

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

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

институт

«Электроэнергетика»

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Г.Н. Чистяков

подпись инициалы, фамилия

« ____ » _____ 2017 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

код – наименование направления

Исследования причин отключения линий ВЛ 220 кВ Ужур - Сора вторая цепь
с отпайкой на ПС Туим (Д64)

тема

Руководитель _____ доцент каф. ЭЭ, к.э.н.
подпись, дата должность, ученая степень

Н.В. Дулесова
инициалы, фамилия

Выпускник _____
подпись, дата

К.Е. Демчук
инициалы, фамилия

Нормоконтролер _____
подпись, дата

И.А. Кычакова
инициалы, фамилия

Абакан 2017

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАО ВО
«Сибирский федеральный университет»
институт
«Электроэнергетика»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Г.Н. Чистяков

подпись

инициалы, фамилия

« _____ » _____ 2017 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в виде бакалаврской работы

Студенту Демчук Кристине Евгеньевне

(фамилия, имя, отчество студента)

Группа ХЭн 13-01 (13-1) Направление (специальность) 13.03.02

(код)

«Электроэнергетика и электротехника»

(наименование)

Тема выпускной квалификационной работы: Исследования причин отключения линий ВЛ 220 кВ Ужур - Сора вторая цепь с отпайкой на ПС Туим (Д64)

Утверждена приказом по университету № 146 от 28.02.2017 г.

Руководитель ВКР Н.В. Дулесова, доцент кафедры «Электроэнергетика», к.э.н.

(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для ВКР Однолинейные схемы электрических соединений, данные из журнала регистраций выключателями коротких замыканий ХП МЭС

Перечень разделов выпускной квалификационной работы:

ВВЕДЕНИЕ

1 Теоретическая часть

1.1 Основные понятия и определения в теории надежности

1.2 Характеристика ВЛ 220 кВ

1.3 Показатели надежности ВЛ электропередачи на основе их длин

1.4 Классификация причин аварийных отключений

1.5 Понятие планово-предупредительного ремонта

2 Аналитическая часть

2.1 Характеристика предприятия

2.2 Характеристика линий электропередач

2.3 Паспорт ВЛ 220 кВ отпайка на подстанцию 220 кВ Туим (Д-63-64)

2.4 Исходные данные для исследования причин отключений

2.5 Анализ аварийных отключений ЛЭП напряжением 220 кВ

2.6 Методология исследования причин аварийных отключений ВЛ

3 Практическая часть

3.1 Мера неопределенности информации к оценки случайного поведения ВЛ

3.2 Мероприятия и рекомендации по снижению риска возникновения аварий

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

Перечень обязательных листов графической части:

1. Э1 Однолинейная схема

2. Э2 Диаграммы результатов анализа аварийных отключений

3. Э3 Рекомендации по снижению риска возникновения аварийных отключений ВЛ

Руководитель ВКР

(подпись)

Н.В. Дулесова

(инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению

(подпись)

К.Е. Демчук

(инициалы и фамилия)

« ____ » _____ 2017г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Исследования причин отключения линий ВЛ 220 кВ Ужур - Сора вторая цепь с отпайкой на ПС Туим (Д64)» содержит 54 страницы текстового документа, 14 рисунков, 16 таблиц, 25 использованных источников, 3 листа графического материала.

НАДЕЖНОСТЬ, НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ, ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, ЛИНИЯ, ИЗОЛЯЦИЯ, АНАЛИЗ, СТРУКТУРА, ПРИЧИНА, ОТКАЗ.

Объект исследований – воздушная линия ВЛ 220 кВ филиала ПАО «ФСК ЕЭС» - Хакасского предприятия магистральных электрических сетей (ХП МЭС).

Предмет исследований – причины возникновения отказов линий, их анализ и методы меры неопределенности событий.

Методы исследования – методы математической статистики и теории вероятности; методы теории надежности и информации.

Научная новизна исследования заключается в применении современных методов измерения информации о состоянии ЛЭП.

Цель работы заключается в исследовании причин отключений линий ВЛ 220 кВ и разработка рекомендаций по снижению отключений ВЛ и повышение их надежности.

Значимость работы обусловлена тем, что теоретические рекомендации, проведенного анализа опубликованные в статье научно-исследовательского журнала «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика» могут быть использованы специалистами ХПМЭС и специалистами различных электросетевых компаний при проектировании и обслуживании распределительных сетей.

Область применения – работа выполнена по заказу ХП МЭС в рамках сотрудничества.

Задачи выпускной квалификационной работы: выделить методологические аспекты исследования; выполнить анализ причин отключения ВЛ; применить математические инструменты для определения состояния ЛЭП с помощью меры неопределенности информации; выработать мероприятия по повышению надежности воздушных линий ХПМЭС, а именно по снижению риска возникновения аварий на линиях электропередач 220 кВ.

В течение проработки проекта были получены следующие результаты: выполнен статистический анализ аварийных отключений и их причин; предложены мероприятия по снижению риска возникновения аварий на ВЛ 220 кВ.

ABSTRACT

Graduation qualification work on the topic "Investigation of the causes of the disconnections of the 220 kV Overhead Line Uzhur-Sora, the second chain with a branch line at Substation Tuim (D64)" contains 54 pages of a text document, 14 figures, 16 tables, 25 sources used, 3 sheets of graphic material.

RELIABILITY, UNCERTAINTY, ELECTRICAL SUPPLY, LINE, INSULATION, ANALYSIS, STRUCTURE, REASON, FAILURE .

The object of the research is the overhead line of 220 kV overhead line of the branch of PJSC "FGC UES" - Khakassia company of backbone electrical networks (HP MES).

The subject of research is the causes of the failure of the lines, their analysis and methods for measuring the uncertainty of events.

Methods of research - methods of mathematical statistics and probability theory; Methods of the theory of reliability and information.

Scientific novelty is the identification of reasons for switching off the overhead line using the method of indetermination an information for analyzing emergency blackouts.

The aim of the work is to investigate the causes of switching off the VL 220 kV lines and develop recommendations for reducing the outages of overhead lines and increasing their reliability.

The significance of the work is due to the fact that the theoretical recommendations of the analysis published in the article of the scientific journal "Actual Directions of Scientific Research of the XXI century: theory and practice" can be used by specialists of HP MES and specialists of various electric grid companies in the design and maintenance of distribution networks.

Scope - the work was commissioned by HP MES in the framework of cooperation.

The tasks of the Graduation qualification work:

- highlight the methodological aspects of the study;
- perform an analysis of the causes of the tripping of the overhead line;
- apply mathematical tools to determine the state of the transmission line using means of measuring the uncertainty of information;
- to take measures to increase the reliability of HP MES overhead lines, namely to reduce the risk of emergence of accidents on 220 kV transmission lines

During the development of the project, the following results were obtained:

- statistical analysis of emergency outages and their causes;
- proposed measures to reduce the risk of accidents on the VL 220 kV .

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Теоретическая часть.....	7
1.1 Основные понятия и определения в теории надежности.....	8
1.2 Характеристика ВЛ 220 кВ	14
1.3 Показатели надежности ВЛ электропередачи на основе их длин.....	15
1.4 Классификация причин аварийных отключений.....	16
1.4.1 Неблагоприятные погодные условия.....	17
1.4.2 Износ оборудования.....	18
1.4.3 Перекрытие изоляции.....	18
1.5 Понятие планово-предупредительного ремонта.....	19
2 Аналитическая часть.....	21
2.1 Характеристика предприятия.....	21
2.2 Характеристика линий электропередач.....	23
2.3 Паспорт ВЛ 220 кВ отпайка на подстанцию 220 кВ Туим (Д-63-64)....	23
2.3.1 Характеристика элементов ВЛ.....	25
2.4 Исходные данные для исследования причин отключений.....	31
2.5 Анализ аварийных отключений ЛЭП напряжением 220 кВ.....	33
2.6 Методология исследования причин аварийных отключений ВЛ.....	38
2.6.1 Локализация мест ОНП. Распределение мест короткого замыкания по длине ВЛ.....	39
2.6.2 Причинно-следственные связи ОНП с «действиями» птиц.....	40
2.6.3 Возможные причины ОНП.....	41
3 Практическая часть.....	44
3.1 Мера неопределенности информации к оценки случайного поведения ВЛ	44
3.2 Мероприятия и рекомендации по снижению риска возникновения аварий	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	50
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	51

ВВЕДЕНИЕ

Работа воздушных линий (ВЛ) электропередачи непосредственно связана со случайными событиями, возникающими вследствие отказов отдельных конструктивных элементов ВЛ, нарушений технологии изготовления, монтажа и эксплуатации и внешних воздействий. Несмотря на имеющийся вклад научных институтов и специалистов в решение задач надежности ВЛ, вопросы их обеспечения остаются актуальными (например, борьба с грозовыми отключениями, перекрытиями загрязненной и увлажненной изоляции, перекрытиями изоляции по невыясненным или немотивированным причинам).

Надежность линий электропередач в процессе их эксплуатации непосредственно связана с анализом их состояния.

Уровень надёжности транспорта электрической энергии по воздушным линиям электропередачи ограничивается их неплановыми отключениями, которые возникают вследствие отказов отдельных конструктивных элементов воздушных линий, нарушений технологии изготовления, монтажа и эксплуатации и внешних воздействий.

Актуальность выбранной темы состоит в выявлении и анализе причин отказов электрооборудования воздушных линий и разработке рекомендаций по повышению ее надёжности.

Объектом исследования является воздушная линия ВЛ 220 кВ филиала ПАО «ФСК ЕЭС» - Хакасского предприятия магистральных электрических сетей (ХП МЭС).

Предметом исследования являются причины возникновения отказов линий, их анализ и методы меры неопределенности событий.

Целью выполнения выпускной квалификационной работы (ВКР) является исследование причин отключений линий ВЛ 220 кВ и разработка рекомендаций по снижению отключений ВЛ и повышение их надежности.

Цель достигается решением следующих задач выпускной квалификационной работы:

- выделить методологические аспекты исследования;
- выполнить анализ причин отключения воздушных линий;
- применить математические инструменты для определения состояния ЛЭП с помощью меры неопределенности информации;
- выработать мероприятия по повышению надежности воздушных линий ХПМЭС, а именно по снижению риска возникновения аварий на линиях электропередач 220 кВ.

В течение работы над ВКР были получены следующие результаты:

- выполнен статистический анализ аварийных отключений и их причин;
- предложены мероприятия по снижению риска возникновения аварий на ВЛ 220 кВ.

Научная новизна исследования заключается в применении современных методов измерения информации о состоянии ЛЭП.

Практическая значимость работы обусловлена тем, что теоретические рекомендации, проведенного анализа опубликованные в статье научно-исследовательского журнала «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика» могут быть использованы специалистами ХП МЭС и специалистами различных электросетевых компаний при проектировании и обслуживании распределительных сетей.

Работа выполнена в соответствии с СТО 4.2-07-2014 [1].

1 Теоретическая часть

Линия электропередачи (ЛЭП) – компонент электрической сети, система энергетического оборудования, предназначенная для передачи электроэнергии посредством электрического тока.

ЛЭП делятся на воздушные и подземные (кабельные) линии. Кабельные линии служат для передачи электрической энергии с помощью силовых кабелей в траншеях, а воздушные линии предназначены для передачи электроэнергии по проводам, которые располагаются на открытом воздухе и прикрепляются при помощи изоляторов и арматуры к опорам.

Исследования в ВКР связаны именно с воздушными линиями.

Воздушные линии электропередачи (ВЛ) – это расположенные на открытом воздухе устройства для передачи и распределения электроэнергии, которые выполняются проводами, прикрепленными при помощи изоляторов и арматуры к опорам, а также стойкам или кронштейнам на зданиях и инженерных сооружениях.

Линии подразделяют по классу напряжения [2]:

- ВЛ до 1000 В (ВЛ низшего класса напряжений)
- ВЛ 1–35 кВ (ВЛ среднего класса напряжений)
- ВЛ 35–330 кВ (ВЛ высокого класса напряжений)
- ВЛ 500–750 кВ (ВЛ сверхвысокого класса напряжений)
- ВЛ выше 750 кВ (ВЛ ультравысокого класса напряжений)

В данной выпускной работе будем рассматривать высоковольтные линии, а именно напряжением 220 кВ.

Линии электропередач в процессе их эксплуатации находятся в каком-либо из двух состояний: работоспособное и неработоспособное.

Неработоспособное состояние характеризуется двумя основными терминами: отключение и отказ.

