

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
«_____» _____ 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
код – наименование направления

Повышение надежности ВЛ за счёт применения средств защиты от воздействия
ПТИЦ
тема

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

Н.В. Дулесова
инициалы, фамилия

Выпускник _____
подпись, дата _____

Р.Н. Ленкин
инициалы, фамилия

Нормоконтролер _____
подпись, дата _____

И.А. Кычакова
инициалы, фамилия

Абакан 2020

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
«_____»_____ 2020 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в виде бакалаврской работы**

Студенту Ленкину Роману Николаевичу

(фамилия, имя, отчество студента)

Группа ХЭн 16-01 Направление (специальность) 13.03.02

(код)

«Электроэнергетика и электротехника»

(наименование)

Тема выпускной квалификационной работы: Повышение надежности ВЛ за счёт применения средств защиты от воздействия птиц

Утверждена приказом по университету № 323 от 05.06. 2020 г.

Руководитель ВКР Н.В. Дулесова, доцент кафедры «Электроэнергетика», к.э.н.
(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для ВКР данные из журнала регистраций аварийных отключений КЗ ХП МЭС Перечень разделов выпускной квалификационной работы:

ВВЕДЕНИЕ

1 Теоретическая часть

- 1.1 Классификация линий электропередач
- 1.2 Характеристика воздушных линий
- 1.3 Методология исследования
- 1.4 Показатели надежности воздушных линий электропередач
- 1.5 Классификация причин аварийных отключений

2 Аналитическая часть

- 2.1 Характеристика предприятия
- 2.2 Характеристика линий электропередач
- 2.3 Сезонные и временные признаки ОНП

3 Практическая часть

- 3.1 Версия «птичьих отключений»
- 3.2 Мера неопределенности информации к оценки случайного поведения ВЛ
- 3.3 Мероприятия и рекомендации по снижению риска возникновения аварий

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

Перечень обязательных листов графической части:

1. Э1 Однолинейная схема ОРУ – 220 кВ
2. Э2 Диаграммы результатов анализа
3. Э3 Мероприятия и рекомендации по снижению риска возникновения аварий

Руководитель ВКР

Н.В. Дулесова

(инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению

Р.Н. Ленкин

(инициалы и фамилия)

«_____» _____ 2020г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Повышение надежности ВЛ за счёт применения средств защиты от воздействия птиц» содержит 51 страницу текстового документа, 15 рисунков, 20 таблиц, 25 использованных источников, 3 листа графического материала.

НАДЕЖНОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ, ВЕРОЯТНОСТЬ, ЛИНИЯ, ОТКЛЮЧЕНИЯ, АНАЛИЗ, ОТКАЗ, НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ.

Объектом исследования являются ВЛ преимущественно класса напряжения 220 кВ филиала ПАО «ФСК ЕЭС» – Хакасского предприятия магистральных электрических сетей (ПМЭС).

Предметом исследования являются процессы, влияющие на отключения ВЛ: орнитологические факторы – «птицы отключения».

Целью выполнения ВКР является исследование повышения надежности ВЛ за счёт применения средств защиты от воздействия птиц.

Методы исследования – в процессе выполнения исследований применялись: методы математической статистики и теории вероятности; методы теории надежности и информации.

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

Область применения – работа выполнена по заказу филиала ПАО «ФСК ЕЭС» – Хакасского предприятия магистральных электрических сетей (ПМЭС).

Апробация работы

В мае 2020 года на XVI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Проспект Свободный - 2020», посвященной Году памяти и славы были представлены основные результаты работы, докладчик был награжден **дипломом лауреата в номинации «Повышение надежности работы энергосистем»**, а статья «Повышение надежности воздушных линий за счёт применения средств защиты от воздействия птиц», принята к публикации в электронный сборник научных трудов конференции.

ABSTRACT

The final qualifying work on the topic "Improving the reliability of overhead lines through the use of protection against bird exposure" contains 51 pages of a text document, 15 figures, 20 tables, 25 sources used, 3 sheets of graphic material.

RELIABILITY, EFFICIENCY, PROBABILITY, LINE, OUTAGES, ANALYSIS, FAILURE, UNCERTAINTY.

The object of the study is a 220 kV overhead power line of the branch of PJSC FGC UES-Khakass enterprise of main electric networks (PMES).

Subject of research are the processes that affect shutdown VL: ornithological factors, "bird off".

The purpose of performing WRC is a study of improving the reliability of overhead lines through the use of means of protection from exposure to birds.

Research methods – in the course of research, the following methods were used: methods of mathematical statistics and probability theory; methods of reliability and information theory.

The scientific novelty of the research consists in the application of modern methods for measuring information about the state of air lines.

The scope of work performed under the order, a branch of OAO "UES FGC" – Khakass enterprise of backbone electric grids (PMES).

Testing the work

In May of 2020 at the XVI International conference of students, postgraduates and young scientists "the Avenue Free - 2020", dedicated to the memory and glory (the 75-th anniversary of Victory in the great Patriotic war of 1941-1945) presented the main results of the work, she was awarded the diploma of laureate in the nomination "Improving the reliability of power systems", and article "improving the reliability of overhead lines through the use of means of protection from exposure to birds," accepted for publication in the electronic collection of scientific works of the conference.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Теоретическая часть.....	9
1.1 Классификация линий электропередач.....	9
1.2 Характеристика воздушных линий.....	11
1.3 Методология исследования.....	13
1.4 Показатели надежности воздушных линий электропередачи.....	15
1.5 Классификация причин аварийных отключений.....	17
2 Аналитическая часть.....	19
2.1 Характеристика предприятия.....	19
2.2 Характеристика линий электропередач.....	21
2.3 Сезонные и временные признаки ОНП.....	29
3 Практическая часть.....	36
3.1 Версия «птичьих отключений».....	36
3.2 Мера неопределенности информации к оценки случайного поведения ВЛ.....	39
3.3 Мероприятия и рекомендации по снижению риска возникновения аварий.....	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	47
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	48

ВВЕДЕНИЕ

Надежность работы воздушных линий (ВЛ) обусловлена совокупностью ряда факторов. Выявить истинные причины отказов ВЛ и наметить пути их совершенствования можно только на основании статистических данных о повреждаемости элементов ВЛ. Отказы являются единственным критерием проверки правильности практических решений и теоретических предпосылок.

