выключателя 10 кВ | 11,4 | 10,5 | 0,04 | 0,01 | 0,456 | 0,105 |
| Разъединителя 10 кВ | 5,25 | 4,8 | 0,01 | 0,009 | 0,053 | 0,432 |

Окончание таблицы 45

| 1 | 2 | | 3 | | 4 | |
|----------------------------|-------|------|--------|--------|-------|--------|
| ПС- 35/10 Подстанция – 5 | | | | | | |
| Всего | | | | | 5,953 | 3,888 |
| в том числе из-за отказов: | | | | | | |
| ЛЭП 35 кВ | 8 | 7 | 0,5985 | 0,4447 | 4,788 | 3,113 |
| Разъединителя 35 кВ | 4,2 | 3,6 | 0,009 | 0,008 | 0,038 | 0,029 |
| Трансформатора ГПП 35/10 | 63,9 | 61,3 | 0,011 | 0,01 | 0,703 | 0,613 |
| Выключателя 10 кВ | 10,81 | 9,63 | 0,0293 | 0,01 | 0,317 | 0,096 |
| Разъединителя 10 кВ | 4,875 | 4,15 | 0,0221 | 0,009 | 0,108 | 0,037 |
| ПС- 35/10 Подстанция – 6 | | | | | | |
| Всего | | | | | 4,611 | 3,297 |
| в том числе из-за отказов: | | | | | | |
| ЛЭП 35 кВ | 7,75 | 7 | 0,482 | 0,367 | 3,736 | 2,569 |
| Разъединителя 35 кВ | 4,05 | 3,6 | 0,0082 | 0,008 | 0,033 | 0,029 |
| Выключателя 35 кВ | 16,9 | 13,6 | 0,0103 | 0,01 | 0,174 | 0,136 |
| Трансформатора ГПП 35/10 | 63,9 | 61,3 | 0,008 | 0,007 | 0,511 | 0,429 |
| Выключателя 10 кВ | 10,73 | 9,63 | 0,0101 | 0,01 | 0,108 | 0,096 |
| Разъединителя 10 кВ | 4,95 | 4,15 | 0,0098 | 0,009 | 0,049 | 0,037 |
| ПС 110/10 Подстанция – 7 | | | | | | |
| Всего | | | | | 9,741 | 6,716 |
| в том числе из-за отказов: | | | | | | |
| ЛЭП 110 кВ | 9,65 | 7 | 0,6636 | 0,6162 | 6,404 | 4,3114 |
| Разъединителя 110 кВ | 4,77 | 4,15 | 0,0083 | 0,0075 | 0,040 | 0,031 |
| Отделителя 110 кВ | 4,6 | 3,5 | 0,0315 | 0,03 | 0,145 | 0,105 |
| Короткозамыкателя 110 кВ | 4,9 | 3,5 | 0,027 | 0,02 | 0,132 | 0,070 |
| Трансформатора ГПП 110/10 | 72,7 | 70,1 | 0,04 | 0,03 | 2,908 | 2,103 |
| Выключателя 10 кВ | 10,78 | 9,63 | 0,0104 | 0,01 | 0,112 | 0,096 |

На рисунках 2 – 8 представлены диаграммы распределения среднего времени восстановления элементов СЭС в течение одного года.

Элементы СЭС цепи «источник –потребитель»:

$T_{срвл}$ – ЛЭП 110 кВ;

$T_{срр}$ – разъединитель Р-110 кВ;

$T_{сро}$ – отделитель ОД-110 кВ;

$T_{сркз}$ – короткозамыкатель КЗ-110 кВ;

$T_{срв}$ – выключатель В-110 кВ;

$T_{срт}$ – трансформатор, питающий потребителей Т-110;

$T_{срвл}$ – ЛЭП 35 кВ;

$T_{срв}$ – выключатель В-35 кВ;

$T_{срр}$ – разъединитель Р-35 кВ;

$T_{срв}$ – выключатель В-10 кВ.

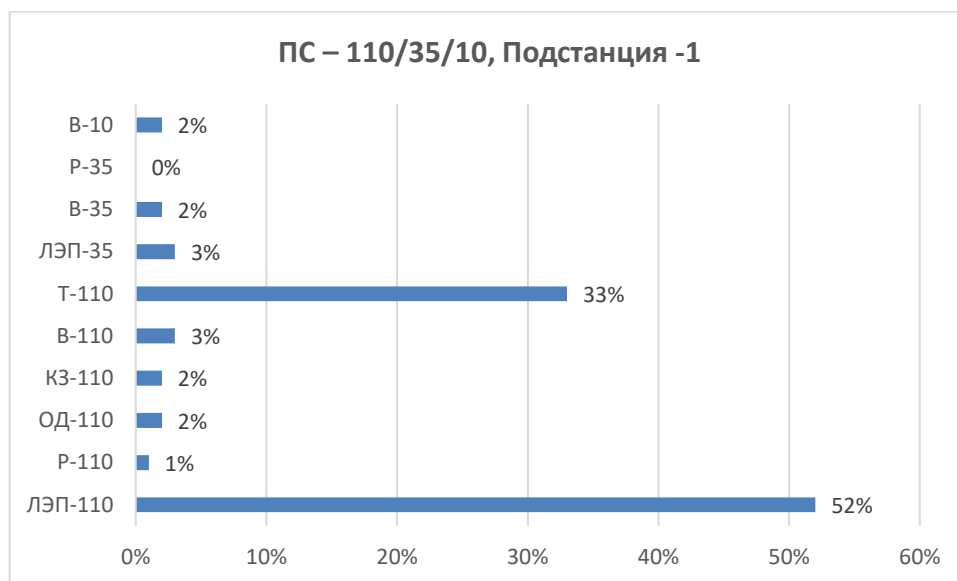


Рисунок 2 – Диаграмма распределения среднего времени восстановления элемента СЭС в течение одного года

Элементы СЭС цепи «источник – потребитель»:

$T_{срвл}$ – ЛЭП 35 кВ;

$T_{срр}$ – разъединитель Р-10 кВ;

$T_{срр}$ – разъединитель Р-35 кВ;

$T_{срв}$ – выключатель В-10 кВ.