Отключение – это обесточивание целой установки или ее части путем отсоединения от источников электрического питания [3].

Его осуществляют в целях безопасности обслуживающего персонала, который работает в непосредственной близости от частей установки, находящихся в нормальных условиях функционирования под напряжением и доступных для прямого контакта.

Отключения бывают либо плановыми, либо аварийными. Плановые отключения электрической энергии необходимы для проведения ремонтных или строительных работ. Этого требуют правила техники безопасности при работе на линиях. Тогда, в зависимости от степени сложности и объема работ, может быть обесточено предприятие или же целый населенный пункт.

Для более полного раскрытия термина «отказ» рассмотрим основные понятия и определения в теории надежности.

1.1 Основные понятия и определения в теории надежности

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

Понятие надежности 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.

Отказ – один из основных терминов теории надёжности, который означает нарушение работоспособности объекта, т.е. переход объекта с одного уровня работоспособности или функционирования на другой, более низкий, или в полностью неработоспособное состояние [4].

В случае отказа отдельных элементов системы может произойти отказ участка сети, приводящий к нарушению электроснабжения потребителей; полное прекращение питания; частичное прекращение питания отдельных электроприемников; отклонение напряжения от допустимых норм. Особенностью функционирования электрических сетей является то обстоятельство, что отказ отдельного элемента может не локализоваться в нем самом, а привести к отключению не отказавших элементов и коммутационных устройств.

При полной потере работоспособности возникает полный отказ, при частичной – частичный. Понятия полного и частичного отказов каждый раз должны быть четко сформулированы перед анализом надежности, так как от этого зависит количественная оценка надежности.

Причинами возникновения отказов в электрической сети в большинстве случаев являются повреждения в оборудовании элементов сети, постепенного старения (износа), в появление недопустимых параметров режима, требующее принятия неотложных действий по их устранению, а так же воздействие внешних факторов.

Отказы вследствие повреждения в оборудовании элементов сети можно разделить на два типа дефектов: конструктивные и технологические.

Первые возникают как следствие несовершенства конструкции при конструировании. В этом случае наиболее распространенными являются недоучет «пиковых» нагрузок, применение материалов с низкими потребительскими свойствами и пр.

Отказы из-за технологических дефектов возникают при нарушении принятой технологии изготовления изделий (например, выход отдельных характеристик за установленные пределы). Сюда же можно отнести отказы из-

за эксплуатационных дефектов. Такие отказы возникают по причине несоответствия требуемых условий эксплуатации, правил обслуживания действительным.

Отказы из-за постепенного старения (износа) вследствие накопления необратимых изменений в материалах, приводящих к нарушению прочности (механической, электрической), взаимодействия частей объекта [5].

К отказам, характеризующимся внешними факторами, относят:

- неблагоприятные погодные условия (сильный ветер, гроза)
- «действие» птиц

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* и *самоустраняющиеся* отказы. Кратковременный отказ называется сбоем. Характерный признак сбоя – 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 схемы отказов по причинам можно представить в виде статистических моделей, которые вследствие вероятностного возникновения повреждений описываются вероятностными законами.

Классификация тяжести отказов технических систем устанавливается ГОСТ 27.310-95 ССНТ «Анализ видов, последствий и критичности отказов».

В соответствии с этим ГОСТом тяжесть последствий отказа (вероятный или наблюдаемый ущерб) описывается через понятие критичности.

Критическим считается такой отказ системы или ее элемента, тяжесть последствий которого признается недопустимой и требует принятия

специальных мер по снижению вероятности данного отказа или возможного ущерба, связанного с его возникновением.

ГОСТ 27.310-95 регламентирует процедуру анализа видов, последствий и критичности отказов (АВПКО), которая включает:

1. разукрупнение структуры возможных отказов;
2. прослеживание причинно-следственных связей, обуславливающих их возникновение;
3. оценку возможных последствий этих отказов на данном и вышестоящих уровнях и ранжирование отказов по тяжести их последствий.

Целью процедуры АВПКО является отыскание критичных элементов системы (т.е. элементов, отказ которых может быть критическим) и критичных технологических процессов при изготовлении или монтаже системы, нарушение параметров которых или вносимые в ходе которых дефекты могут стать причиной критического отказа [6].

Рассмотрим основные определения в теории надежности:

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 ремонтопригодности 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.

Глубина аварии на электростанциях характеризуется уровнем снижения располагаемой мощности и выработки электрической энергии.

На подстанциях глубина аварии – это количество отключенных потребителей и недоотпусков электроэнергии.

Глубина аварии на ЛЭП характеризуется 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 [7].

1.2 Характеристика ВЛ 220 кВ

Высоковольтные линии с напряжением 220 кВ служат для передачи энергии населённым пунктам и производственным предприятиям. По нагрузке током промежуточные опоры высоковольтные ЛЭП бывают одноцепные и двухцепные, а по конструкции: с оттяжками и без. Для защиты от коррозии используется оцинковка, либо специальное красочное покрытие, наносимое после предварительной обработки и подготовки металлоконструкции [8].

ВЛ напряжением 220 кВ выполняются в зависимости от нагрузки сталеалюминевыми проводами различных сечений по алюминию и по стали в мм² и могут иметь несколько расщепленных проводов в фазе n_{ϕ} . Средние значения в расчете на 1 км длины линии приводятся для $x_{уд}$, Ом/км, удельной емкостной проводимости $b_{уд}$, См/км, и зарядной мощности $q_{уд}$, Мвар/км [9].

Зарядная мощность $q_{уд}$ для ВЛ-220 кВ подсчитывается по среднеэксплуатационному напряжению $1,05U_{ном}$.

В таблице 1 приведены следующие расчетные характеристики ВЛ-220кВ со сталеалюминевыми проводами:

Таблица 1 – Расчетные характеристики ВЛ 220 кВ

U, кВ	Сечение провода, мм ² алюминий/сталь	n_{ϕ}	$x_{уд}$, Ом/км	$b_{уд}$, См/км	$q_{уд}$, Мвар/км	$D_{ср}$, м
220	240/32 300/39 400/51 500/64	1	0,42	$2,7 \cdot 10^{-6}$	0,14	8

- U – напряжение ВЛ, кВ;
- $S_{ал}$, $S_{ст}$ – сечение провода по алюминию и по стали, мм²;
- n_{ϕ} – количество расщепленных проводов в фазе;
- $x_{уд}$ – удельное индуктивное сопротивление линии, Ом/км;

- $b_{уд}$ – удельная емкостная проводимость линии, См/км;
- $q_{уд}$ – зарядная мощность линии, Мвар/км;
- $D_{ср}$ – среднегеометрическое расстояние между фазами, м.

1.3 Показатели надежности ВЛ электропередачи на основе их длин

При анализе надежности работы электрической сети (ЭС) принято оценивать показатели надежности одинаково для всех элементов, входящих в ее состав. При этом показатели надежности ВЛ оцениваются так же, как и показатели других элементов системы. В зависимости от номинального напряжения длина ВЛ может составлять несколько сотен километров, трасса ВЛ может проходить по территориям с различными климатическими условиями, пересекать всевозможные инженерные сооружения и конструкции, географические объекты (поля, леса, озера), что оказывает значительное влияние на условия функционирования воздушной линии.

Согласно классической теории показатели надежности ЭС рассчитываются с учетом количества элементов и отказов, при этом не учитывается длина отказавших ВЛ. Условия функционирования и технические параметры ВЛ отличаются друг от друга, поэтому расчет показателей надежности по единой технологии для всей совокупности линий не возможен, т.к. для этого пришлось бы объединять в одну группу совсем различные элементы.

Параметр потока отказов (ППО) определяется по формуле 1:

$$\omega = \frac{l}{LT}, \quad (1)$$

где l - длина отказавших ВЛ за рассматриваемый промежуток времени;

L - суммарная длина всех ВЛ;

T - рассматриваемый промежуток времени.

В соответствии с формулой (1) ППО может быть определен как частота отказов ВЛ единичной длины. Параметр определяется по итоговой длине отказавших ВЛ, отдельно для устойчивых и неустойчивых отказов и для каждой категории причин отказов из таблицы ППО, рассчитанный через длину ВЛ, позволяет производить оценку надежности в зависимости от индивидуальных характеристик каждой линии, без усреднения их параметров. Остальные показатели рассчитываются по формулам классической теории надежности электроэнергетических систем с некоторыми особенностями.

Отличие методики расчета показателей надежности ВЛ электропередачи на основе их длин от других состоит в том, что классическая теория надежности основана на использовании ППО, который определен как частота отказов на заданном интервале времени, а данная методика расчета – на определении надежности ВЛ в зависимости от их длин. При других методиках фиксируется сам факт аварии, а не километраж ВЛ. Однако с точки зрения эксплуатации электрических сетей отказ ВЛ длиной 1 км не столь значителен, как отказ ВЛ длиной 150 км [10].

1.4 Классификация причин аварийных отключений

Причины аварийных отключений условно можно разделить на выявленные и не выявленные.

Не выявленными причинами можно назвать такие причины, которые нельзя отнести к конкретному понятию причин.

К основным, выявленным, же причинам относят:

- неблагоприятные погодные условия (наледь, сильный ветер, грозовые разряды и т.п.)
- износ оборудования
- перекрытие изоляции (вызванное «действием» птиц, загрязнение изоляции и т.п.)

1.4.1 Неблагоприятные погодные условия

Наледь – плотная ледяная корка, которая образуется при намерзании переохлажденных капель дождя, мороси или тумана при температуре от 0 до – 5°С на поверхности земли и различных предметов, в том числе проводах высоковольтных ЛЭП.

Толщина гололёда на них может достигать 60-70 мм, существенно утяжеляя провода. Общая масса ЛЭП километровой длины с образованием наледи возрастает до нескольких десятков тонн, что приводит к обрыву проводов и поломке металлических опор.

Подобные аварии приносят значительный экономический ущерб, на их устранение уходит несколько дней, и затрачиваются огромные средства [11].

Сильный ветер – горизонтальное перемещение потока воздуха параллельно земной поверхности, которое возникает в результате неравномерного распределения тепла и атмосферного давления [12].

Порывы ветра приводят к появлению дополнительного давления, т.е. к дополнительной механической нагрузке на провода, тросы и опоры.

Ветровое давление на провода воздушных линий определяется по высоте расположения приведенного центра тяжести всех проводов, на тросы - по высоте расположения центра тяжести тросов, на конструкции опор ВЛ - по высоте расположения средних точек зон, отсчитываемых от отметки поверхности земли в месте установки опоры. Высота каждой зоны должна быть не более 10 м [13].

Грозовые разряды (молнии) – мощные электрические разряды, которые сопровождаются яркой световой вспышкой и громовыми раскатами [14].

Грозовые явления влекут за собой атмосферные перенапряжения на линиях. При таких кратковременных перенапряжениях нередко возникают пробой изоляционных промежутков и перекрытие изоляции, а также разрушение или повреждение.

1.4.2 Износ оборудования

Износ оборудования – ухудшение качества оборудования из-за воздействия внешних факторов, потеря стоимости и снижение производительности оборудования.

Износ может возникать по многим причинам: старения оборудования, потери его конкурентоспособности и т.д.

Оценка износа оборудования в экономическом смысле означает оценку потери стоимости оборудования в процессе его эксплуатации. Если стоимость снизилась вследствие старения оборудования и частичной потери его работоспособности, то говорят о физическом износе оборудования.

Физический износ оборудования – снижение работоспособности оборудования в результате постепенной потери своих физических, химических и биологических свойств в процессе эксплуатации или бездействия, влияние внешних неблагоприятных факторов [15].

1.4.3 Перекрытие изоляции

Перекрытием называют разряд по границе раздела двух сред.

«Действия» птиц связаны с гнездованием и присаживанием птиц на опоры. При строительстве гнезд на опорах птицы используют различные предметы (куски проволоки, ветки деревьев и др.). При случайном внесении в изоляционный промежуток между проводом и опорой посторонние предметы шунтируют изоляцию, что может привести к ее перекрытию. Присаживание птиц на опоры происходит на краю траверсы над проводом. Во время присаживания или взлета с опоры птица выбрасывает струю помета в направлении провода, что также может привести к ее перекрытию [16].

К перекрытию изоляции также относят загрязнение и увлажнение изоляции.