Проблема аварийных отключений ВЛ, вызванных перекрытиями изоляции по невыясненным причинам, имеет давнюю историю и остается актуальной по сегодняшний день. Согласно опыту эксплуатации, доля аварийных отключений ВЛ по невыясненным причинам (ОНП) может достигать 50% и более. Чаще всего, такие отключения происходят в утренние илиочные часы, в условиях хорошей погоды и сопровождаются успешным автоматическим повторным включением (АПВ). При этом причины перекрытия изоляции однозначно не идентифицируются и чаще всего остаются невыясненными.

Вплоть до начала 70-х годов прошлого века основной причиной ОНП, происходящих в утренние иочные часы, считалось загрязнение изоляции. С появлением работ Кайзера, ряда других исследований эти отключения стали объяснять уже «комбинированным полевым и птичьим загрязнением» и собственно «действиями птиц». Однако до настоящего времени убедительные доказательства в пользу той или иной версии о причинах ОНП отсутствуют. Зачастую отключения по причине загрязнения изоляции и «птичьи отключения» трудно отделить, поскольку по сезонным, временным и некоторым другим признакам они почти совпадают [1].

Актуальность темы выпускной квалификационной работы (ВКР). Основными элементами электросетевого хозяйства являются воздушные линии электропередач класса напряжения 220 кВ. Возросшие требования к надежности ВЛ и экономические потери при случайных отключениях воздушных линий диктуют необходимость выявления причин отключений и

разработки мероприятий по сокращению их числа, проведения работ по осознанному и целенаправленному обслуживанию и ремонту ВЛ.

Объектом исследования являются ВЛ преимущественно класса напряжения 220 кВ филиала ПАО «ФСК ЕЭС» – Хакасского предприятия магистральных электрических сетей (ПМЭС).

Предметом исследования являются процессы, влияющие на отключения ВЛ: орнитологические факторы – «птичьи отключения».

Целью выполнения ВКР является исследование повышения надежности ВЛ за счёт применения средств защиты от воздействия птиц.

Цель достигается решением следующих задач:

- выделить методологические аспекты исследования;
- выполнить анализ причины 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.

Научная новизна обусловлена необходимостью применения способов статистической обработки и анализа данных исследования.

Практическая значимость работы обусловлена тем, что теоретические и практические рекомендации, могут быть использованы специалистами ХПМЭС и специалистами различных электросетевых компаний при проектировании и обслуживании распределительных сетей.

1 Теоретическая часть

1.1 Классификация линий электропередач

Воздушная линия электропередачи (ВЛ) – устройство, предназначенное для распределения или передачи электрической энергии по проводам, находящимся на открытом воздухе и прикреплённым с помощью траверс (кронштейнов), изоляторов и арматуры к опорам или другим сооружениям (мостам, путепроводам). ВЛИ – воздушная линия, выполненная изолированными проводами (СИП) [2].

Линии подразделяют по классу напряжения [3]:

- 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).

Линии электропередач в процессе их эксплуатации могут находиться в двух состояниях: работоспособном и неработоспособном.

Работоспособное состояние – способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации, которые сохраняют значения основных параметров

Неработоспособное состояние – это отказ или отключение.

Отключения бывают либо плановыми, либо аварийными. Плановое отключение электроэнергии – это ремонтные работы, проведение которых было запланировано. Это необходимо для соблюдения правила техники безопасности при работе на линиях. В зависимости от сложности и объема работ, персонал обесточивает предприятие или же целый населенный пункт.

К важнейшим задачам электрической сети относится надежное и качественное электроснабжение потребителей электроэнергии, присоединенных к электрической сети. Электрическая сеть является сложной

технической системой, поэтому требует комплексного подхода к оценке надежности своей работы [4].

Надежность – свойство объекта сохранять свою работоспособность, т.е. выполнять свои функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных условиях.

Причины аварийных отключений воздушных линий 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);
- износ оборудования;
- перекрытие изоляции (вызванное «действием» птиц, загрязнение изоляции и т.п.).

«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 щунтируют изоляцию, что может привести к ее перекрытию. Присаживание птиц на опоры происходит на краю траверсы над проводом. Вовремя присаживания или взлета с опоры птица выбрасывает струю помета в направлении провода, что также может привести к ее перекрытию [5].

В свою очередь птицы, независимо от размера, могут стать причиной отключений и выхода из строя электросетевого оборудования. Например, стаи птиц, собираясь на элементах электросетевого оборудования, могут перекрывать промежутки «фаза-земля», «фаза-фаза». А сами (птицы) подвергаются рискам гибели[6].

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

1.2 Характеристика воздушных линий

Высоковольтные линии предназначены для передачи электроэнергии населённым пунктам и производственным предприятиям. По нагрузке током промежуточные опоры высоковольтные ЛЭП различают одноцепные и двухцепные, а по конструкции: с оттяжками и без. Для предотвращения и защиты от коррозии используется оцинковка, либо специальное красочное покрытие, наносимое после предварительной обработки и подготовки металлоконструкции [7].

ВЛ напряжением 220-500кВ выполняются в зависимости от нагрузки сталеалюминевыми проводами различных сечений по алюминию и по стали в мм^2 и могут иметь несколько расщепленных проводов в фазе n_ϕ . Средние значения в расчете на 1 км длины линии приводятся для $x_{\text{уд}}$, Ом/км, удельной емкостной проводимости $b_{\text{уд}}$, См/км, и зарядной мощности $q_{\text{уд}}$, МВар/км [8].

1.2.1 Характеристика воздушных линий 500 кВ

Зарядная мощность $q_{\text{уд}}$ для ВЛ-500 кВ подсчитывается по среднеэксплуатационному напряжению 1,05 Уном.

В таблице 1 приведены следующие расчетные характеристики ВЛ-500кВ со сталеалюминевыми проводами:

Таблица 1 – Расчетные характеристики ВЛ 500 кВ

U , кВ	Сечение проводка, мм^2 алюминий/сталь	n_ϕ	$x_{\text{уд}}$, Ом/к м	$b_{\text{уд}}$, См/км	$q_{\text{уд}}$, Мвар/км	$D_{\text{ср}}$, м
-------------	--	----------	--------------------------------	----------------------------	------------------------------	------------------------

Продолжение таблицы 1

500	300/66 330/48 400/51	3	0,30	$3,6 \cdot 10^{-6}$	0,90	14
-----	----------------------------	---	------	---------------------	------	----

U – напряжение ВЛ, кВ;

$S_{\text{ал}}, S_{\text{ст}}$ – сечение провода по алюминию и по стали, мм^2 ;

n_{ϕ} – количество расщепленных проводов в фазе;

$x_{\text{уд}}$ – удельное индуктивное сопротивление линии, $\text{Ом}/\text{км}$;

$b_{\text{уд}}$ – удельная емкостная проводимость линии, $\text{См}/\text{км}$;

$q_{\text{уд}}$ – зарядная мощность линии, $\text{Мвар}/\text{км}$;

$D_{\text{ср}}$ – среднегеометрическое расстояние между фазами, м.