$T_{срв}$ – выключатель В-35 кВ;

$T_{срт}$ – трансформатор, питающий потребителей Т-35;

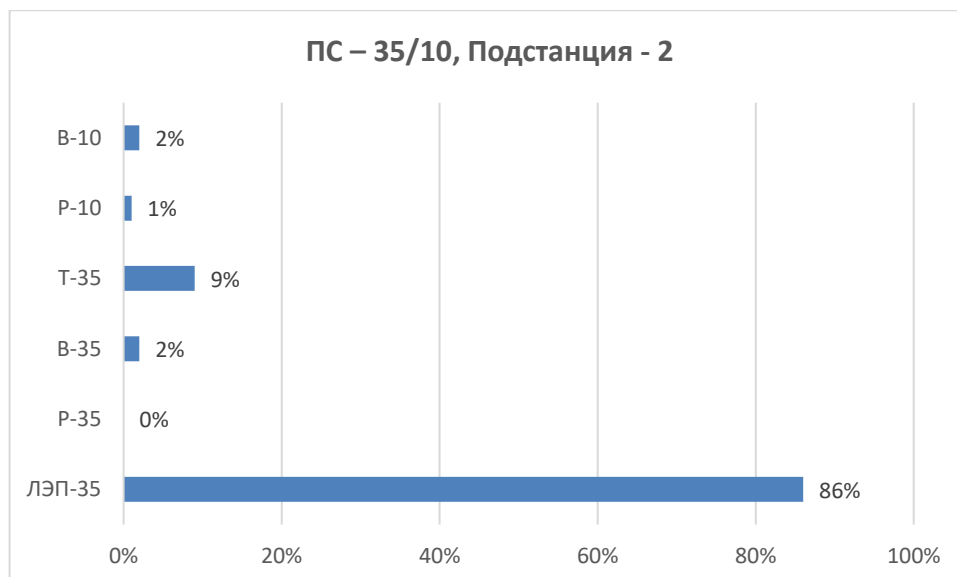


Рисунок 3 – Диаграмма распределения среднего времени восстановления элемента СЭС в течение одного года

Элементы СЭС цепи «источник – потребитель»:

$T_{срвл}$ – ЛЭП 35 кВ;

$T_{срр}$ – разъединитель Р-35 кВ;

$T_{срв}$ – выключатель В-35 кВ;

$T_{срт}$ – трансформатор, питающий потребителей Т-35;

$T_{срв}$ – выключатель В-10 кВ;

$T_{срр}$ – разъединитель Р-10 кВ.

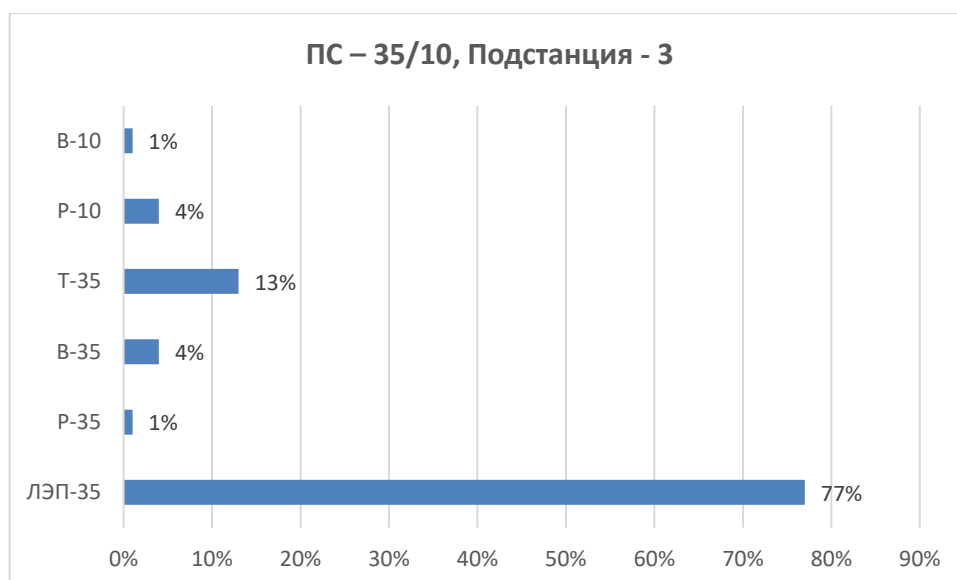


Рисунок 4 – Диаграмма распределения среднего времени восстановления элемента СЭС в течение одного года

Элементы СЭС цепи «источник – потребитель»:

$T_{срвл}$ – ЛЭП 35 кВ;

$T_{срр}$ – разъединитель Р-35 кВ;

$T_{срт}$ – трансформатор, питающий потребителей Т-35;

$T_{срв}$ – выключатель В-10 кВ;

$T_{срр}$ – разъединитель Р-10 кВ.