Частицы пыли, которые осаждаются из воздуха, создают на поверхности изолятора слой загрязнения. Содержащиеся в загрязнении вещества (кислоты, соли, щелочи), соединяясь с атмосферной влагой, осевшей на изолятор, образуют электролит, вследствие чего увеличивается поверхностная проводимость изолятора.

Увлажнение атмосферной влагой увеличивает проводимость слоя загрязнения на поверхности изоляторов и в следствии снижает изолирующую способность.

При увлажнении загрязнений на поверхности изолятора дождем, туманом или росой образуется электролит. Под действием рабочего напряжения через проводящий слой начинает протекать ток, называемый током утечки [17].

Устранение вышеперечисленных причин аварийных отключений необходимо для надежной и бесперебойной работы линий электропередач.

Предотвращение преждевременного износа и разрушения элементов воздушной линии, которые происходят вследствие нарушения нормального режима работы и воздействия окружающей среды, можно решить при помощи проведения планово-предупредительного ремонта.

Такой ремонт позволяет провести ряд работ, который направлен на замену деталей и восстановление оборудования, что в свою очередь, обеспечивает надежную, экономичную и непрерывную работу оборудования [18].

1.5 Понятие планово-предупредительного ремонта

В процессе эксплуатации элементов линий электропередач с течением времени портится изоляция, изнашиваются токоведущие части. В результате этого, а также из-за заводских дефектов, неправильных действий персонала, загрязнения, неблагоприятных атмосферных условий и других причин происходит износ и повреждение элементов линий. Поэтому на ЛЭП периодически проводят планово-предупредительный ремонт оборудования (ППР).

Планово-предупредительный ремонт – комплекс работ, которые направлены на поддержание и восстановление работоспособности оборудования путем обслуживания, ремонта и замены изношенных деталей, чтобы обеспечить надежную и экономичную работу.

ППР состоит из межремонтного обслуживания, текущего, среднего и капитального ремонта.

Для каждого вида оборудования периодичность ППР устанавливается Правилами технической эксплуатации (ПТЭ). Важно отметить, что энергосистемам разрешается изменять периодичность ремонта в зависимости от состояния оборудования [19].

2 Аналитическая часть

2.1 Характеристика предприятия

Хакасское предприятие магистральных электрических сетей является филиалом Публичного акционерного общества «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы» (далее – ПАО «ФСК ЕЭС»), не имеющим статуса юридического лица и осуществляющим часть задач, видов деятельности и функций Общества, в том числе и функций по предоставлению и защите интересов общества.

Свою деятельность Филиал ПАО «ФСК ЕЭС» – Хакасское ПМЭС осуществляет в соответствии с Положением о Хакасском предприятии магистральных электрических сетей филиала Открытого акционерного общества «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы»,

Утвержденным 22 мая 2003г. генеральным директором Филиала ПАО «ФСК ЕЭС» МЭС Сибири С.М. Зильберманом (Переутверждено Положение 21.06.2011, изменения в Положение от 08.07.2011).

Филиал ПАО "ФСК ЕЭС" — Хакасское ПМЭС было создано в 1998 году путем выделения из состава электрических сетей ПАО «Хакасэнерго» двух подстанций классом напряжения 500 кВ (ПС 500 кВ Абаканская - г. Абакан и ПС 500 кВ Означенное - г. Саяногорск), а так же шести воздушных линий электропередачи классом напряжений 500 кВ:

ВЛ 500 кВ Саяно-Шушенская ГЭС – Новокузнецкая I,II цепь;

ВЛ 500 кВ Саяно-Шушенская ГЭС – Означенное I, II цепь;

ВЛ 500 кВ Означенное – Абаканская;

ВЛ 500 кВ Абаканская – Итатская.

Эксплуатируемые объекты находятся в трех регионах: Республике Хакасия, Республике Тыва и на юге Красноярского края. Так же в этих регионах продолжается возведение новых объектов и линий электропередачи.

Задачей Хакасского ПМЭС является надежная и эффективная передача электроэнергии в целях удовлетворения потребностей населения, предприятий и организаций на территории Республики Хакасия, Республики Тыва и на юге Красноярского края.

Основными направлениями деятельности ХП МЭС являются:

- предоставление услуг субъектам оптового рынка электрической энергии по передаче электрической энергии и присоединению к электрической сети;
- инвестиционная деятельность в сфере развития ЕНЭС;
- поддержание в надлежащем состоянии электрических сетей;
- технический надзор за состоянием сетевых объектов.

Персонал предприятия обеспечивает эксплуатацию и ремонт уникального электрического оборудования, высоковольтных линий электропередачи и подстанций, тем самым повышая надежность электроснабжения жилых, административных и промышленных объектов красноярского края и создает возможность для технологического присоединения новых потребителей.

В связи с выполнением работниками предприятия опасных видов работ и работ повышенной опасности в электроустановках к персоналу предъявляются более высокие требования в вопросах трудовой и производственной дисциплины, в вопросах охраны труда, промышленной и пожарной безопасности.

С целью обеспечения непрерывного совершенствования деятельности по безопасности труда и сохранению жизни и здоровья работников в Обществе действует «Система Управления Охраной Труда» (положение о СУОТ), которая определяет Политику в области охраны труда и порядок.

Основными целями предприятия в области охраны труда являются:

- исключение случаев производственного травматизма и профессиональных заболеваний;
- формирование у работников безопасного поведения на производстве и навыков предупреждения опасных ситуаций;

– постоянное улучшение условий труда.

2.2 Характеристика линий электропередач

Всего в эксплуатации Хакасского предприятия МЭС находится 61 единица ЛЭП.

Протяженность ЛЭП Хакасского ПМЭС составляет 3332,002 км, при этом ЛЭП напряжением 110 кВ и выше составляют 3320,828 км.

Условия прохождения ЛЭП:

- прохождение по лесным районам, 1728,7 км;
- прохождение по горным и труднодоступным районам – 1009,7 км;
- прохождение в районах с интенсивным загрязнением – 0 км;
- благоприятные условия – 2270,456 км;
- прокладка КП в коллекторах (туннелях) – 0 км;
- подводная прокладка КЛ – 0 км.

2.3 Паспорт ВЛ 220 кВ отпайка на подстанцию 220 кВ Туим (Д-63-64)

Год постройки: 1982

Дата ввода в эксплуатацию: 1982

Диспетчерский номер № Д-63/64

Наименование проектной организации – Новокузнецкое отделение ТПЭП

Наименование строительной-монтажной организации – МК-72 треста КЭСС.

Схема линии электропередач представлена на рисунке 1.

Схема фазировки воздушной линии представлена на рисунке 2.

Основные данные представлены ниже.

Основные данные ВЛ 220 кВ, предоставленные предприятием:

Протяженность ВЛ	7,27	км
Количество опор	19	шт.

промежуточных	15	шт.
анкерно-угловых	4	шт.
Длина пролета:		
расчетного весового	440	м
расчетного ветрового	314,8	м
Марка провода (по участкам)	АСО-400	
Количество проводов в фазе	1	шт.
Расстояние между проводами в фазе	-	м
Тип поддерживающего устройства:		
на всей ВЛ	ПГ-5-3	
на переходах	НАС-500	
Марка молниезащитного троса	С-70	
Район климатических условий:		
а) по ветру:	II	
б) по гололеду:	II	

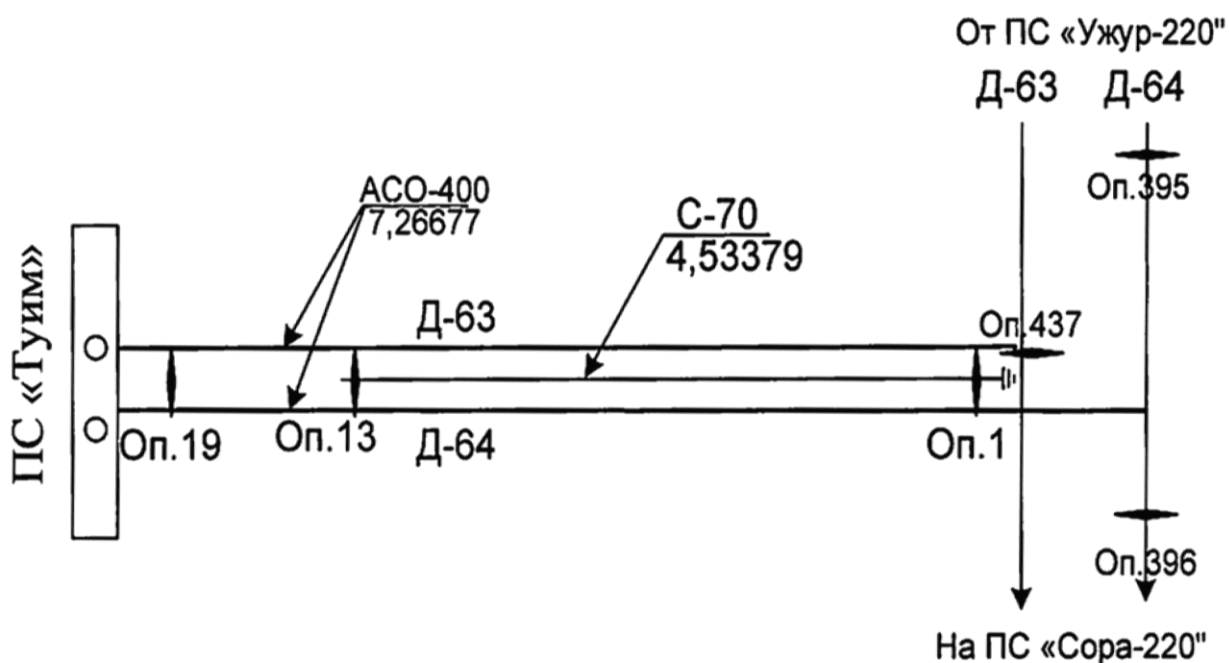


Рисунок 1 – Схема линии электропередачи

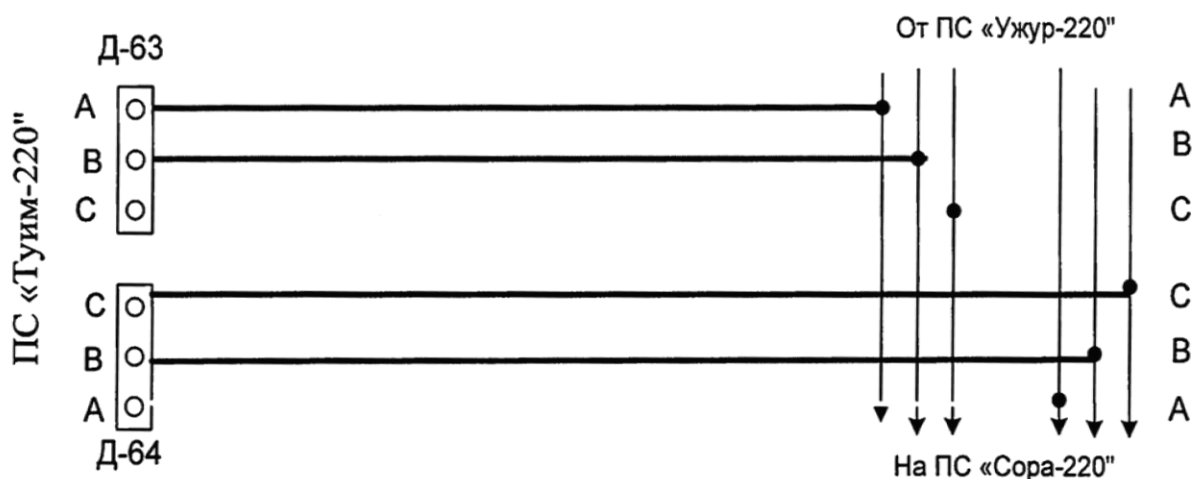


Рисунок 2 – Схема фазировки ВЛ трехлинейная Д-37/38

2.3.1 Характеристика элементов ВЛ

К элементам воздушной линии относятся опоры, фундаменты, изоляторы, арматура, защита от перенапряжений, заземления, переходы и пересечения.

Данные представлены в таблицах 2-8, а также на рисунках 3-6.