1.2.2 Характеристика воздушных линий 220 кВ

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

В таблице 2 приведены следующие расчетные характеристики ВЛ-220кВ со сталеалюминиевыми проводами.

Таблица 2 – Расчетные характеристики ВЛ 220 кВ

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

1.2.3 Характеристика воздушных линий 110 кВ

Таблица 3 – Расчетные характеристики ВЛ 110 кВ

U, кВ	Сечение проводка, мм ² алюминий/сталь	n _ф	x _{уд} , Ом/км	b _{уд} , См/км	q _{уд} , Мвар/км
110	150/24	1	0,42	$2,7 \cdot 10^{-4}$	0,434

1.2.4 Характеристика воздушных линий 10 кВ

Таблица 4 – Расчетные характеристики ВЛ 10 кВ

U, кВ	Сечение проводка, мм ² алюминий/сталь	n _ф	x _{уд} , Ом/км	b _{уд} , См/км
10	16	1	0,102	$72,2 \cdot 10^{-4}$

1.3 Методология исследования

Важным методическим аспектом при исследовании свойства надёжности электрической сети является понятие «отказа». Причинами отказов в электрической сети в большинстве случаев могут быть повреждения в оборудовании, аппаратуре и конструкциях электросетевых объектов или появление недопустимых режимных параметров в элементах сети, требующее принятия неотложных действий по их устраниению. Все технологические нарушения подлежат расследованию и учёту, что позволяет сформировать базу данных по аварийности в электрических сетях за продолжительный срок эксплуатации.

Отечественный и зарубежный опыт решения задач по оценке надёжности систем электроэнергетики показывает, что показатели надёжности в общем случае образуют три группы [9]:

- вероятность какого – либо события;
- интенсивность событий, например, число отказов в единицу времени;
- средняя продолжительность события (математическое ожидание).

Ещё один важный методический аспект функционирования электрической сети, определяющий подход к оценке её надёжности, заключается в том, что все происходящие в сети технологические нарушения и связанные с ними отказы образуют во времени поток событий. Под потоком событий подразумевается последовательность однородных событий, появляющихся одно за другим в случайные моменты времени. Важным понятием для потока событий является интенсивность потока $\lambda(t)$ – среднее число событий, приходящееся на единицу времени [10].

Методологические исследования связанные с ОНП можно представить в виде совокупной структуры в таблице 5.

Таблица 5 – Методология исследования ОНП

Анализ статистических данных по аварийным отключениям ВЛ	Выборочное обследование наиболее проблемных ВЛ	Стендовые испытания гирлянд изоляторов, демонтированных с ВЛ	Экспериментальные исследования электрической прочности изоляции при сочетанном воздействии рабочего напряжения и различных внешних факторов
--	--	--	---

Анализ статистических данных по аварийным отключениям ВЛ:

- количественные характеристики ОНП;
- сезонные, временные признаки ОНП;
- погодные условия на момент ОНП;
- локализация мест ОНП.

Выборочное обследование наиболее проблемных ВЛ:

- дефекты ВЛ;
- присутствие птиц;
- локальные повышения напряжения на ВЛ;
- источники природного и техногенного загрязнения.

Стендовые испытания гирлянд изоляторов, демонтированных с ВЛ:

- характеристики естественного слоя загрязнения изоляторов (ЕЗ);
- разрядные характеристики изоляции в условиях увлажнения.

Экспериментальные исследования электрической прочности изоляции при сочетанном воздействии рабочего напряжения и различных внешних факторов:

- разрядные характеристики изоляции в условиях аномально;
- легкого и неравномерного загрязнения;
- условия перекрытия изоляции при внесении инородных проводящих предметов;
- условия перекрытия по «струе птичьего помета».

1.4 Показатели надежности воздушных линий электропередач

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтопригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств [11].

Применительно к системам электроснабжения (СЭС) – бесперебойное снабжение электрической энергией, и свойство сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, транспортирования электрической энергии и исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды [12].

Глубина аварии на ВЛ обосновывается числом отключенных цепей и

снижением пропускной способности, в электрических сетях – объемом погашений потребительских и районных подстанций, в системах электроснабжения – уровнем аварийных ограничений потребителей, в ЭЭС и объединениях – уровнем недостатка мощности и энергии и уровнем снижения частоты [13].

При рассмотрении 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 способна составлять несколько сотен километров, трасса ВЛ может располагаться по территориям с различными климатическими условиями, пересекать различные инженерные сооружения и конструкции, географические объекты (поля, леса, озера), что оказывает значительное влияние на условия функционирования воздушной линии.

В соответствии с классической теорией показатели надежности ЭС рассчитываются с учетом количества элементов и отказов. Условия функционирования и технические параметры ВЛ отличаются друг от друга, поэтому расчет показателей надежности для всей совокупности линий осуществляется по определению параметра потока отказа по отдельным элементам СЭС.

Одним из основных показателей для оценки надежности элементов СЭС является параметр потока отказа, это и есть среднее количество отказов в единицу времени, которую обычно принимают одному году.

Параметр потока отказа определяется на основе обработки статистических данных о работе и ремонте оборудования.

Параметр потока отказов (ω) определяется по формуле 1:

$$\omega = \frac{\omega_0 \cdot l}{100 \text{ км}}, \quad (1)$$

где l – длина отказавших ВЛ за рассматриваемый промежуток времени;
 ω – параметр потока отказа на 100 км.

Таблица 6 – Табличные значения параметров потока отказов элементов электрической сети

Элемент сети	ω , отказ/год при U 110 кВ	ω , отказ/год при U 220 кВ	ω , отказ/год при U 500 кВ
Воздушные линии: (100 км)			
- одноцепные	1,1	0,9	0,6
- двухцепные:			
отказ одной цепи	1,0	0,7	–
отказ двух цепей	0,1	0,2	–
Трансформаторы	0,01	0,02	0,2
Выключатели в цепях ВЛ (на один выключатель)	0,2	0,4	0,5

1.5 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.

Поскольку рассматриваются именно причины аварии от воздействия птиц

рассмотрим причины перекрытия 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 нарушению т.е к перекрытию. Присаживание птиц на опоры происходит на краю траверсы над проводом. Вовремя присаживания или взлета с опоры птица выбрасывает струю помета в направлении провода, что также может привести к ее перекрытию [14].