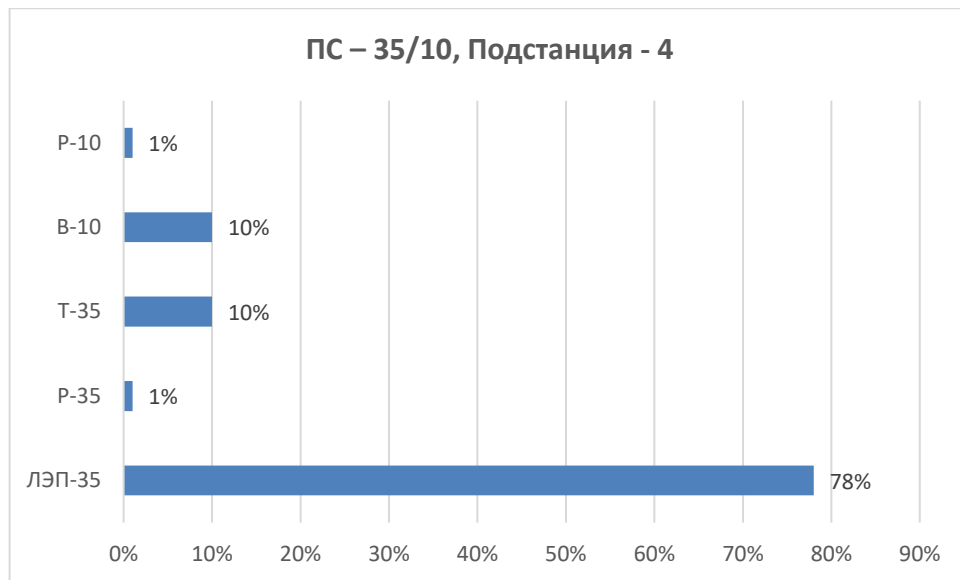


Рисунок 5 – Диаграмма распределения среднего времени восстановления элемента СЭС в течение одного года

Элементы СЭС цепи «источник – потребитель»:

$T_{срвл}$ – ЛЭП 35 кВ;

$T_{срв}$ – выключатель В-10 кВ;

$T_{срр}$ – разъединитель Р-35 кВ;

$T_{срр}$ – разъединитель Р-10 кВ.

$T_{срт}$ – трансформатор, питающий потребителей Т-35;

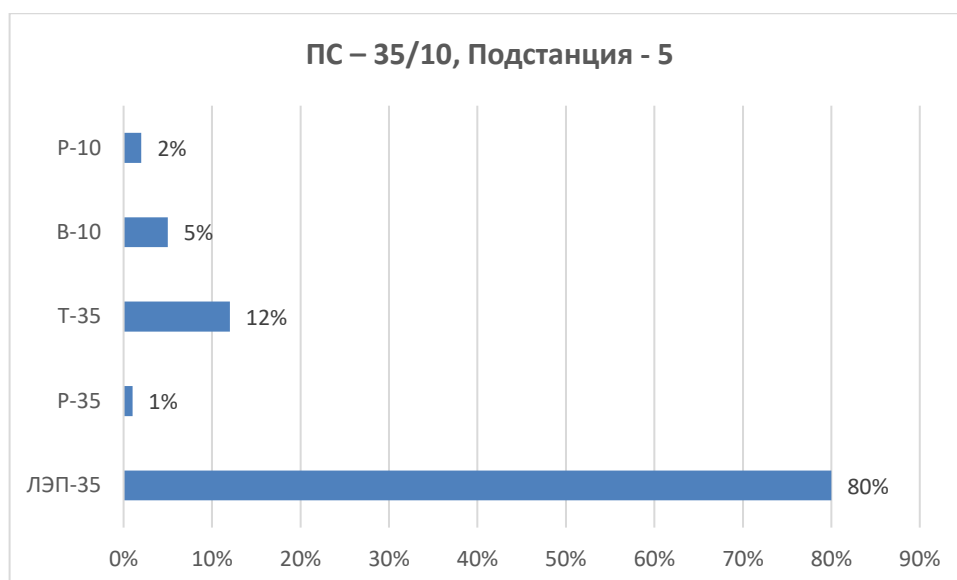


Рисунок 6 – Диаграмма распределения среднего времени восстановления элемента СЭС в течение одного года

Элементы СЭС цепи «источник – потребитель»:

$T_{срвл}$ – ЛЭП 35 кВ;

$T_{срр}$ – разъединитель Р-35 кВ;

$T_{срв}$ – выключатель В-35 кВ;

$T_{срт}$ – трансформатор, питающий потребителей Т-35;

$T_{срв}$ – выключатель В-10 кВ;

$T_{срр}$ – разъединитель Р-10 кВ.

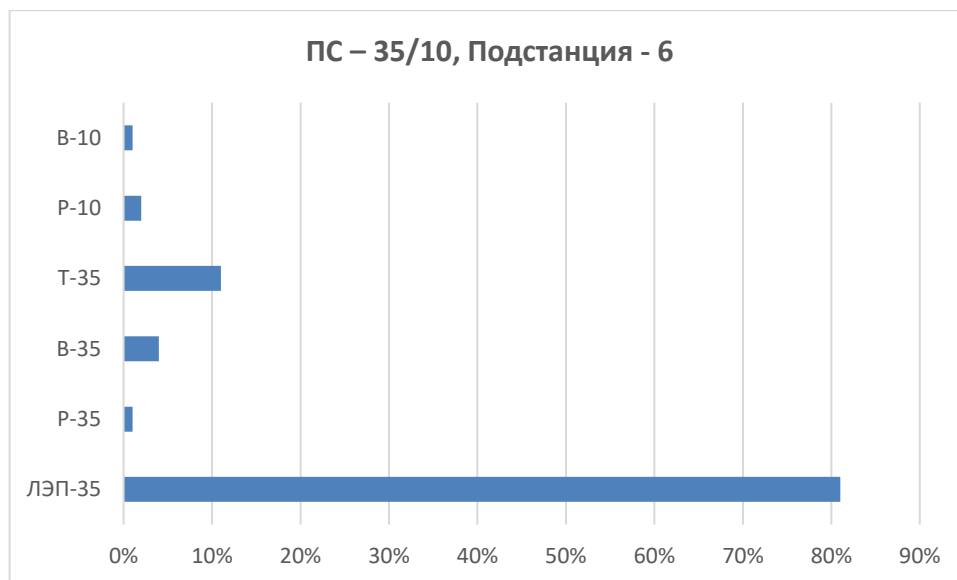


Рисунок 7 – Диаграмма распределения среднего времени восстановления элемента СЭС в течение одного года

Элементы СЭС цепи «источник – потребитель»: $T_{срт}$ – трансформатор, питающий потребителей Т-110;

$T_{срвл}$ – ЛЭП 110 кВ;

$T_{срвл}$ – ЛЭП 35 кВ;

$T_{срр}$ – разъединитель Р-110 кВ;

$T_{срв}$ – выключатель В-35 кВ;

$T_{сро}$ – отделитель ОД-110 кВ;

$T_{срр}$ – разъединитель Р-35 кВ;

$T_{сркз}$ – короткозамыкатель КЗ

$T_{срв}$ – выключатель В-110 кВ;

$T_{срв}$ – выключатель В-10 кВ.