Таблица 2 – Опоры металлические

Наименование опор	Шифр	Количество	Номера опор
Анкерно-угловая	У-38М	4	1,12,13,19
Промежуточные	П-26М	13	2-11,16-18
	П-28М	2	14,15

Таблица 3 – Фундаменты

Тип	Количество	Номера опор
Ф6У	8	1,19
Ф5У	12	12-15
Ф5	32	2,3,7,10,11,16,18
Ф4У	4	12
Ф3	20	4-6,8,9,17

Таблица 4 – Изоляторы

Подвесные							
В поддерживающих подвесках				В натяжных подвесках			
Тип	Завод изготовитель	Кол-во в одной гирлянде	Всего на ВЛ	Тип	Завод изготовитель	Кол-во в одной гирлянде	Всего на ВЛ
ПС-6б	ЮУ АИЗ	15	1373	ПС-22а	-	12	576

Количество цепей (ветвей) в натяжной подвеске и способ крепления их к траверсе опоры: 1 СК-20-20.

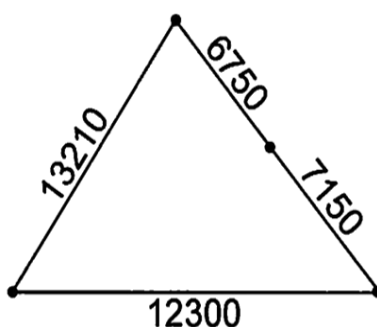


Рисунок 3 – Схемы изолирующих подвесок

Защита от перенапряжений:

- а) участки подвеса молниезащитного троса (номера опор) – оп.№1-оп.№19;
- б) общая длина молниезащитного троса – 8,5 км;
- в) защитный угол молниезащитного троса – 20°;
- г) характеристика других средств защиты – НЕТ.

Таблица 5 – Характеристика местности на трассе ВЛ

Наименование местности	Номера опор	Общая длина, км
Лес	14-19	1,8
Поле	1-14	6,7

Таблица 6 – Заземление

Удельное сопротивление земли, Ом·м	Сопротивление заземления опор по норме, Ом	Номера опор
до 100	до 10	2,3,7,10,12,13
100 - 500	до 15	4,6,9,11,14-17
500 - 1000	до 20	19,5
более 1000	до 30	1,18

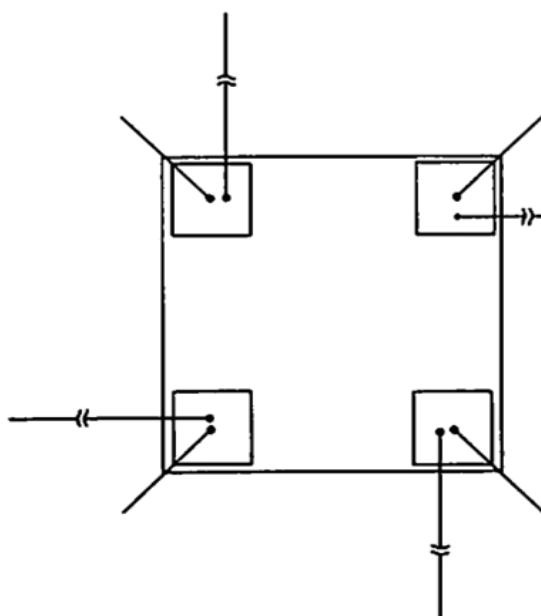


Рисунок 4 – Схема заземлителей опор

Таблица 7 – Переходы и пересечения

№ п/п	Вид перехода или пересечения	Габарит на переходе	Номера опор в пролете пересечения	Тип подвески	Тяжение провода (троса), тН
1	2	3	4	5	6
1	ВЛ-10 кВ	6,7	4-5	подвесной	нормальное
2	Линия связи	15,8	12-13	натяжной	нормальное

Окончание таблицы 7

1	2	3	4	5	6
3	ВЛ-6 кВ	10,3	18,19	натяжной- подвесной	нормальное
4	ВЛ-10 кВ	7,2	11-12	натяжной- подвесной	нормальное
5	Линия связи	16,6	12-13	натяжной	нормальное
6	Ж/Дорога	21,7	12-13	натяжной	нормальное
7	Автодорога	8,7	18-19	натяжной- подвесной	нормальное

Характеристика имеющихся видов связи - радио, высоковольтная, линий связи: спутниковая, сотовая, радиосвязь по всей длине ВЛ.

Таблица 8 – Арматура

Наименование арматуры	Для провода		Для молниезащитного троса	
	Тип	Кол-во	Тип	Кол-во
Сцепная	СКД-9	31		
	СК-20-20	192	СК-6-1	15
	СР-20-20	48	СР-6-16	15
	СР-6-16	98		
Поддерживающая	У1-20-20	48	У1-6-16	15
	У1-6-16	98	ПГ-2-6А	15
	ПГН-5-3	90		
Натяжная	НАС-500	48	НС-70-1	8
Соединительная	САС-500	43	СВС-70-1	4
Защитная	ГВН-5-30	228	ГВН-2-13	38
			А3-566	19
			А3-86	19

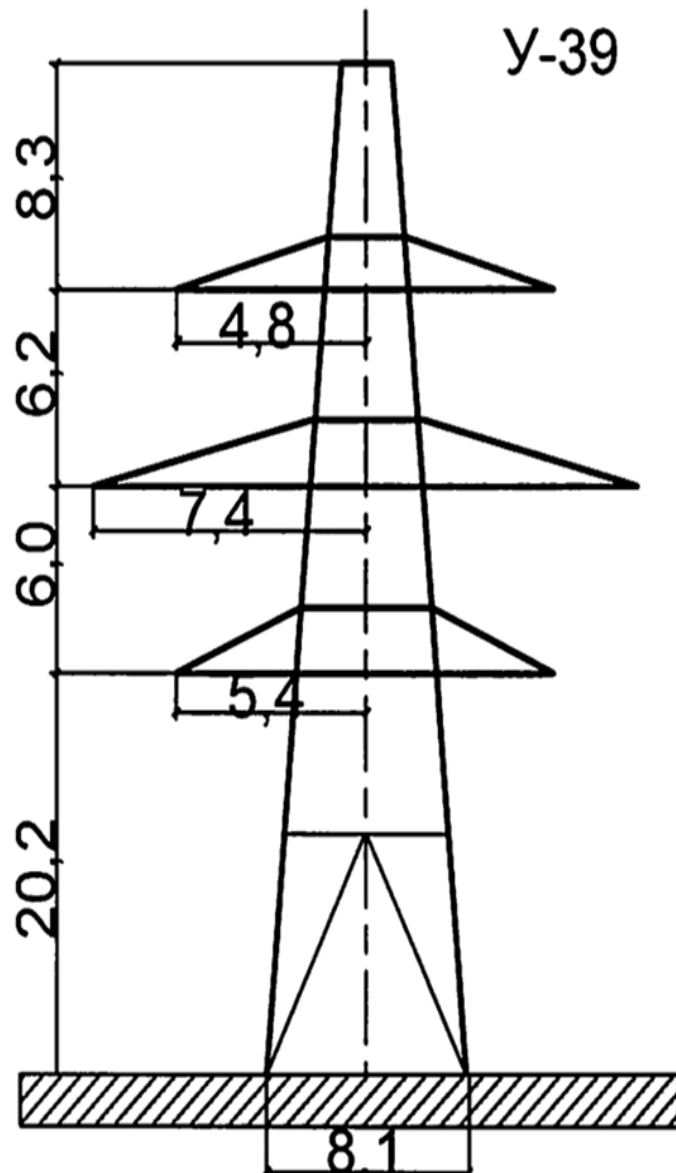
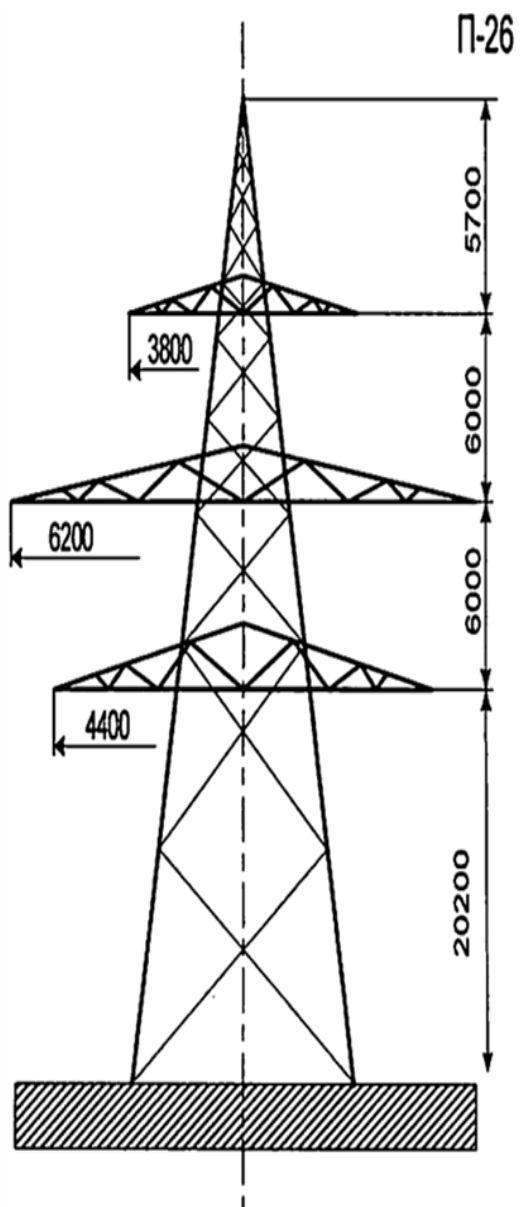


Рисунок 5 – Схема расположения проводов и молниезащитных тросов и расстояний между ними на опоре

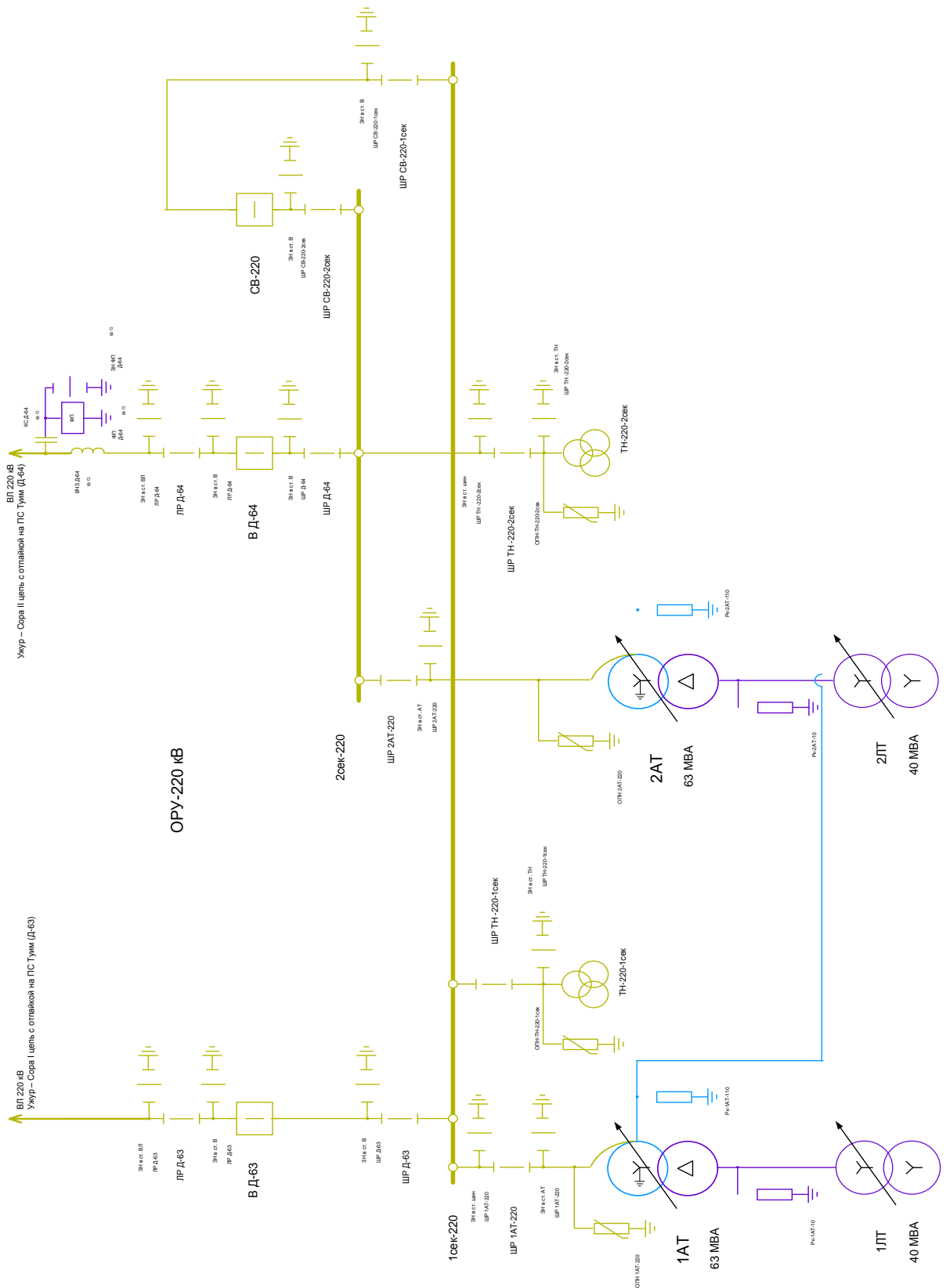


Рисунок 6 – Однолинейной схема ОРУ 220 кВ

2.4 Исходные данные для исследования причин отключений

Исходные данные были взяты из оперативных журналов диспетчерского персонала ХП МЭС и представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Исходные данные