К перекрытию изоляции 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, способствующая увеличению поверхностной проводимости 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 [15].

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

Предотвращение преждевременного износа оборудования и разрушения элементов воздушной линии, которые происходят вследствие нарушения нормального режима работы и воздействия окружающей среды, можно решить при помощи проведения планово-предупредительного ремонта. Планово-предупредительный ремонт позволяет провести ряд работ, который направлен на замену деталей и восстановление оборудования [16].

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. Зильbermanом (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 также 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.

2.2 Характеристика линий электропередач

В эксплуатации предприятия находится 16 подстанций напряжением 220-500 кВ.

В зону обслуживания Хакасского ПМЭС входит Республика Тыва, Республика Хакасия и юг Красноярского края.

Протяженность ВЛ 10-500 кВ, обслуживаемых Хакасским ПМЭС, составляет 3598 км.

Распределение ВЛ по классу напряжения: ВЛ 10 кВ – 1 шт., ВЛ 110 кВ – 5 шт., ВЛ 220 кВ – 41 шт., ВЛ 500 кВ – 10 – шт.

ВЛ обслуживается 4 линейными участками: Саяногорский, Абаканский, Таштыпский, Кызылский.

Исходные данные по количеству отключений рассматриваемый период с 2015-2019 г. были взяты из оперативных журналов диспетчерского персонала Хакасского ПМЭС и представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Распределение «птичьих» отключений по ВЛ

Нумерация ВЛ по порядку	Наименование ВЛ	Кол-во отключений за 2015-2019
1	ВЛ 500 кВ Итатская – Абаканская № 1	1
2	ВЛ 500 кВ Итатская – Абаканская № 2	8
3	ВЛ 500 кВ Алюминиевая – Абаканская № 2	2
4	ВЛ 220 кВ Минусинская-опорная – Шушенская-опорная I цепь (Д-37)	2
5	ВЛ 220 кВ Аскиз – Абаза (Д-41)	6
6	ВЛ 220 кВ Абаза – Ак-Довурак (Д-42)	2
7	ВЛ 220 кВ Ак-Довурак – Чадан (Д-43)	2
8	ВЛ 220 кВ Кызылская – Чадан	3
9	ВЛ 220 кВ Турган – Кызылская (Д-47)	2
10	ВЛ 220 кВ Абаканская – Камышта (Д-51)	8

Продолжение таблицы 7

11	ВЛ 220 кВ Камышта – Аскиз (Д-52)	1
12	ВЛ 220 кВ Аскиз – Югачи (Д-53)	1
13	ВЛ 220 кВ Югачи – Тёя (Д-54)	1
14	ВЛ 220 кВ Абакан-районная – Абаканская ТЭЦ (Д-61)	2
15	ВЛ 220 кВ Ужур – Сопа I цепь с отпайкой на ПС Туим (Д-63)	2
16	ВЛ 220 кВ Ужур – Сопа II цепь с отпайкой на ПС Туим (Д-64)	2
17	ВЛ 220 кВ Сопа – Абакан-районная I цепь (Д-65)	3
18	ВЛ 220 кВ Сопа – Абакан-районная II цепь (Д-66)	3
19	ВЛ 220 кВ Означенное – ГПП-1 САЗ I цепь с отпайкой на ПС ГПП-2 САЗ (Д-75)	1
20	ВЛ 220 кВ Означенное – ГПП-1 САЗ II цепь (Д-76)	1
21	ВЛ 220 кВ Означенное – ГПП-1 САЗ IV цепь (Д-78)	2
22	КВЛ 220 кВ Шушенская-опорная – Означенное-районная I цепь с отпайкой на Майнскую ГЭС	3
23	КВЛ 220 кВ Шушенская-опорная – Означенное-районная II цепь с отпайкой на Майнскую ГЭС	2

Анализ аварийных отключений воздушных линий предусматривает статистическую обработку данных за период времени 2015-2019 гг., которые относятся к аварийным отключениям магистральных ВЛ 500-220 кВ. Данные представлены в таблице 8 [17].

Таблица 8 – Количество аварийных отключений по годам

Год	Количество отключений	Классификатор
2015	12	Птицы
2016	16	
2017	19	
2018	7	
2019	6	
Всего:	60	

Согласно данным таблицы 8 составим график, который представлен на рисунке 1.

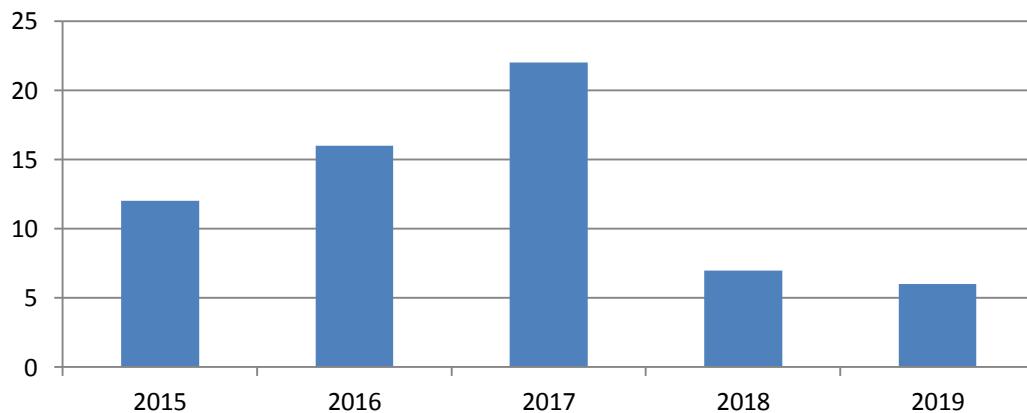


Рисунок 1 – Распределение аварийных отключений в анализируемом периоде времени

Можно заметить, что частота отключений повышалась с каждым годом с 2015-2017 гг. Наибольшее количество аварийных отключений приходится на 2017 г, а наименьшее: 2018 и 2019 гг. В период 2018-2019 гг. наблюдается планомерное снижение числа аварийных отключений.

Проанализировав таблицу 7 и 8, наглядно видно, что наибольшее количество отключений за период 2015-2019 гг., приходится на ВЛ 220 кВ и 500 кВ. Выбираем ВЛ на 220 кВ, т.к. именно эти линии являются проблемными

и имеют наибольшее количество обслуживаемых воздушных линий и наибольшее количество отключений.