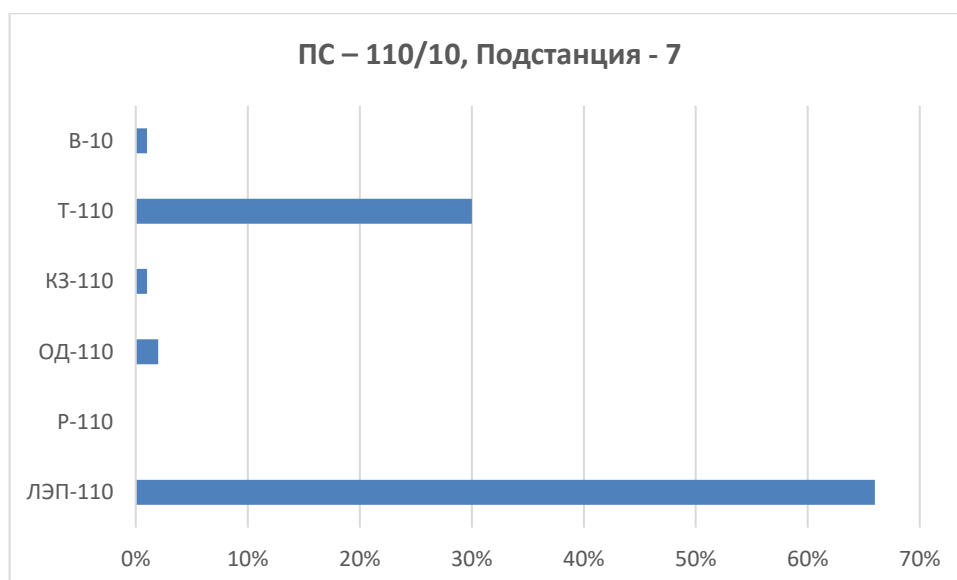


Рисунок 8 – Диаграмма распределения среднего времени восстановления элемента СЭС в течение одного года

В процессе эксплуатации электрических сетей наибольшее время восстановления относится к линиям 110 кВ, трансформаторам напряжением 110/10 кВ, выключателям 10 кВ. С точки зрения опыта эксплуатации электрических сетей и выполненных расчетов, упомянутые элементы не относятся к высоконадежным. Например, воздушные линии подвержены грозovým разрядам, старению изоляции, преднамеренным и непреднамеренным сторонним воздействиям, связанным с человеческим фактором и др. Что касается трансформаторных подстанций, то кроме трансформаторов, они включают в себя малонадежные масляные выключатели и другое оборудование, требующее постоянного внимания со стороны эксплуатационников.

В целом анализ надежности эксплуатируемых предприятием электрических сетей показал недостаточный уровень надежности. Основная причина – морально и физически устаревшее электрооборудование.

Сравним полученные данные по каждой подстанции и выявим самые ненадежные элементы и их среднее время восстановления в течение одного

года в %. Сопоставление показало, что таковыми являются воздушные линии, трансформаторы и выключатели:

ПС – 110/35/10 Подстанция – 1: ЛЭП–110 – 52%, Т–110 – 33%.

ПС – 35/10 Подстанция – 2: ЛЭП–35 – 86%, Т–35 – 9%.

ПС – 35/10 Подстанция – 3: ЛЭП–35 – 77%, Т–35 – 13%.

ПС – 35/10 Подстанция – 4: ЛЭП–35 – 78%, Т–35 – 10%, В–10 – 10%.

ПС – 35/10 Подстанция – 5: ЛЭП–35 – 80%, Т–35 – 12%.

ПС – 35/10 Подстанция – 6: ЛЭП–35 – 81%, Т–35 – 11%.

ПС – 110/10 Подстанция – 7: ЛЭП–110 – 66%, Т–110 – 30%.

Для повышения надежности электрической сети необходима в первую очередь замена данных элементов на более современные.

3 Практическая часть. Мероприятия по повышению надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей

Основной целью мероприятий по повышению надежности электроснабжения является снижение количества, продолжительности внезапных отключений потребителя и ущерба от недоотпуска электроэнергии при перерывах электроснабжения.

Для выбранных потребителей предлагаем следующие мероприятия по повышению надежности электроснабжения:

- 1) Замена неизолированных проводов на самонесущие изолированные провода на участках ВЛ 10 кВ, проходящих через лес;
- 2) Замена неизолированных проводов на изолированные для ВЛ 0,4 кВ, питающих потребителя;
- 3) Применение в ТП 10/0,4кВ на стороне 10кВ местного АВР.

Наибольшую целесообразность для ВЛ 10 кВ имеет замена проводов на участках линий, проходящих через лес, так как на них происходит наибольшее количество повреждений, приводящих к отключению потребителей.

Применение местного АВР на стороне 10кВ позволяет сократить количество внезапных отключений потребителя из-за повреждений на питающей потребителя ВЛ 10 кВ.