Дата	Вид объекта	U, кВ	Наим. объекта	Вид нарушения	АПВ	Наименование ВЛ
1	2	3	4	5	6	7
15.02.2009	ВЛ	220	Д64/Д66	Не выявлена	УАПВ	ВЛ 220кВ Д-64/66
11.04.2009	ВЛ	220	Д-63/65	Не выявлена	УАПВ	ВЛ 220кВ Д-63/65 ПС Ужур - ПС 220кВ Сора - ПС 220кВ Абакан-Районная с отпайкой на ПС 220кВ Туим.
11.04.2009	ВЛ	220	Д-63/65	Не выявлена	УАПВ	ВЛ 220кВ Д-63/65 ПС Ужур - ПС 220кВ Сора - ПС 220кВ Абакан-Районная с отпайкой на ПС 220кВ Туим.
28.04.2009	ВЛ	220	Д-63/65	Не выявлена	УАПВ	ВЛ 220кВ Д-63/65 ПС Ужур - ПС 220кВ Сора - ПС 220кВ Абакан-Районная
11.07.2009	ВЛ	220	Д-64/66 и Д-63/65	Гроза	НАПВ	ВЛ 220кВ Д-64/66 и Д-63/65 ПС Ужур - ПС 220кВ Сора - ПС 220кВ Абакан-Районная с отпайкой на ПС 220кВ Туим
04.08.2009	ВЛ	220	Д-63/65	Гроза	УАПВ	ВЛ 220кВ Д-63/65 ПС Ужур - ПС 220кВ Сора - ПС 220кВ Абакан-Районная
09.08.2009	ВЛ	220	Д-64/66	Не выявлена	УАПВ	ВЛ 220кВ Д-64/66 ПС 220кВ Абакан-Районная - ПС 220 кВ Сора - ПС Ужур
15.08.2009	ВЛ	220	Д-63/65	Не выявлена	УАПВ	ВЛ 220кВ Д-63/65 ПС Ужур - ПС 220кВ Сора - ПС 220кВ Абакан-Районная
14.09.2009	ВЛ	220	Д-64/66	Не выявлена	УАПВ	ВЛ 220кВ Д-64/66 ПС Ужур - ПС 220кВ Сора - ПС 220кВ Абакан-Районная с отпайкой на ПС 220кВ Туим
08.12.2009	ВЛ	220	Д-64/66	Загрязнение изоляции	УАПВ	ВЛ 220кВ Д-64/66 ПС Ужур - ПС 220кВ Сора - ПС 220кВ Абакан-Районная с отпайкой на ПС 220кВ Туим
12.12.2009	ВЛ	220	Д-64/66	Загрязнение изоляции	УАПВ	ВЛ 220кВ Д-64/66 ПС Ужур - ПС 220кВ Сора - ПС 220кВ Абакан-Районная с отпайкой на ПС 220кВ Туим
27.04.2010	ВЛ	220	Д-64/66	Животные или птицы	УАПВ	ВЛ 220кВ Д-64/66 ПС 220кВ Абакан-Районная - ПС 220 кВ Сора - ПС Ужур
04.05.2010	ВЛ	220	Д-63/65	Износ	УАПВ	ВЛ 220кВ Д-63/65 ПС Ужур - ПС 220кВ Сора - ПС 220кВ Абакан-Районная с отпайкой на ПС 220кВ Туим

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7
20.05.2010	ВЛ	220	Д-63/65	Износ	УАПВ	ВЛ 220кВ Д-63/65 ПС Ужур - ПС 220кВ Сора - ПС 220кВ Абакан-Районная с отпайкой на ПС 220кВ Туим
02.06.2010	ВЛ	220	Д-63/65		УАПВ	ВЛ 220кВ Д-63/65 ПС Ужур - ПС 220кВ Сора - ПС 220кВ Абакан-Районная с отпайкой на ПС 220кВ Туим
12.06.2010	ВЛ	220	Д-64/66		УАПВ	ВЛ 220кВ Д-64/66 ПС 220кВ Ужур - ПС 220кВ Сора - ПС 220кВ Абакан-Районная с отпайкой на ПС 220кВ Туим
05.09.2010	ВЛ	220	Д-63/65		УАПВ	ВЛ 220кВ Д-63/65 ПС 220кВ Ужур - ПС 220кВ Сора - ПС 220кВ Абакан-Районная с отпайкой на ПС 220кВ Туим
11.09.2010	ВЛ	220	Д-63/65		УАПВ	ВЛ 220кВ Д-63/65 ПС 220кВ Ужур - ПС 220кВ Сора - ПС 220кВ Абакан-Районная с отпайкой на ПС 220кВ Туим
12.06.2011	ВЛ	220	Д-63/65	Гроза	УАПВ	ВЛ 220кВ Д-63/65 ПС 220кВ Ужур - ПС 220кВ Сора - ПС 220кВ Абакан-Районная с отпайкой на ПС 220кВ Туим
26.03.12	ВЛ	220	Д-63/65	Износ	УАПВ	
22.06.2013	ВЛ	220	Д-63	Гроза	УАПВ	Д-63 (ВЛ 220 кВ Ужур- Сора - с отпайкой на ПС 220 кВ Туим I цепь)
01.07.2013	ВЛ	220	Д-64	Гроза	УАПВ	Д-64 (ВЛ 220 кВ Ужур- Сора - с отпайкой на ПС 220 кВ Туим II цепь)
03.08.2013	ВЛ	220	Д-64)	Гроза	УАПВ	Д-64 (ВЛ 220 кВ Ужур- Сора - с отпайкой на ПС 220 кВ Туим II цепь)
08.09.2013	ВЛ	220	Д-64	Неклассиф-ые /Загрязнение, попадание инородных предметов	УАПВ	Д-64 (ВЛ 220 кВ Ужур- Сора - с отпайкой на ПС 220 кВ Туим II цепь)
17.09.2013	ВЛ	220	Д-66	Неклассиф-ые /Загрязнение, попадание инородных предметов	УАПВ	Д-66 (ВЛ 220кВ Сора-Абакан-районная II цепь)
16.02.2014	ВЛ	220	Д-63	Птица	НАПВ	Д-63 (ВЛ 220 кВ Ужур- Сора - с отпайкой на ПС 220 кВ Туим I цепь)
03.05.2014	ВЛ	220	Д-65	Износ	УАПВ	Д-65 (ВЛ 220 кВ Сора- Аб-р I цепь)
21.05.2014	ВЛ	220	Д-64	Загрязнение солончаковой пылью	УАПВ	
30.06.2014	ВЛ	220	Д-64, Д-66	Гроза	УАПВ	
22.07.2014	ВЛ	220	Д-63, Д-65	Гроза	УАПВ	

Окончание таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7
25.08.2014	ВЛ	220	Д-64, Д-66	Износ	УАПВ	
23.10.2014	ВЛ	220	Д-66	Птица	УАПВ	
24.10.2014	ВЛ	220	Д-65	Загрязнение солончаковой пылью	УАПВ	
21.11.2014	ВЛ	220	Д-64	Ветер	НАПВ	
12.12.2014	ВЛ	220	Д-65	Износ	УАПВ	
11.01.2015	ВЛ	220	Д-65	Птица	УАПВ	
19.04.2015	ВЛ	220	Д-63	Птица	УАПВ	
07.06.2015	ВЛ	220	Д-63	Птица	УАПВ	
15.09.2016	ВЛ	220	Д-64	Птица	УАПВ	ВЛ 220 кВ Ужур – Сора II цепь с отпайкой на ПС Туим (Д-64)
26.09.2016	ВЛ	220	Д-64	Птица	УАПВ	ВЛ 220 кВ Ужур – Сора II цепь с отпайкой на ПС Туим (Д-64)

2.5 Анализ аварийных отключений ЛЭП напряжением 220 кВ

Исследование предусматривает статистическую обработку данных за период времени 2009-2016 гг., которые относятся к аварийным отключениям магистральных ЛЭП-220 кВ. Данные представлены в таблице 10 [20].

Таблица 10 – Количество аварийных отключений по годам

Год	Количество отключений		ВСЕГО
	Выявлено	Не выявлено	
2009	4	7	11
2010	7	0	7
2011	1	0	1
2012	1	0	1
2013	5	0	5
2014	10	0	10
2015	3	0	3
2016	2	0	2

Согласно данных таблицы 10 составим график, который представлен на рисунке 7.

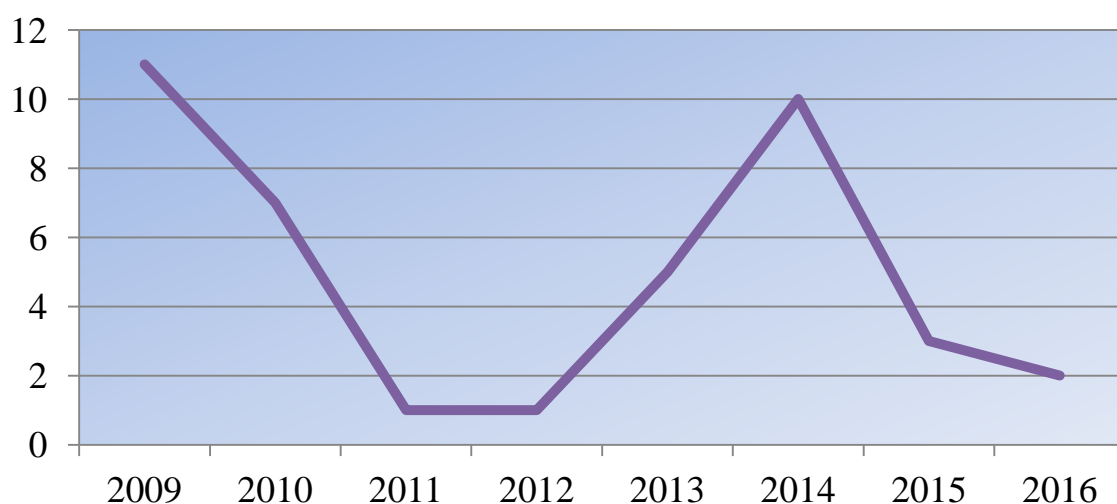


Рисунок 7 – Распределение аварийных отключений в анализируемом периоде времени

Можно заметить, что частота отключений не является равномерной на протяжении 8 лет, хотя теоретически частота отказов должна быть равномерной. Наибольшее количество аварийных отключений приходится на 2009 и 2014 гг., а наименьшее: 2011 и 2012 гг. В период 2012-2014 гг. наблюдается планомерный рост числа аварийных отключений [20].

Распределение числа отключений по отдельным объектам в рассматриваемом временном интервале отображено в таблице 11.

Таблица 11 – Распределение числа отключений по отдельным объектам

Наименование ЛЭП	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Д-63	0	0	0	0	1	1	2	0
Д-64	0	0	0	0	3	4	0	2
Д-65	0	0	0	0	1	4	1	0
Д-66	0	0	0	0	0	3	0	0
Д-63/65	5	5	0	1	0	0	0	0
Д-64/66	5	2	0	0	0	0	0	0
Д-63/65 и Д-64/66	1	0	1	0	0	0	0	0

Как видно, наибольшее число отключений относится к ЛЭП, трасса которой проходит в лесистой местности и является самой длинной.

Причины отключений были взяты из таблицы 9: износ, «действия» птиц, неблагоприятные погодные условия, сильный ветер, гроза, загрязнение изоляции, загрязнения солончаковой пылью.