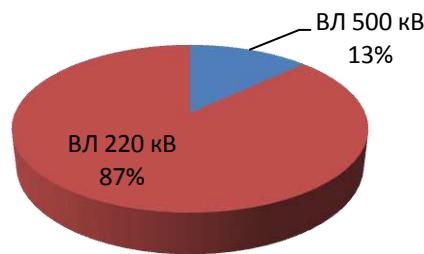


Рисунок 2 – Диаграмма по отключениям ВЛ 220 кВ и 500 кВ

Проанализируем причины отключений. За указанный период в оперативных журналах диспетчерского персонала было зафиксировано 60 аварийных отключений. Из них по годам: 12 отключений (20% от общего числа) – 2015 г; 16 отключений (27%) – 2016 г; 19 отключений (32%) – 2017 г; 7 отключений (11%) – 2018 г; 6 отключений (10%) – 2019 г.

Распределение общего числа аварийных отключений из-за воздействия птиц ВЛ 500-220 кВ представлено на рисунке 3.

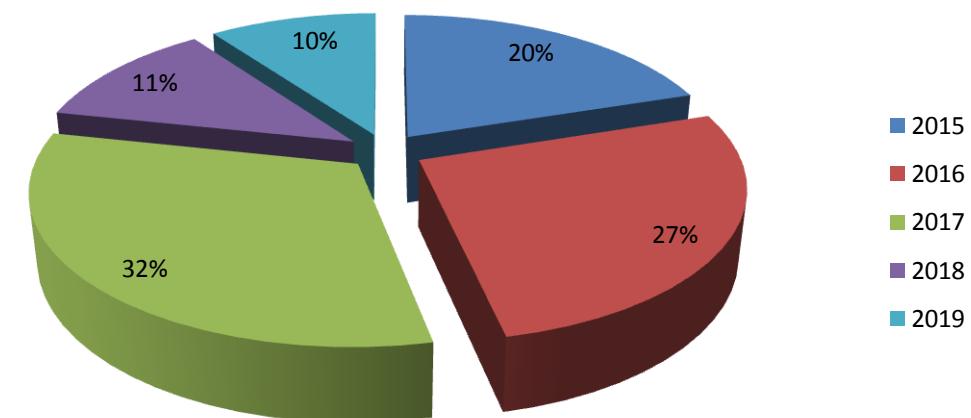


Рисунок 3 – Распределение общего числа аварийных отключений

Распределение числа отключений по отдельным объектам в

рассматриваемом временном интервале отображено в таблице 7.

Согласно данным таблицы 7 распределение «птичьих» отключений по ВЛ составим график, который представлен на рисунке 4.

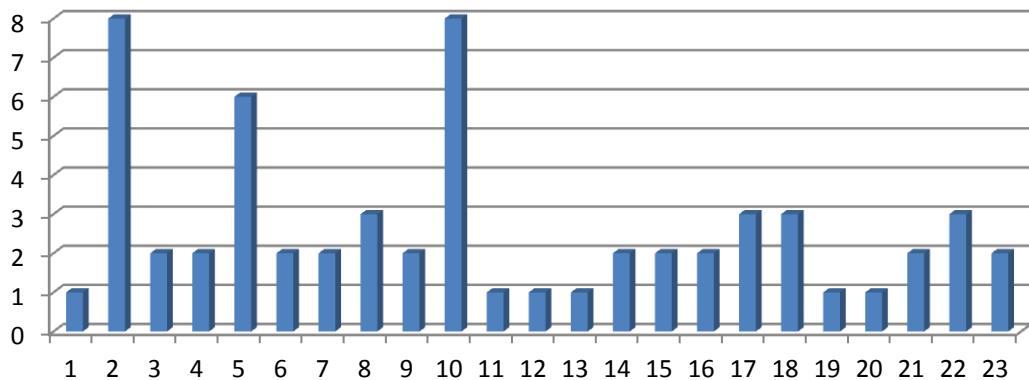


Рисунок 4 – Распределение числа отключений по отдельным объектам

Как видно, наибольшее число отключений относится к ВЛ под номером 10) ВЛ 220 кВ Абаканская – Камышта (Д-51). Поэтому выбираем эту ВЛ как основную для анализа и исследования. Т.к. ВЛ Абаканская – Камышта (Д-51) имеет самое большое число гнездований при дневном осмотре 2019 г. выявлено 81 гнездо на опорах ВЛ.

Паспорт ВЛ - 220 кВ Абаканская - Камышта (Д-51)

Таблица 9 – Паспорт ВЛ - 220 кВ Абаканская - Камышта (Д-51)

Год постройки:	1963
Дата ввода в эксплуатацию:	1963
Диспетчерский номер №	Д-51
Наименование проектной организации	СЗО Энергосетьпроект
Наименование строительно-монтажной организации	Межколонна № 61

Схема линии электропередач представлена на рисунке 5.

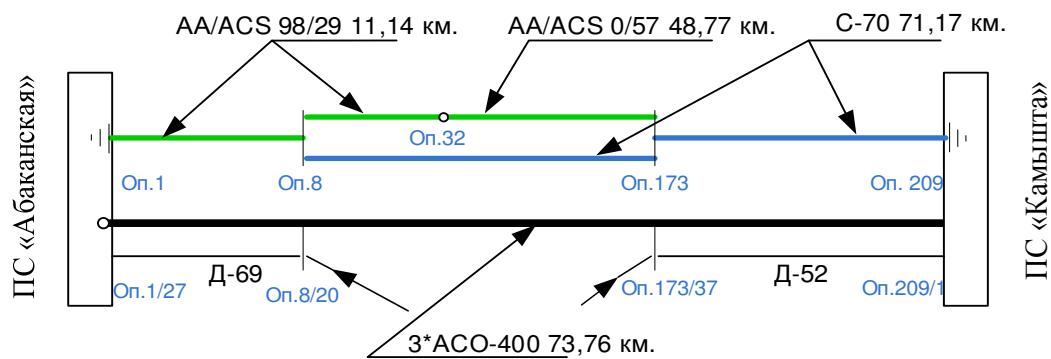


Рисунок 5 – Схема линии электропередач

Схема транспозиции ВЛ трехлинейная представлена на рисунке 6.