Анализ надежности работы электрических сетей через расчетные показатели позволил выявить следующее:

- полученные показатели в целом выше среднестатистических, по причине морального и физического износа электрооборудования;
- повышение надежности может быть обеспечено за счет снижения количества и продолжительности отключений потребителей. Одним из путей достижения положительных результатов можно считать замену устаревшего оборудования на современное;

— так как в настоящее время многие выключатели (типа ВМП, ВМПЭ), установленные на подстанциях уже сняты с производства, то можно предложить, например, замену масляных выключателей на вакуумные, что будет способствовать снижению затрат на их эксплуатацию;

воздушные линии с маркой кабеля АС являются также устаревшими и экономически не целесообразными, поэтому замена неизолированных проводов на самонесущие изолированные провода для ВЛ на напряжение 110кВ (например СИП – 7) будет являться одним из мероприятий по повышению надежности электроснабжения потребителей. При этом потребуется разработка проекта модернизации с учетом дополнительных инвестиций.

Классификация технических мероприятий по повышению надежности приведена на рисунке 9. Рассмотрим основные из них.

Повышение надежности элементов сети достигается применением долговечных материалов для опор и приставок, более прочных проводов, линейных изоляторов с улучшенными электрическими характеристиками, совершенствованием характеристик линейного и подстанционного электрооборудования, использованием подземных облегченных кабелей и самонесущих изолированных проводов. Для повышения надежности электроснабжения, вновь строящиеся и реконструируемые воздушные линии (35 и 10 кВ) сельскохозяйственного назначения целесообразно выполнять соответственно на железобетонных и металлических опорах. Схему сети напряжением 10 (6) кВ необходимо строить по магистральному принципу. Магистраль вновь сооружаемых или реконструируемых линий напряжением 10 (6) кВ исходя из требований надежности должна быть выполнена проводом одной площади поперечного сечения (не менее 70 мм²). На вновь сооружаемых и реконструируемых воздушных линиях напряжением 0,38; 10 (6) кВ целесообразно использовать железобетонные опоры и сталеалюминиевые провода. На конечных, угловых, анкерных и переходных



Рисунок 9 - Классификация технических мероприятий по повышению надежности

опорах воздушных линий напряжением 10 (6) кВ следует применять подвесные линейные изоляторы.

Кабельные линии напряжением 0,38 и 10 (6) кВ рекомендованы для питания потребителей первой категории (по надежности электроснабжения), а также потребителей второй категории в районах с тяжелыми климатическими условиями (четвертая и выше степень опасности района по гололеду и ветру).

Надежность сельских воздушных линий напряжением 0,38 и 10 (6) кВ можно повысить применением самонесущих изолированных проводов. При 0,38 кВ используют самонесущие изолированные провода СИП-1, СИП-2 с алюминиевыми фазными токопроводящими жилами, изоляцией из светосбалансированного термопластичного (СИП-1) или сшитого (СИП-2) полиэтилена. Нулевая несущая жила из алюминиевого сплава может быть изолированной (СИП-1А, СИП-2А) или неизолированной (СИП-1, СИП-2). При 10 (6) кВ применяют одножильный провод СИП-3 с защитной изоляцией из сшитого полиэтилена.

Автоматизация сельских электрических сетей имеет принципиальное значение для обеспечения надежного электроснабжения потребителей. К основным средствам автоматизации относятся устройства автоматического повторного включения (АПВ), автоматические секционирующие аппараты, устройства автоматического ввода резервного питания (АВР).

Каждая линия напряжением 10 (6) кВ (независимо от параметров) должна быть оснащена следующими средствами автоматизации: устройством двукратного АП В, расположенным на головном выключателе линии и секционирующих выключателях; устройством для измерения расстояния до места повреждения воздушной линии на 10 (6) кВ (типа фиксирующего омметра реактивного сопротивления ФМК-10), смонтированным на выключателе ввода в распределительное устройство на 10 (6) кВ подстанции на 35...110/10 (6) кВ; телесигнализацией положения головного выключателя линии 10 (6) кВ и наличия замыкания на землю на подстанции 35...Л 10/10 (6) кВ; телесигнализацией положения секционирующих выключателей 10 (6) кВ линии, телесигнализацией положения выключателей АВР в линии 10 (6) кВ.

Сельские электрические сети напряжением 35 и 110 кВ работают, как правило, по замкнутым схемам, что обеспечивает их повышенную надежность. При этом питание потребителей может происходить по меньшей мере в двух направлениях. Отключение какого-либо из элементов в цепи одного из направлений не приводит к прекращению подачи электроэнергии. Доля аварийных отключений, приходящихся на сети напряжением 35 и 110 кВ, в общем недоотпуске электроэнергии сравнительно невелика.

Сельские электрические сети напряжением 10 (6) кВ строят как радиальными, так и разомкнутыми. По степени надежности их разделяют на нерезервированные и резервированные (или условно замкнутые). В разомкнутых нерезервированных сетях питание каждого потребителя может происходить только в одном направлении. Такие схемы наиболее просты, а их использование не связано с необходимостью больших затрат. Однако при отключении головного участка линии все потребители теряют питание на

время устранения повреждения. Разомкнутые нерезервированные схемы на 10 (6) кВ применяют для электроснабжения сельских потребителей третьей категории по надежности, преимущественно с коммунально-бытовой нагрузкой.

Для электроснабжения потребителей первой и второй категорий необходимо предусматривать условно замкнутые схемы на 10 (6) кВ с сетевым резервированием, а в ряде случаев — с сочетанием сетевого и автономного резервирования.

В случае аварии сетевое резервирование позволяет переключить питание (вручную или автоматически) на соседнюю подстанцию, резервный трансформатор той же подстанции или на резервную линию. На рисунке 14.3 показаны схемы резервирования с АВР на трансформаторных подстанциях. В нормальном режиме линии и трансформаторы работают раздельно, каждая цепь питает свою нагрузку; при повреждении одной из цепей она отключается релейной защитой, а питание ее потребителей переводится на резервную цепь устройством АВР. Схемы могут работать и без устройства АВР, тогда вместо выключателя ВС используют разъединитель S. Перерыв в электроснабжении при автоматическом режиме коммутации равен времени срабатывания релейной защиты и включения выключателя перемычки, т. е. не более 2...3 с. При ручном вводе резервного питания электроснабжение восстанавливает оперативный персонал на подстанции или выездная бригада, что приводит к перерывам в электроснабжении длительностью от нескольких минут до 1...2 ч.