Таблица 12 – Исходные данные аварийных причин отключения за рассматриваемый период времени

Год	Причина установлена	Причина не установлена	Суммарное число отключений
2009	4	7	40
2010	7	0	
2011	1	0	
2012	1	0	
2013	5	0	
2014	10	0	
2015	3	0	
2016	2	0	
Итого	33	7	
Аварийные отключения по не выявленным причинам			17,5%

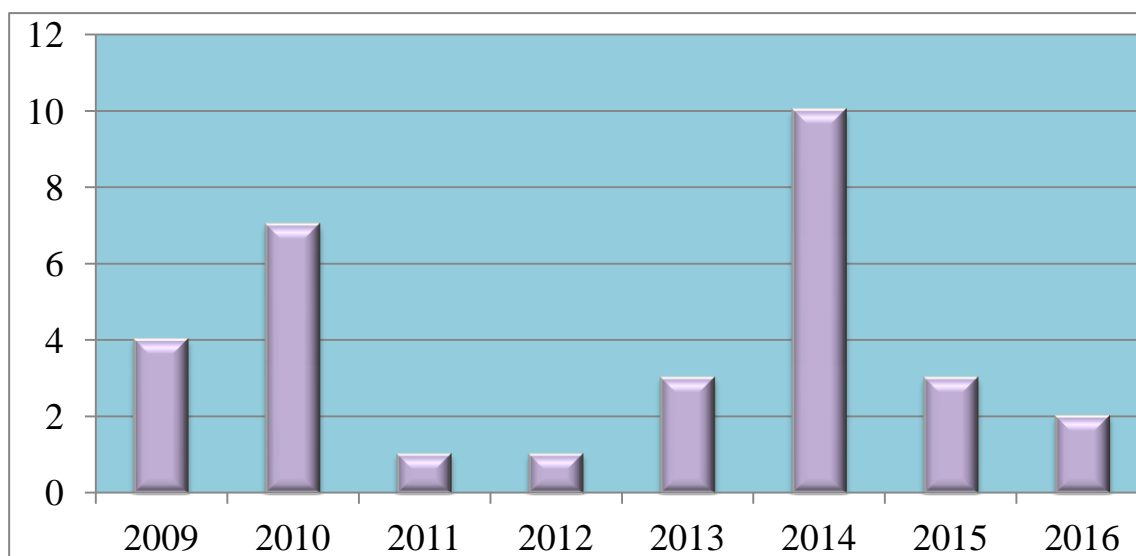


Рисунок 8 – Установленные причины отключения

Анализ аварийных отключений по годам показал, что наибольшее количество отключений пришлось на 2014 г.

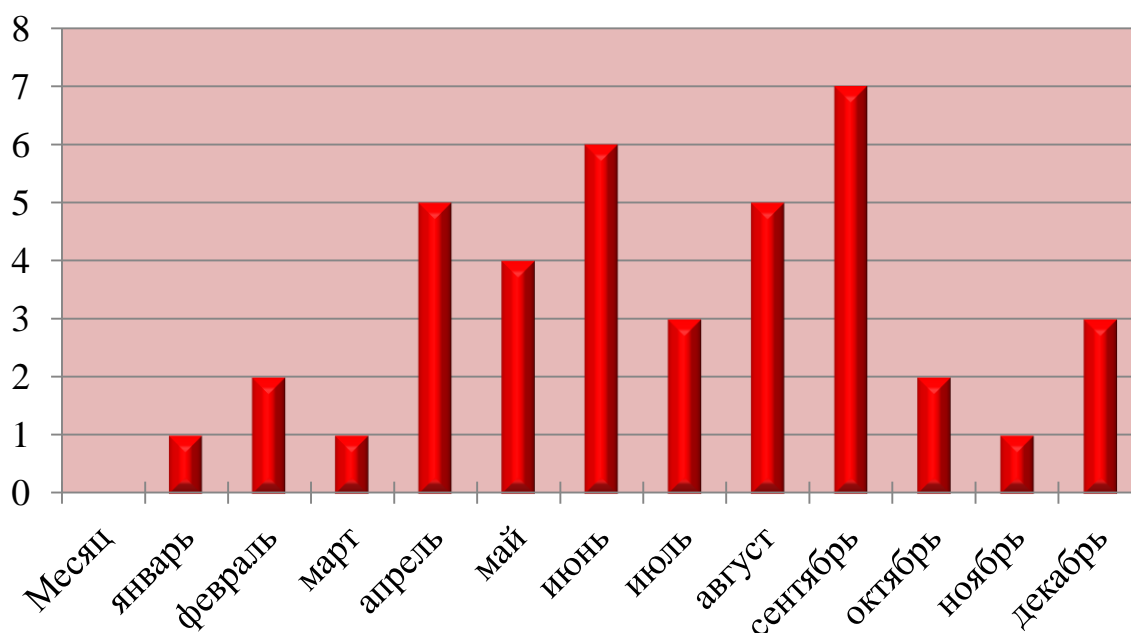


Рисунок 9 – Динамика отключений ЛЭП-220 кВ

Наибольшая частота отключений приходится в период с апреля по сентябрь. Как видно из рисунков 8 и 9, наибольшее количество отключений приходится на июнь и сентябрь, что связано, в первую очередь, с воздействием ударов молний и ветровыми нагрузками на провода в данный период года.

Анализируя данные таблицы 10, можно сделать вывод, что большинство этих отключений имело кратковременный характер из-за положительной роли автоматического повторного включения линий.

Проанализируем причины отключений. За указанный период в оперативных журналах диспетчерского персонала было зафиксировано 33 аварийных отключения. Из них 10 (30,3% от общего числа) по причине - износ; 8 отключений (24,24%), вызваны «действием» птиц; 9 - неблагоприятные погодные условия: 1 (3,031 %) – сильный ветер, 8 (24,24%) – гроза; 2 (6,06 %) - загрязнение изоляции; 2 (6,06 %) - загрязнения солончаковой пылью [20].

Вклад каждого из перечисленных факторов в общее число аварийных отключений представлен на рисунке 10.

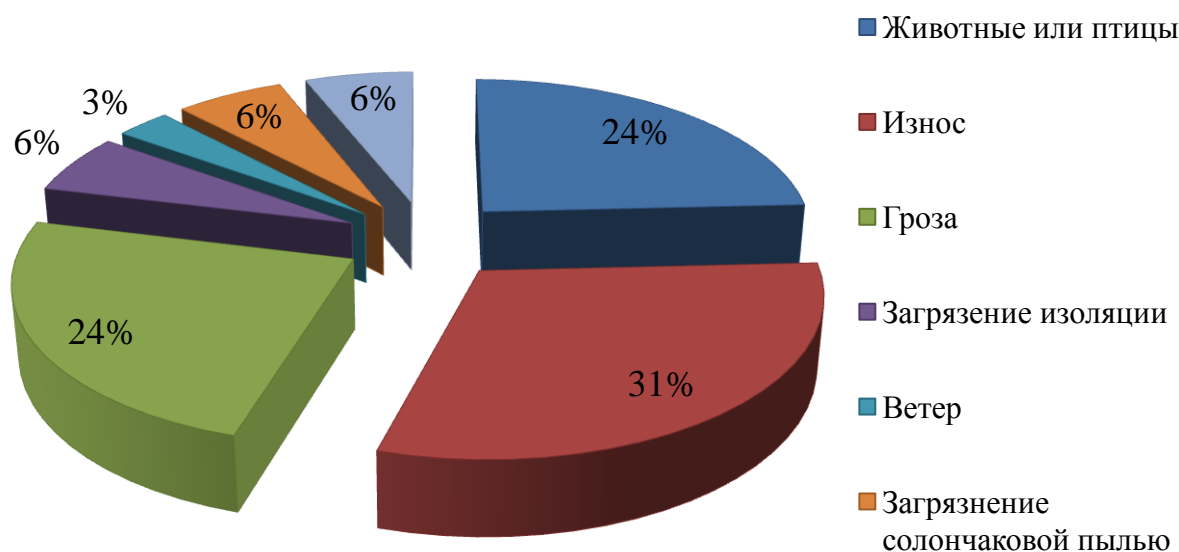


Рисунок 10 – Распределение общего числа аварийных отключений в зависимости от вызвавших причин

Основными факторами, приводящими к аварийным отключениям ВЛ-220 кВ являются неблагоприятные погодные условия [20].

Одной из причин такого распределения можно считать резкие изменения в климата в регионе.

Если сопоставить данные по распределению общего числа аварийных отключений ВЛ-220 кВ и ВЛ-110 кВ, расположенных в одной климатической зоне, то можно сделать вывод о том, что количество аварийных отключений на ВЛ напряжением 110 кВ превосходит количество отключений на ВЛ-220 кВ.

Распределение общего числа аварийных отключений ВЛ-110 кВ представлено на рисунке 11 [21].

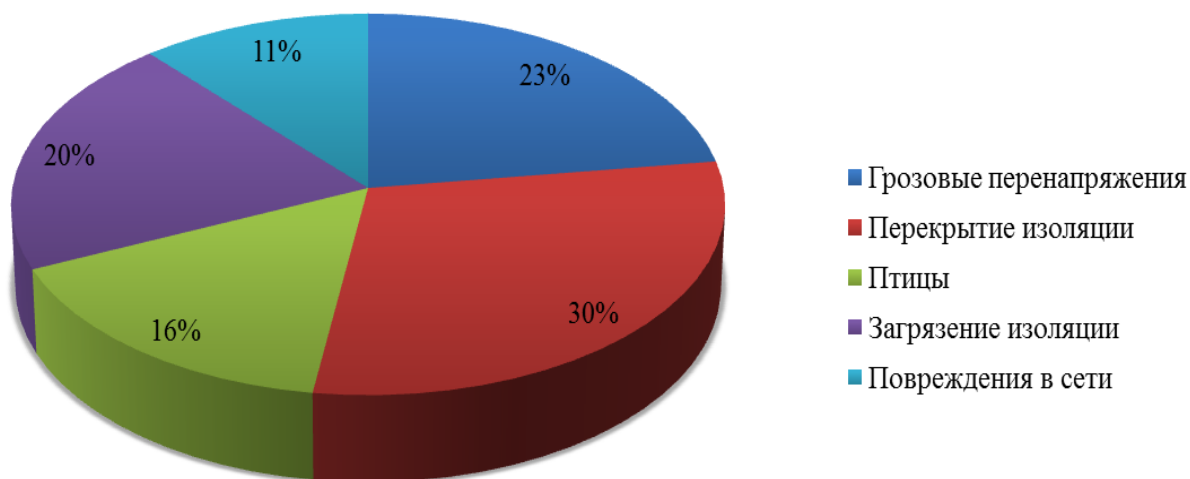


Рисунок 11 – Распределение общего числа аварийных отключений ВЛ-110 кВ

Важно заметить, что количество отключений по причине грозовых перенапряжений имеют практически равное соотношение. Что нельзя сказать об отключениях, связанных с загрязнением изоляции. На воздушной линии напряжением 220 кВ на отключения по причине загрязнения изоляции приходится 8% от общего числа аварийных отключений, а на ВЛ-110 кВ – 20% от общего числа.

Такое различие в распределение причин можно объяснить географическим месторасположением воздушных линий, что характерно для Республики Хакасия и юга Красноярского края.

2.6 Методология исследований причин аварийных отключений ВЛ

Структура методологии исследований представлена на рисунке 12. ОНП – аварийные отключений ВЛ по невыясненным причинам.

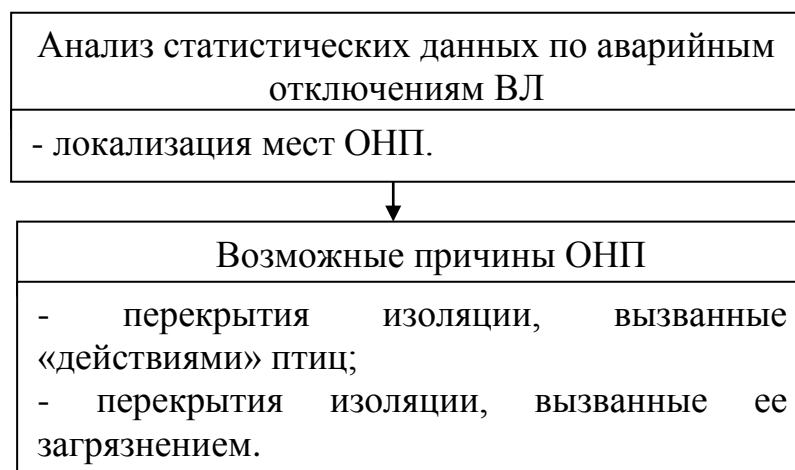


Рисунок 12 – Методология исследований

2.6.1 Локализация мест ОНП. Распределение мест короткого замыкания по длине ВЛ

Локализация мест короткого замыкания (КЗ) в той или иной степени присутствует на всех ВЛ.