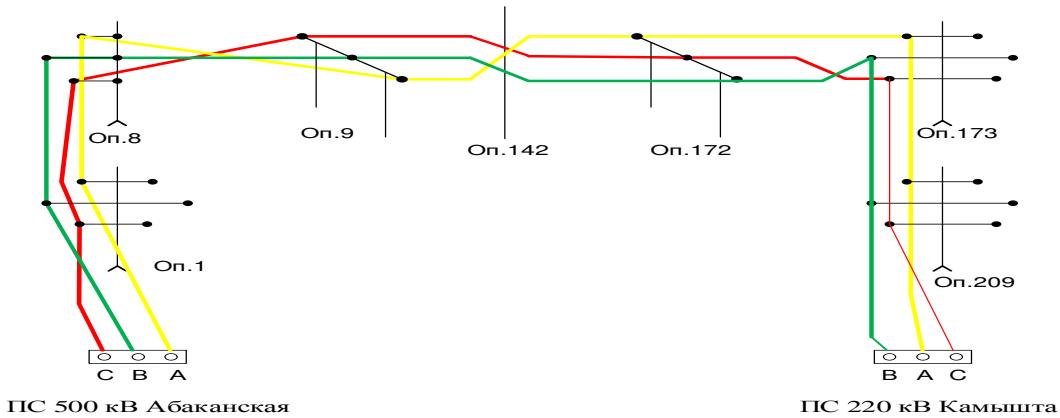


Рисунок 6 – Схема транспозиции ВЛ трехлинейная

Основные данные ВЛ 220 кВ, предоставленные предприятием:

Таблица 10 – Основные данные ВЛ 220 кВ

1	Протяженность ВЛ, км	73,76
2	Количество участков	–
3	Количество опор (всего), шт.	209
	а) промежуточных шт., тип ПС-220-2Т, П-22, П-26	187
	б) промежуточно-угловых шт., тип ПУ-30	2
	в) анкерных и анкерно-угловых шт., тип У220-2Т+9, У-34, У-38-1, У-38,	20

Продолжение таблицы 10

	г) транспозиционных шт. тип	—
	д) специальных шт.	—
3	Участок 1:	
3.1	Номинальное напряжение, Уном кВ	220
3.2	Эксплуатационное напряжение, кВ	220
3.3	Длина участка, L км	73,76
3.4	Длина, обслуживающая МЭС, км	73,76
3.5	Длина пролета: максимальная	220 820
	а) расчетного весового	—
	б) расчетного ветрового	—
	в) габаритного	—
3.6	Марка и сечение провода	ACO-400 (AC-400/51)
3.7	Количество проводов в фазе, шт	1
3.8	Расстояние между проводами в фазе, м	—
3.9	Количество цепей	1
3.1 0	Марка грозозащитного троса	C-70
	Марка ОКГТ	AA/ACS 98/29, AA/ACS 0/57
3.1 1	Количество проводов грозотроса	1 (8-209)
	Количество проводов ОКГТ	1 (1-173)
3.1 2	Способ заземления грозотроса (выбрать из списка): - Заземление на опорах (без разрезания троса) ОКГТ	— 1-173
	- Заземление на анкерных опорах с одной стороны каждого участка разрезанного троса	—
	- Трос заземлен только по концам линии	—

Место расположения воздушной линии (Д-51) представлено на однолинейной схеме ОРУ 220 кВ, рисунок 7.

Таблица 11 – Параметр потока отказов ω элементов сетей 10-500 кВ, отказ/год

Тип опор	Протяженность, км	Параметры потока отказов по ОНП, 1/100 км/год	
		Среднее значение*	Диапазон*
металл	73,76	1,6	0,15-0,5

По среднестатистическим данным воздушная линия 220 кВ имеет норматив параметра потока отказа 0,7 отказа в год на 100 км. При расчёте параметра потока отказа, получаем среднее значение 1,6 отказа в год. Следовательно, линия превышала норматив в 2 раза.