Выключатели с устройством АВР и разъединители для ручного ввода резервного питания разомкнутых резервированных сетей устанавливают не только на трансформаторных подстанциях, но и на распределительных

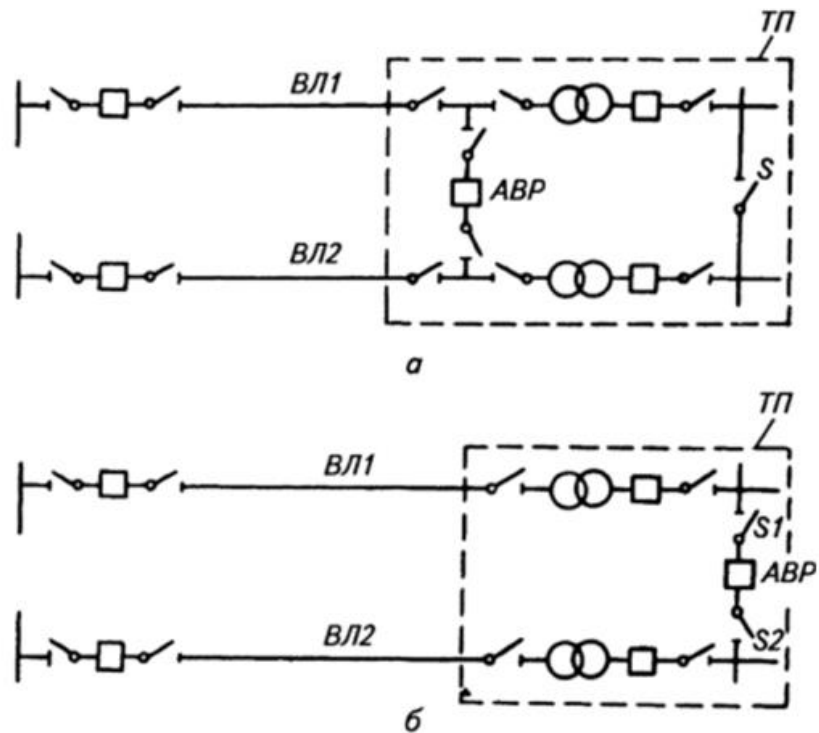


Рисунок 10 - Схемы резервирования сети с АВР на трансформаторных подстанциях:

а — со стороны высшего напряжения; б — со стороны низшего напряжения; ВЛ1, ВЛ2 — воздушные линии

пунктах, а также на специально сооружаемой перемычке, соединяющей две соседние линии одного напряжения.

В соответствии с Нормами технологического проектирования электрических сетей сельскохозяйственного назначения магистральная линия напряжением 10 (6) кВ должна иметь сетевой резерв от независимого источника.

При сетевом резервировании в послеаварийном режиме (по сравнению с нормальным) увеличивается нагрузка одной цепи за счет питания всех (или большей части) потребителей другой, отключенной цепи. Следовательно, необходимо предусмотреть запас пропускной способности воздушной линии и подстанций, обеспечивающих взаимное резервирование. Сетевое резервирование позволяет сократить число и длительность одиночных отключений, вызванных схлестыванием и обрывом проводов, пробоем

изоляции, падением опор ит. д. Оно неэффективно при массовых отказах в электрических сетях в результате действия разрушающих гололедно-ветровых нагрузок, атмосферных перенапряжений (ураган, гроза), когда повреждаются и основная, и резервная линии, расположенные одна вблизи другой.

Эффективное средство повышения надежности электроснабжения — автономное резервирование ответственных потребителей, защищающее их от одиночных и массовых отказов. Установка автономных источников резервного электроснабжения должна быть предусмотрена для резервного питания электроприемников первой категории, а также для электроприемников второй категории, не допускающих перерыва в электроснабжении длительностью более 0,5 ч, независимо от наличия сетевого резерва. Для остальных электроприемников тип резервирования (сетевое или автономное) определяют сравнительной технико-экономической оценкой вариантов с учетом дополнительных затрат и уменьшения ущерба потребителей.

В качестве автономных источников резервного электроснабжения используют стационарные и передвижные дизельные электростанции (ДЭС), а также резервные источники с приводом от трактора (РИПТ). Мощность и число электроагрегатов резервных автономных источников выбирают в соответствии с нагрузкой электроприемников первой и второй категорий.

К недостаткам резервного электроснабжения от автономных источников относятся выборочный характер резервирования, в результате чего отдельные технологические процессы не обеспечиваются надежным питанием (отключаются), а также высокая стоимость электроэнергии, вырабатываемой небольшими резервными электростанциями (в 10... 15 раз дороже энергии, получаемой от централизованной сети).

Важную роль в повышении надежности электроснабжения играет секционирование линий у которое позволяет отключить часть потребителей ближайшим к месту аварии секционирующим аппаратом и тем

самым обеспечить бесперебойное питание остальных потребителей. Применяют неавтоматическое и автоматическое секционирование. Неавтоматическое секционирование относится к числу технических мероприятий, сокращающих в первую очередь число и длительность преднамеренных (плановых) отключений. В качестве неавтоматических секционирующих аппаратов используют линейные разъединители. Неавтоматическое секционирование применяют в дополнение к автоматическому.

В соответствии с Нормами технологического проектирования электрических сетей сельскохозяйственного назначения линейные разъединители устанавливают на ответвлениях от воздушных линий напряжением 10 (6) кВ при их длине более 2,5 км воздушной линии для ограничения длины участка до 3,5 км (включая несекционированные ответвления).