На участках ВЛ длиной 10-20км может происходить от 50 до 100% всех отключений. Распределение отключений в процентах по длине ВЛ отпайки Д64 представлено на рисунке 13 [22].

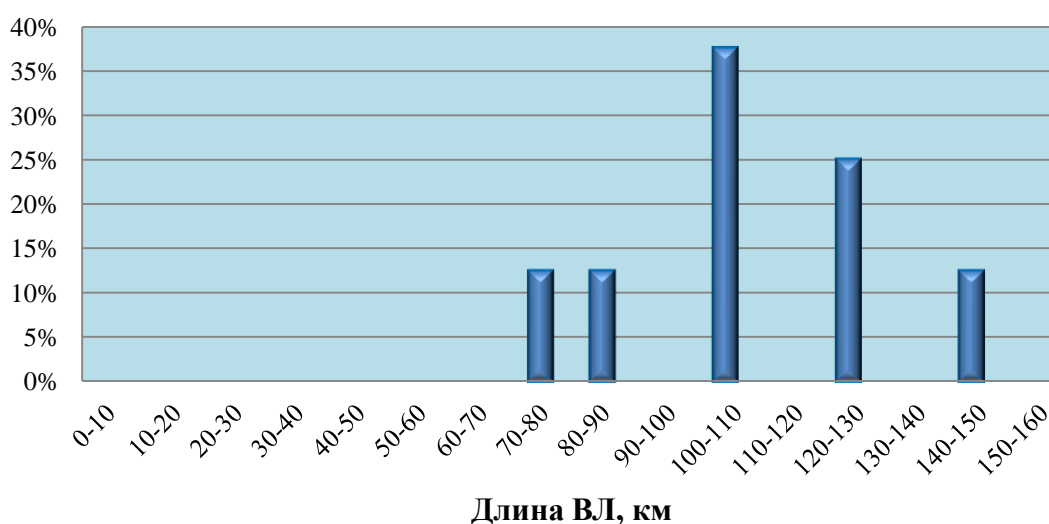


Рисунок 13 – Распределение отключений по длине ВЛ

2.6.2 Причинно-следственные связи ОНП с «действиями» птиц

В таблице 13 представлены причинно-следственные связи отключений по невыясненным причинам, связанные с «действием» птиц.

Таблица 13 – Причинно-следственные связи

Отличительные признаки «птичьих отключений»	Соответствие характеристикам ОНП
Значимая корреляция отключений с сезонными периодами: весной (в период гнездования и высиживания птенцов) и (или) осенью (после подрастания птенцов и увеличения количества особей)	Соответствует сезонным признакам ОНП I типа. Соответствует сезонным признакам ОНП II типа. Не характерно для осеннее-зимних ОНП.
Значимая корреляция отключений с временем суток: утренние отключения (начинаются незадолго до восхода и прекращаются вскоре после восхода солнца), ночные отключения (начинаются после захода солнца и продолжаются в течение ночи). Утренние отключения могут наблюдаться в течение всего года, ночные – только в летний и осенний период вплоть до октября (отлета молодых особей).	Соответствует временным признакам ОНП Не характерно для осенних-зимних отключений, происходящих в ночное время.
Погодные условия на момент отключений – тихая, безветренная погода, без осадков.	Согласуется с погодными условиями на момент ОНП
«Носители отключений» – аисты, крупные хищные птицы из отряда ястребиных (типичный представитель – канюк), различные представители врановых.	Результаты выборочного обследования подтверждают многочисленные проявления жизнедеятельности птиц практически на всех обследованных ВЛ 220 кВ.
Наиболее часто отключаемые ВЛ расположены на ограниченной географически территории, преимущественно в степной местности, где опоры служат идеальным и единственным местом для присады птиц в период охоты, гнездования и ночевки.	Согласуется с характеристиками ОНП по локализации мест отключений.

Окончание таблицы 13

Отличительные признаки «птичьих отключений»	Соответствие характеристикам ОНП
Отмечается «уязвимость» определенного типа опор. Наибольшее число отключений фиксируется на ж/б опорах.	Не согласуется с распределением числа ОНП по типам опор для ХПМЭС.
Как правило, отключения происходят с успешным АПВ	Согласуется с характеристиками ОНП

2.6.3 Возможные причины ОНП

- Причинно-следственные связи ОНП с «действиями» птиц

Данные по количеству гнезд на опорах ВЛ представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Количество гнезд на ВЛ

Диспетчерское наименование ВЛ	Количество гнезд на опорах ВЛ, шт.	Виды крупных хищных птиц, обнаруженных на трассе ВЛ
Д-63	51	Ворон, канюк
Д-64	1	

- Причинно-следственные связи ОНП с загрязнением изоляции

В таблице 15 представлены причинно-следственные связи отключений по невыясненным причинам с загрязнением изоляции.

Таблица 15 – Причинно-следственные связи ОНП с загрязнением изоляции

Признаки отключений по причине загрязнения изоляции	Соответствие характеристикам ОНП
Максимум отключений наблюдается при обострении метеорологических процессов в осенне-зимний период, когда регистрируется наибольшее число дней с опасными для работы загрязненной изоляции метеорологическими явлениями.	Соответствует сезонным признакам ОНП II типа в осенний период. Не характерно для весенне-летних ОНП I типа

Окончание таблицы 15

Признаки отключений по причине загрязнения изоляции	Соответствие характеристикам ОНП
<p>Наибольшее число перекрытий загрязненной изоляции возникает ночные-утренние часы (в период между заходом и восходом солнца), что связано с образованием локальных туманов в условиях общего повышения относительной влажности и снижения температуры воздуха в это время суток.</p>	<p>Соответствует временным признакам ОНП.</p>
<p>Погодные условия на момент отключений: температура воздуха от -5°С до +10°С, относительная влажность воздуха –от 90 до 100 %, скорость ветра - от 0 до 5 м/с. Наибольшую опасность представляют туман, морось и изморось.</p>	<p>Не вполне соответствует погодным условиям на момент ОНП. Значительная часть ОНП происходит при умеренной относительной влажности воздуха (до 80%). Доля ОНП с теми или иными осадками не превышает 15-30%.</p>
<p>Отключения происходят вблизи источников промышленного или природного загрязнения. Наблюдается повышенное загрязнение изоляции.</p>	<p>Не подтверждается результатами выборочного обследования ВЛ. Не подтверждается результатами стендовых испытаний гирлянд изоляторов, демонтированных с ВЛ.</p>
<p>Отключениям по причине загрязнения изоляции присуща серийность. Наблюдаются серии до 8-10 отключений с интервалами между отключениями от 1 до 20-30 мин.</p>	<p>Не согласуется с характеристиками ОНП.</p>
<p>Как правило, отключения происходят с успешным АПВ (от 50 до 90% по разным данным).</p>	<p>Согласуется с характеристиками ОНП</p>

После проведения анализа и обработки статистических данных имеем основные причины аварийных отключений воздушных линий напряжением 220 кВ. Таковыми являются неблагоприятные погодные условия, перекрытие изоляции и износ элементов линий электропередач.

Также установили возможные причины возникновения ОНП и причинно-следственные связи непреднамеренных (невьясненных) отключений.

Бесперебойность снабжения потребителей электрической энергией является основным показателем качества систем электроснабжения. Степень бесперебойности электроснабжения оценивается надежностью электрических сетей, которую можно определить, используя логарифмическую меру информации. При анализе надежности работы принято оценивать показатели надежности одинаково для всех элементов, входящих в состав электрических сетей. При этом показатели надежности воздушных линий электропередачи (ВЛ) оцениваются так же, как и других элементов системы, что позволяет применить ряд методов определения количества неопределенности информации о состоянии системы. Величину неопределенности информации принято называть информационной энтропией. Величина данной энтропии может быть использована для анализа работоспособного и неработоспособного состояний ЛЭП. Такой подход к анализу надежности ВЛ позволяет выявить степень надежности ЛЭП в целом, так и по отдельным причинно-следственным признакам.

3 Практическая часть

Природа функционирования ЛЭП имеет случайный характер, трудно сделать правильный выбор в пользу вероятного появления того или иного события. На основе анализа статистических данных можно воспользоваться методом неопределенности информации и построить график информационной энтропии, который позволит корректировать и создавать улучшенный график плано-предупредительных работ.

Разработка и рекомендации мероприятий по снижению риска возникновения аварийных отключений ЛЭП позволят улучшить надежность электроснабжения.

3.1 Мера неопределенности информации к оценки случайного поведения ВЛ

Системы электроснабжения относятся к сложным системам, поскольку зависимы от первоначальных условий. Рассматривая состояния технического объекта в определенном интервале времени, нельзя с абсолютной уверенностью сказать, что прослеживается детерминированность, т.е. определяемость. Даже в отсутствие полного детерминизма в поведении объектов образуется статистическая совокупность (ансамбль данных) генерируемых нетождественных событий. Имея на руках эту совокупность и используя математические инструменты можно получить информацию в количественном выражении, не исключая возможность сравнения этих объектов и установления связей между ними [23].

Энтропийная (статистическая) мера количества информации для рассматриваемых событий определяется по формуле (2):

$$H = -\sum_{i=1}^N p_i \log p_i, \quad (2)$$

где N – количество рассматриваемых событий в системе;

p_i – вероятность появления i -го события.

Выражение (2) выполнимо при условии $\sum_{i=1}^N p_i = 1$,

Последнее выражение совпадает с формулой Шеннона для вычисления математического ожидания «количества информации», содержащегося в событии, генерируемом источником информации. Мера энтропии Шеннона позволяет измерить (как правило, в битах) неопределенность в реализации случайной величины. Дополнительно отметим, что в (2), вероятность перед логарифмом – математическое ожидание количества информации в отдельных сообщениях.

По каждому году определено количество рассматриваемых причин, представленных в формуле (3):

$$N = n_1 + n_2 + \dots + n_8, \quad (3)$$

где n_i – количество отказов i -го вида отказа (n_1 – грозовое перенапряжение и т.д.).

На их основе определены вероятности отказа ЛЭП по формуле:

$$q_i = \frac{n_i}{N}, \quad (4)$$

где q_i – вероятность отказа ЛЭП (q_1 – вероятность отказа от воздействия грозовых перенапряжений и т.д.). Для всех q_i выполнено условие (2).

Через вероятности q_i , по формуле Шеннона (2) определена энтропия для каждого из событий i :

$$H_i = -q_i \log_2 q_i, \quad (5)$$

а также энтропия за весь рассматриваемый k -й год, как сумма энтропий событий i :

$$H_k = \sum_{i=1}^N H_i. \quad (6)$$

Согласно диспетчерского журнала представленного в таблице 10 выделено 8 причин, приводящих к отключению ЛЭП напряжением 220 кВ (среди которых представлены и не выявленные причины).

Исходные данные и результаты расчета энтропии представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Результаты расчета энтропии для ЛЭП 220 кВ

Год	Показатели	Гроза	Животные или птицы	Износ	Загрязнение изоляции	Ветер	Не выявленные	Загрязнение солончаковой пылью	Итого
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2009	n_i	2	-	-	2	-	7	-	-
	q_i	0,18	-	-	0,18	-	0,64	-	1
	H_i	0,45	-	-	0,45	-	0,41	-	1,31
2010	n_i	-	1	6	-	-	-	-	-
	q_i	-	0,14	0,86	-	-	-	-	1
	H_i	-	0,40	0,19	-	-	-	-	0,59
2011	n_i	1	-	-	-	-	-	-	-
	q_i	1	-	-	-	-	-	-	1
	H_i	0	-	-	-	-	-	-	0
2012	n_i	-	-	1	-	-	-	-	-
	q_i	-	-	1	-	-	-	-	1
	H_i	-	-	0	-	-	-	-	0
2013	n_i	3	-	-	-	-	2	-	-
	q_i	0,6	-	-	-	-	0,4	-	1
	H_i	0,44	-	-	-	-	0,53	-	0,97

Окончание таблицы 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2014	n_i	2	2	3	-	1	-	2	-
	q_i	0,2	0,2	0,3	-	0,1	-	0,2	1
	H_i	0,46	0,46	0,52	-	0,33	-	0,46	2,23
2015	n_i	-	3	-	-	-	-	-	-
	q_i	-	1	-	-	-	-	-	1
	H_i	-	0	-	-	-	-	-	0
2016	n_i	-	2	-	-	-	-	-	-
	q_i	-	1	-	-	-	-	-	1
	H_i	-	0	-	-	-	-	-	0

На основании результатов расчета таблицы 16 построим график информационной энтропии, который представлен на рисунке 14.