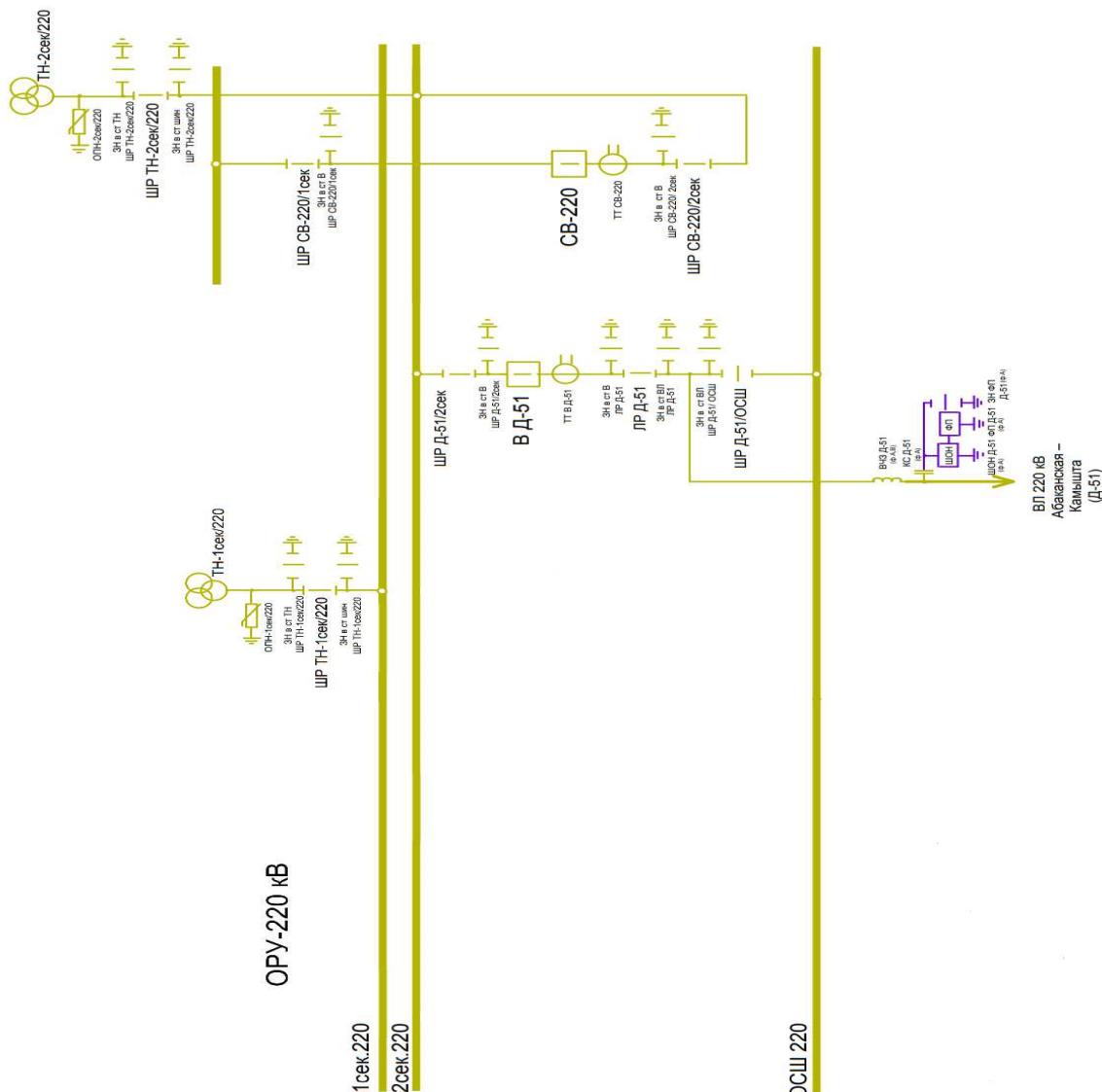


Рисунок 7 – Однолинейная схема ОРУ 220 кВ

2.3 Сезонные и временные признаки ОНП

Таблица 12 – Обобщенные данные

Тип отключений	Характерные временные признаки отключений	
	Время года	Время суток
Тип I: весенне-летние отключения	март – июнь	5:00 – 7:00
	апрель – июнь	5:00 – 8:00
	апрель – май	5:00 – 8:00
Тип II: осенне-зимние отключения	ноябрь – февраль	21:00 – 24:00, 0:00 – 8:00
	август – сентябрь	3:00 – 9:00
	сентябрь	6:00 – 8:0

Таблица 13 – ОНП по времени года и времени суток

Месяц	года				
	2015	2016	2017	2018	2019
январь					
февраль					
март					
апрель			8:50		1:21
май	4:45				
июнь					
июль					
август			4:56		
сентябрь		5:57	2:59 4:20 7:02		
октябрь					
ноябрь					
декабрь					

На основании таблицы 13, построим график распределения ОНП по времени года и времени суток.

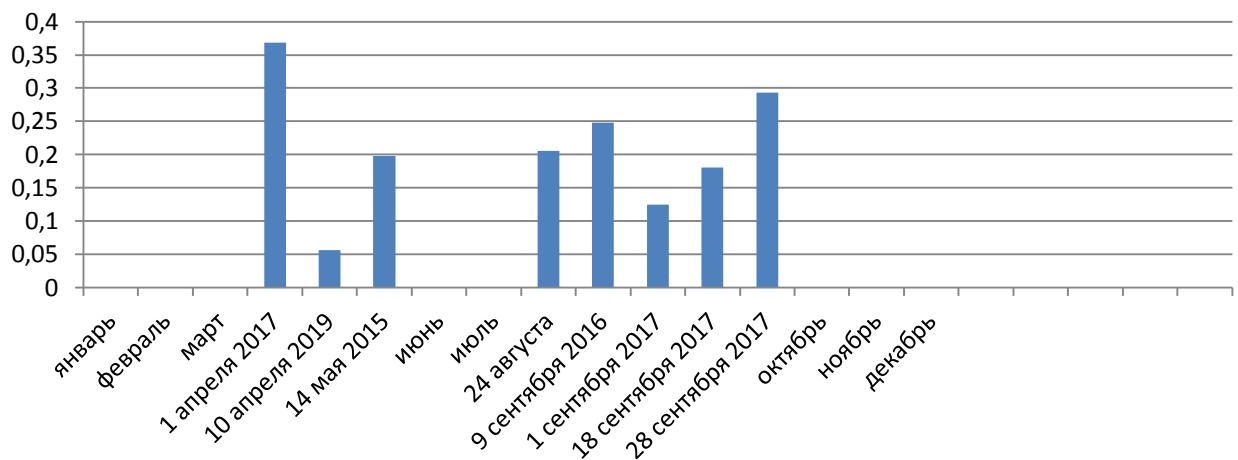


Рисунок 8 – Распределение ОНП по времени года и времени суток

Проанализировав данные, представленные на рисунке 8, можно сделать вывод, что на осенний период приходится наибольшее количество отключений.

2.3.1 Причинно-следственные связи ОНП с «действиями» птиц

В таблице 14 представлены причинно-следственные связи отключений по невыясненным причинам, связанные с «действием» птиц.

Таблица 14 – 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 осенне-зимних ОНП.

Продолжение таблицы 14

<p>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).</p>	<p>Соответствует временным признакам ОНП Не характерно для осенних-зимних отключений, происходящих в ночное время.</p>
<p>Погодные условия на момент отключений – тихая, безветренная погода, без осадков.</p>	<p>Согласуется с погодными условиями на момент ОНП</p>
<p>«Носители отключений» – аисты, крупные хищные птицы из отряда ястребиных (типичный представитель – канюк), различные представители врановых.</p>	<p>Результаты выборочного Обследования подтверждают многочисленные проявления жизнедеятельности птиц Практически на всех обследованных ВЛ 220 кВ.</p>
<p>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.</p>	<p>Согласуется с характеристиками ОНП по локализации мест отключений.</p>
<p>Согласуется с характеристиками ОНП по локализации мест отключений.</p>	<p>Соответствие характеристикам ОНП</p>
<p>Отмечается «уязвимость» определенного типа опор. Наибольшее число отключений фиксируется на ж/б опорах.</p>	<p>Не согласуется с распределением числа ОНП по типам опор для ХПМЭС.</p>
<p>Как правило, отключения происходят с успешным АПВ</p>	<p>Согласуется с характеристиками ОНП</p>

2.3.2 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.	<p>Соответствует сезонным признакам ОНП II типа в осенний период.</p> <p>Не характерно для весенне-летних ОНП I типа</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.	Соответствует временным признакам ОНП.
Погодные условия на момент отключений: температура воздуха от -5°C до +10°C, относительная влажность воздуха –от 90 до 100 %, скорость ветра – от 0 до 5 м/с. Наибольшую опасность представляют туман, морось и изморось.	<p>Не вполне соответствует погодным условиям на момент ОНП.</p> <p>Значительная часть ОНП происходит при умеренной относительной влажности воздуха (до 80%).</p> <p>Доля ОНП с теми или иными осадками не превышает 15-30%.</p>
Отключения происходят вблизи источников промышленного или природного загрязнения. Наблюдаются повышенное загрязнение изоляции.	<p>Не подтверждается результатами выборочного обследования ВЛ.</p> <p>Не подтверждается результатами стендовых испытаний гирлянд изоляторов, демонтированных с ВЛ.</p>
Отключениям по причине загрязнения изоляции присуща серийность. Наблюдаются серии до 8-10 отключений с интервалами между отключениями от 1 до 20-30 мин.	Не согласуется с характеристиками ОНП.
Как правило, отключения происходят с успешным АПВ (от 50 до 90% по разным данным).	Согласуется с характеристиками ОНП