Наличие в сети секционирующих разъединителей облегчает отыскание замыканий на землю, а также уменьшает число потребителей, отключаемых при ремонтных работах. Однако с установкой разъединителей увеличиваются число возможных мест повреждений и объем выполняемых работ. При выборе числа и мест установки разъединителей необходимо учитывать дополнительные отключения, которые они могут вызвать.

При автоматическом секционировании воздушных линий отключаются участки, а остальная неповрежденная часть линии продолжает действовать. Автоматическое секционирование линии в нескольких точках может быть параллельным, последовательным или параллельно-последовательным.

При параллельном секционировании (рис. 14.4, а) действие каждого секционирующего аппарата не зависит от другого, их не следует согласовывать по времени. Надежность электроснабжения повышается в той или иной степени для всех потребителей. При последовательном секционировании (рис. 14.4, б) действие секционирующих аппаратов надо согласовывать по времени. Надежность электроснабжения повышается у всех

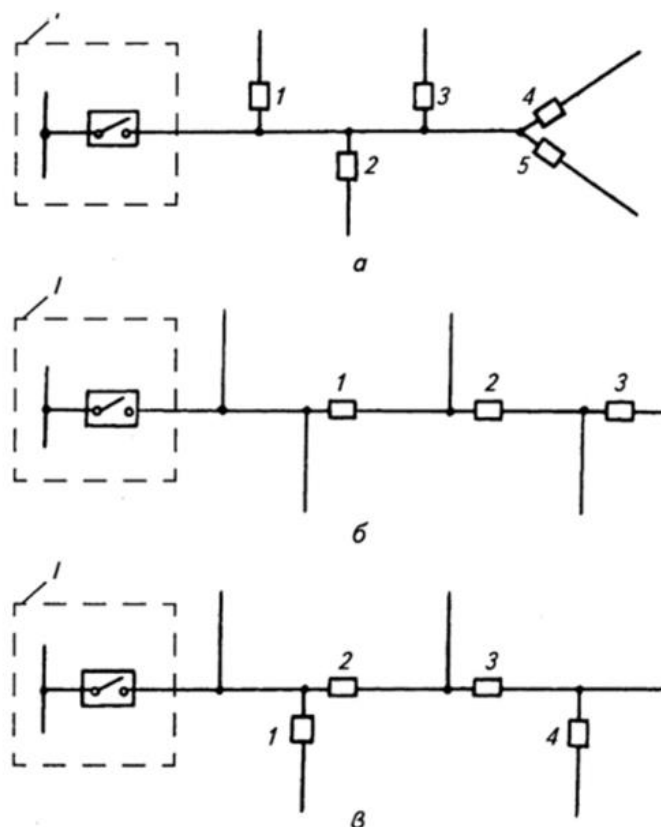


Рисунок 11- Схемы сети с автоматическим секционированием:

а — параллельным; б — последовательным; в — последовательно-
 параллельным; / — районная трансформаторная подстанция 35/10 кВ;
 1...5 — секционирующие выключатели

потребителей, кроме расположенных за последним аппаратом. Наибольшая надежность у потребителей, подключенных до места установки первого секционирующего аппарата. При последовательно-параллельном секционировании (рис. 14.4, в) повышается надежность электроснабжений всех потребителей сети.

Для автоматического секционирования используют системы с предохранителями, сетевыми выключателями и автоматическими отделителями. Основной в настоящее время является система с сетевыми выключателями на базе специальных выключателей на 10 (6) кВ для наружной установки и выключателей в шкафах комплектного распределительного устройства наружной установки (КРУН).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа включает в себя оценку надежности электрических сетей и выработку мероприятий по её повышению. В ходе выполнения работы были получены следующие результаты:

1. Выполнен обзор литературных источников, на основе изучения которых, построен алгоритм выполнения расчетов.

2. Дано обоснование выполнения анализа надежности электрических сетей через расчеты параметров. В качестве методов расчета показателей приемлемыми оказались статистические методы оценки надёжности по данным эксплуатации РЭС.

3. При подготовке к расчетам показателей надежности сельскохозяйственных потребителей составлены структурные схемы передачи и распределения электроэнергии, сформированы исходные данные с привязкой к ним.

4. Выполнены расчеты основных показателей, характеризующих надежность основных элементов электрической сети: количества внезапных отключений потребителей и продолжительности внезапных отключений потребителей.

5. Методами математической статистики определены математические ожидания и дисперсии показателей, необходимые для анализа надежности.

6. Расчетные показатели сгруппированы и представлены в виде диаграмм для удобства их анализа.

7. Выявлены «слабые звенья» в структуре электрических сетей, обслуживаемых РЭС.

8. Предложены мероприятия, детальная проработка которых позволит повысить и обеспечить надежность электрических сетей в процессе их эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. «Надежность систем электроснабжения» для студентов очной формы обучения специальности 140106.65 – «Энергообеспечение предприятий».– Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2012, 175 с.
2. Арзамасцев Д. А. Снижение технологического расхода электроэнергии в электрических сетях / Д.А. Арзамасцев, А.В. Липес. — М.: Высшая школа, 2019. - 127с.
3. Будзко И.А., Гессен В.Ю., Левин М.С. Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий и населенных пунктов. — М.: Колос, 2015.-187 с.
4. Будзко И.А., Левин М. С. Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий и населенных пунктов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Агропромиздат, 2015. 320 с.
5. Будзко И.А., Лещинская Т.Б., Сукманов В.И. Электроснабжение сельского хозяйства. М.: Колос, 2000. - 537 с.
6. Будзко И.А., Степанов В.Н. Электрически линии и сети сельскохозяйственного назначения: Уч. пособ. М.: Колос, 2018.- 488 с.
7. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и её инженерные приложения. – М.: Наука, 2021, -384 с.
8. Воропай Н.И., Ковалёв Г.Ф., Кучеров Ю.Н. Концепция обеспечения надежности в электроэнергетике – М.: ООО ИД «ЭНЕРГИЯ», 2013.
9. Гордеев А. С., Огородников Д. Д., Юдаев И. В. Энергосбережение в сельском хозяйстве/под ред. д. т. н., проф. Гордеева А.С. -СПб.: Лань, 2014. -400 с.
10. Лещинская, Т.Б. Электроснабжение сельского хозяйства/Т.Б. Лещинская, И.В. Наумов. – Москва: Колос. С. 2018. – 650 с.
11. Надежность систем электроснабжения /В.В. Зорин и др. – Киев: Вища школа, Головное издательство, 2014. – 193 с