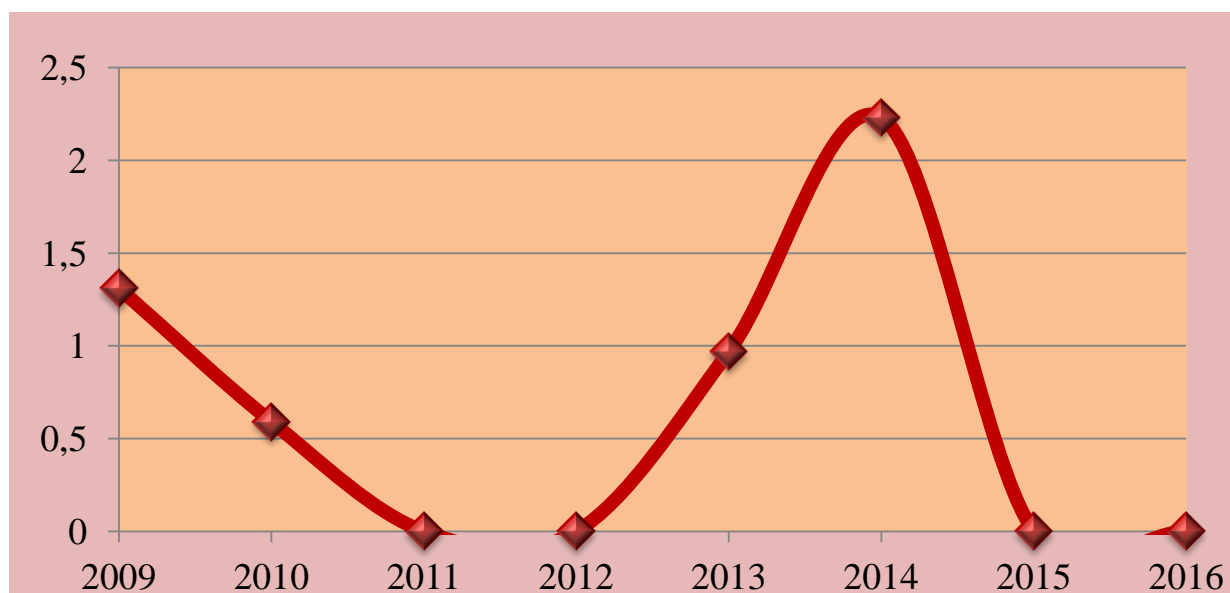


Рисунок 14 – График информационной энтропии ВЛ 220 кВ

Из графика видно, что энтропия воздушной линии претерпевает колебания, однако ее средняя величина остается фактически постоянной в течение 8 лет. Это свидетельствует о том, что состояние ЛЭП находится в статичном режиме, т.е. линия не стареет технически.

Но для более точного анализа необходимо собрать как можно больше данных и сведений по отключениям исследуемой воздушной линии.

Данное исследование может быть использовано при составлении графиков планово-предупредительных ремонтов, а так же в целях обеспечения надежной работы оборудования, предупреждения неисправностей и износа.

3.2 Мероприятия и рекомендации по снижению риска возникновения аварий

Основными причины, которые приводят к аварийным отключениям ВЛ 220 кВ являются неблагоприятные погодные условия (гроза, износ изоляции и перекрытие изоляции, вызванные «действиями» птиц).

Наглядное представление о вкладе каждого из перечисленных факторов свидетельствует об особенностях географического и климатического месторасположения линий. Имеющиеся карты районов по ветровой, гололедной нагрузке, количеству грозных часов в году и др. были составлены в период существования СССР и не отражают в полной мере действительной картины последнего периода. Это обусловлено тенденцией к изменению климата. Например, на износ изоляции оказывают существенное влияние перепады суточной температуры, возросла средняя скорость ветра (особенно в весенний период), увеличилось число местных и перелетных птиц.

Таким образом, можно предположить, что большое число аварийных отключений ВЛ по погодным причинам может быть снижено при пересмотре климатических карт для новых проектируемых ЛЭП. Существующие ЛЭП должны пройти процесс усиления конструкции.

Что касается вопроса износа элементов ЛЭП, то его разрешение лежит в русле ресурсных ограничений на выполнение капитальных ремонтов и замены изношенного оборудования.

Один из оптимальных вариантов решения проблем с птицами – это использование современного самонесущего изолированного провода (СИП). Такой провод покрыт специальной полимерной оболочкой. Это значит, что возможность контакта птиц с токонесущей частью исключена самой

конструкцией. Большое преимущество таких проводов в том, что изоляция токопроводящих жил предохраняет воздушные линии от короткого замыкания не только при «схлестывании», но и при падении деревьев, а также уменьшает налипание снега и льда.

Проблему с гнездованием можно решить при помощи лишения птиц «строительного материала», например, убирать с земли, случайно брошенные проволоки в радиусе 5 км от подстанции или ставить рядом опору с площадкой и заготовкой для гнезда. Одним из самых эффективных мероприятий против гнездования или посадки птиц на траверсу является монтаж «ежей». Из стальных прутьев, однако, это делать не желательно по экологическим соображениям: птицы могут пораниться при посадке. Применяют «мягкие ежи»

Наряду с «ежами» практический интерес имеет конструкция разъемных «зонтиков», монтируемых над верхним изолятором гирлянды. Такие «зонтики» эффективны для предотвращения по струе помета.

Существует еще один способ защиты ВЛ от птиц: отпугивание птиц электрическим током. Внутри каждой металлической опоры монтируется репеллентный провод, в котором используется наведенное напряжение. Значение такого провода состоит в том, что ток, протекающий через птицу, которая находится на заземленной части опоры и прикасается к этому проводу, является неприятным, но не смертельным для нее.

Наиболее эффективными устройствами против гнездования являются устройства, генерирующие в ночное время импульсные световые вспышки: птицы к ним не могут привыкнуть [24].

Варианты устранения непреднамеренных отключений: организация системы эксплуатации электрической сети напряжением 220 кВ. Прогнозирование нежелательных последствий от аварийных отключений, учет денежных средств на устранение неполадок в сети, интерактивное планирование предупредительных ремонтных работ (не исключая при этом критерии надежности электроснабжения [25]).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы получены результаты анализа статистических данных и проведено исследование причин отключения линий ВЛ 220 кВ Ужур – Сора вторая цепь с отпайкой на ПС Туим (Д64), а так же даны рекомендации по снижению риска возникновения аварийных отключений в распределительных электрических сетях Хакасского предприятия филиала ПАО «ФСК ЕЭС» .

По итогам выполнения данной бакалаврской работы можно сделать следующие основные выводы: основными причинами воздушных линий напряжением 220 кВ являются неблагоприятные погодные условия, а также износ оборудования. Для разработки необходимых мероприятий по снижению риска возникновения аварийных отключений был составлен график информационной энтропии на основе которого можно пересмотреть график планово-предупредительных работ, который позволит улучшить надежность линий электропередач в процессе эксплуатации.

Практическая значимость работы обусловлена тем, что теоретические и практические рекомендации, проведенного анализа, опубликованные в статье научно-исследовательского журнала «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика», могут быть использованы специалистами ХП МЭС и специалистами различных электросетевых компаний при проектировании и обслуживании распределительных сетей.

Результаты исследования были представлены на:

- международной конференции «Перспектив Свободный – 2017», посвященной году экологии в Российской Федерации. Была награждена дипломом лауреата в номинации «Повышение надежности работы энергосистем».

- республиканском конкурсе научно-исследовательских работ студентов «Научный потенциал Хакасии» в номинации «Технические науки», где была награждена дипломом за II место.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СТО 4.2–07–2014. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Красноярск : ИПК СФУ, 2014. – с.59
2. Линия электропередачи [Электронный ресурс] : материал из Википедии – свободной энциклопедии. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Линия_электропередачи
3. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения [Электронный ресурс] : информационно-справочная онлайн система «ТЕХНОРМА.RU». – Режим доступа: http://tehnorma.ru/gosttext/gost/gost_4769.htm
4. Надежность систем электроэнергетики [Электронный ресурс] : учебное пособие. – Режим доступа: http://www.docme.ru/doc/1190831/7766.nadezhnost._-sistem-e-lektroe-nergetiki--uchebnoe-posobie.
5. Классификация и характеристики отказов [Электронный ресурс] // Файловый архив студентов. – Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/6302905/page:8/>
6. Основные положения теории надежности. Понятие и классификация отказов [Электронный ресурс] // Файловый архив студентов. – Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/2956144/>
7. О повышении надежности электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sinp.com.ua/work/625901/O-povyshenii-nadezhnosti-elektrosnabzheniya>
8. Промежуточные опоры ВЛ 220 кВ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ural-esk.ru/promezhutochnye_opory_vl_220kv.html
9. Характеристики воздушных линий, таблица характеристик ВЛ 220-1250кВ [Электронный ресурс] // ПУЭ8. – Режим доступа: <http://pue8.ru/transport-elektroenergii/197-xarakteristiki-vozdushnyh-linij.html>

10. Шатова, Ю. А. Методика расчета показателей надежности воздушных линий электропередачи на основе их длин [Электронный ресурс] / Ю. А. Шатова, Н. Н. Алешина // Наукоеведение. – 2013. – № 5. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/49tvn513.pdf>
11. Как расплавить лед на проводах ЛЭП [Электронный ресурс] // Наука и жизнь. – Режим доступа: <https://www.nkj.ru/archive/articles/14553/>
12. Скорость и сила ветра [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kakras.ru/interesn/wind.htm>
13. Климатические условия и нагрузки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://almih.narod.ru/lib-en/pue/_a-c-e-e.html
14. Что такое молния и отчего возникает? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://awesomeworld.ru/prirodnye-yavleniya/molniya.html>
15. Оценка износа машин и оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://otherreferats.allbest.ru/economy/00186704_0.html
16. Воздушные линии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2014/88/06.php>
17. Загрязнение электрической изоляции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=587863>
18. Техническое обслуживание цеховых электрических сетей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=706136>
19. Планово-предупредительный ремонт электрооборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/4614833/>
20. Дулесова, Н. В. Анализ причин непреднамеренных отключений ВЛ-220 кВ. / Н. В. Дулесова, К. Е. Демчук // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика [Текст]: сборник научных трудов по материалам Международной заочной научно – практической конференции г. Воронеж, №2 (28) (Volume 5,issue 2) 2017 г. – ФГБОУВО «ВГЛТУ», 2017. – С 102-106/153.

21. Дулесова, Н. В. Анализ состояния линий электропередач 110 кВ на основе меры неопределенности информации / Н. В. Дулесова, П. А. Братилова // Актуальные вопросы научных исследований [Текст]: сборник научных трудов по материалам IX Международной научно – практической конференции г. Иваново, 15 февраля 2017 г. – Иваново: ИП Цветков А.А., 2017. – С . 19 – 23/ 76 с.

22. К вопросу об аварийных отключениях ВЛ 110-220 кВ из разряда «Причина не установлена» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fsk-ees.ru>

23. Дулесов, А. С. Мера неопределенности информации и её свойства применительно к оценке случайного поведения технического объекта / А. С. Дулесов, Н. Н. Кондрат // Журнал «Научное обозрение». – 2014. – №7. – С.258-264.

24. «Птичьи» отключения. Проблемы и решения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2008/52/15.php>

25. Лучинкин А. В. Проблемы управления режимами работы энергетических систем / А. В. Лучинкин, Ю. А. Шатова, А. А. Кривошапов // Энергосбережение, электромагнитная совместимость и качество в электрических системах: сб. ст. Междунар. науч.-пр. конф. - Пенза, 2012 г. – С. 37-45.

Бакалаврская работа выполнена мной самостоятельно. Используемые в работе материалы и концепции из опубликованной научной литературы и других источников имеют ссылки на них.

Отпечатано в 1 экземпляре.

Библиография 25 наименований.

Электронный экземпляр сдан на кафедру.

« _____ » _____
(дата)

(подпись)

Демчук К.Е.
(ФИО)