12. Острейковский В.А. Теория надежности : учеб. : рек. УМО/ В. А. Острейковский. -2-е изд., испр. -М.: Высш. шк., 2018. -464 с.
13. Положение о районе электрических сетей филиала ПАО «Россети – Сибирь» - «Хакасэнерго», 2024.
14. Пухальская О.Ю., Сычев А.В. О повышении надежности электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения / О.Ю. Пухальская, А.В. Сычев //Вестник гомельского технического университета им. П.О. Сухого. – 2019. - №4. – С. 80 – 86.
15. Рожкова Л.Д. Электрооборудование станций и подстанций [текст]: учеб. для техникумов / Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин. - М.: Колос. 2018. - 600 с.
16. Розанов М.Н. Надежность электроэнергетических систем. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 2014. - 200 с., с ил. - (Надежность и качество)
17. Руденко Ю.Н., Ушаков И.А. Надёжность систем энергетики. –М.: Наука, 2022.
18. Русан, В.И. Основные положения методики расчета продолжительности отключения потребителей при повреждении элементов схемы электроснабжения / В.И. Русан, О.Ю. Пухальская // Перспективы и направления развития энергетики: материалы международной науч.-техн. конф., Минск, 22-23 ноября 2017 г./ Белорус. гос. аграр. техн. ун-т.- С. 71-76.
19. Савина Н.В. Теория надежности в электроэнергетике : учеб. пособие/ Н.В. Савина; АмГУ, Эн.ф.. – Благовещенск: изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. – 214 с.
20. Скопинцев В.А. Методические аспекты и подходы к оценке надежности электрической сети /ОАО «Институт «Энергосетьпроект»», Доклад на 76 заседании международного научного семинара им. Ю.Н. Руденко «Задачи надежности реформируемых систем энергетики и методы их решения». – Псков, 2 -6 июля 2015.

21. Стребков, Д.С. О стратегии энергетического обеспечения сельского хозяйства [Текст] / Д.С. Стребков // Техника в сельском хозяйстве, 2004. - № 2.-С. 6-8
22. Стребков, Д.С. Перспективные направления по развитию энергетической базы сельского хозяйства [Текст] / Д.С. Стребков, А.В. Тихомиров // Достижения науки и техники АПК, 2004. - № 6. - С. 22-24.
23. Ушаков И.А. Курс теории надежности систем : учеб. пособие для вузов: доп. Мин. обр. РФ/ И.А. Ушаков. - М.: Дрофа, 2018. -240 с.
24. Федеральный закон РФ от 26.03.2003 г. № 35-ФЗ «Об электроэнергетике».
25. Энергетический аудит в сельском хозяйстве: методические основы./А.С. Гордеев, С.В. Кириллов, Г.И. Попов, В.П. Шелякин. - Мичуринск: ООО «Бис», 2013. -164 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица П 1 – Табличные значения параметров потока отказов элементов электрической сети

| Элемент сети | Воздушные линии: (100 км) - одноцепные - двухцепные (отказ одной) | Трансформаторы | Выключатели (на один выключатель) | Отделители | Разъединители | Короткозамыкатели |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------|------------|---------------|-------------------|
| ω, отказ/год при U 110 кВ | – 3,9 | 0,03 | 0,01 | 0,03 | 0,0075 | 0,02 |
| ω, отказ/год при U 35 кВ | - 3,9 | 0,01 | 0,01 | - | 0,008 | - |
| ω, отказ/год при U 10 кВ | 2 – | 0,01 | 0,01 | - | 0,009 | - |

Таблица П 2 – Табличные значения среднего времени восстановления элементов электрической сети


| Элемент сети | Воздушные линии | Отделители | Короткозамыкатели | Трансформаторы | Линейные | Секционные разъединители | Линейные выключатели | Секционные выключатели | Разъединители | Выключатели |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------|-------------------|----------------|----------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------|-------------|
| Среднее время восстановления при U 110 кВ, T _в , час | 7 | 3,5 | 3,5 | 70,1 | 4,8 | 3,5 | 17,5 | 13,1 | 4,15 | 15,3 |
| Среднее время восстановления при U 35 кВ T _в , час | 7 | - | - | 61,3 | 3,9 | 3,3 | 15,8 | 11,4 | 3,6 | 13,6 |
| Среднее время восстановления при U 10 кВ T _в , час | 7 | - | - | - | 4,8 | 3,5 | 10,5 | 8,76 | 4,15 | 9,63 |

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
институт

Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

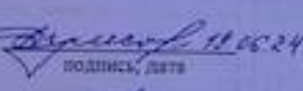
 А.С.Торопов
подпись, инициалы, фамилия

« 20 » 06 2024г.

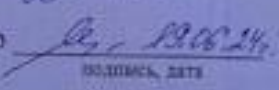
БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
(код и наименование специальности)

Анализ надежности электроснабжения потребителей сельскохозяйственного
назначения районных электрических сетей
(наименование темы)

Руководитель  11.06.24 доцент каф. ЭМиАТ, к.э.н. Н.В.Дулесова
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник  09.06.24
подпись, дата А.Ю.Ткачев
инициалы, фамилия

Нормоконтролер  19.06.24
подпись, дата И.А.Кычакова
инициалы, фамилия

Абакан 2024