2.3.3 Возможные причины ОНП

Причинно-следственные связи ОНП с «действиями» птиц
 Данные по классификатору отключений на опорах ВЛ представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Характерные отключения на ВЛ

Дата отключе- ния	Время отключе- ния	Фаза	АПВ	Фактическое МП	Классификат- ор
				Расстояние, км	
14 мая 2015 г.	4:45	С	УАПВ	25,47 км от шин ПС 500 кВ Абаканская	Птицы, животные
9 сентября 2016 г.	5:57	В	УАП В	8,78 км от ПС 500 кВ Абаканская	Птицы, животные
1 апреля 2017 г.	8:50	С	УАП В	15,7 км от ПС 500 кВ Абаканская	Птицы, животные
24 августа 2017 г.	4:56	В	УАП В	28,8 км от ПС 500 кВ Абаканская	Птицы, животные
1 сентября 2017 г.	2:59	С	УАП В	12,6 км от ПС 500 кВ Абаканская	Птицы, животные
18 сентября 2017 г.	4:20	В	УАП В	8,8 км от ПС 500 кВ Абаканская	Птицы, животные
28 сентября 2017 г.	7:02	А	УАП В	5,8 км от ПС 500 кВ Абаканская	Птицы, животные
10 апреля 2019 г.	1:21	С	УАП В	36,24 км от ПС 500 кВ Абаканская	Птицы, животные

Всего при дневном осмотре 2019 г. выявлено 81 гнездо на опорах воздушной линии Абаканская-Камышта(Д-51).

Распределение мест короткого замыкания по длине ВЛ 220 кВ:

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

Распределение отключений по времени по всей длине ВЛ представлено

на рисунке 9 [18].

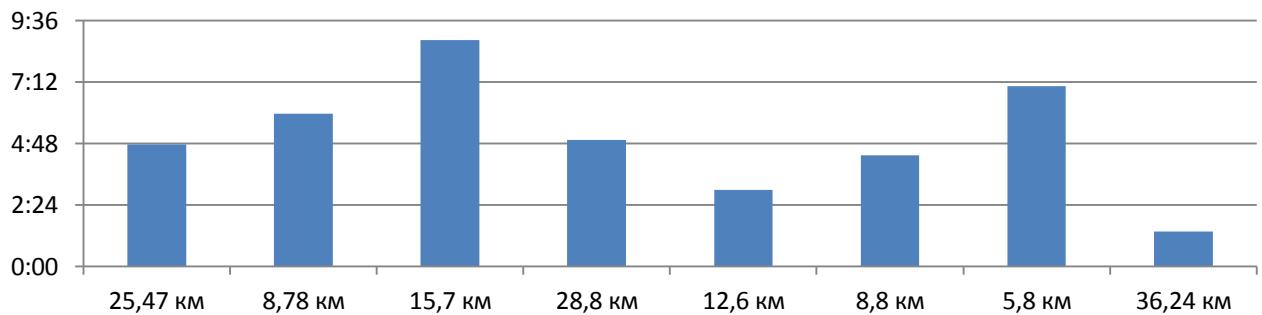


Рисунок 9 – Распределение отключений по длине ВЛ

Таблица 17 – Сводные данные по количеству гнезд на опорах воздушных линий, обнаруженных в ходе обследования

Диспетчерское наименование ВЛ	Количество гнезд на опорах ВЛ, шт.	Виды крупных хищных птиц, обнаруженных на трассе ВЛ
Хакасское ПМЭС		
Д-63	51	Ворон, канюк
Д-64	1	
Д-79/80	3	Ворон
Д-51	81	Ворон, канюк

Возможной и наиболее вероятной причиной ОНП следует считать перекрытия изоляции, вызванные «действиями птиц». Данный вывод подтверждается совпадением характеристик ОНП с характерными отличительными признаками «птичьих отключений», а также результатами выборочного обследования наиболее проблемных воздушных линий 220 кВ и результатами экспериментальных исследований, подтвердивших принципиальную возможность перекрытия изоляции воздушных линий 220 кВ по струе птичьего помета.

Характеристики ОНП, установленные в результате статистического анализа аварийных отключений воздушных линий 220 кВ, хорошо согласуются с известными признаками «птичьих отключений» [19]. Прежде всего это относится к сезонным и времененным признакам ОНП I типа. Отключения

происходят в утренние часы незадолго до восхода солнца, что характерно для «птичьих отключений». Пик отключений наблюдается в июне, затем в августе – сентябре, весенний пик отключений выражен слабо.

Аналогичные закономерности отмечались в [20] применительно к ВЛ 220-500 кВ где пик отключений приходился на июль-август, а отключения в весенний период почти отсутствовали. Другие характеристики ОНП I типа также соответствуют «птичьим отключениям». Как правило, отключения происходят в хорошую погоду без осадков, с успешным АПВ. Воздушные линии, проходящие по открытой местности, служат для присаживания птиц.

3 Практическая часть

3.1 Версия «птичьих отключений»

Действия птиц, которые могут вызывать перекрытия изоляции ВЛ, связаны с гнездованием и присаживанием на опоры. При строительстве гнезд на опорах птицы используют различные, в том числе проводящие, предметы (куски проволоки, ветки деревьев, траву и др.). При случайном внесении в изоляционный промежуток между проводом и опорой эти предметы частично щунтируют изоляцию, что может приводить к ее перекрытию. Присаживание птиц на опоры, как правило, происходит на краю траверсы над проводом (это свободное и наиболее удобное место на опоре). Во время присаживания и (или) взлета с опоры птица выбрасывает струю проводящего помета в направлении провода, что также может приводить к перекрытию изоляции [21].

В ходе анализа, выполненных в рамках данной работы, были определены изучены условия перекрытия изоляции ВЛ по струе птичьего помета.

На рисунке 10 – показан ряд фрагментов испытаний, в которых имитировались процесс перекрытия изоляции по «струе птичьего помета».

На рисунке 11 – показан процесс перекрытия изоляции при падении проволоки, иного проводящего предмета с траверсы (напряжение 130 кВ, длина проволоки 200 см)

На рисунке 12 – показан процесс перекрытия изоляции при падении стебля травы с траверсы (напряжение 65 кВ, длина стебля 140 см, сопротивление 500 кОм)

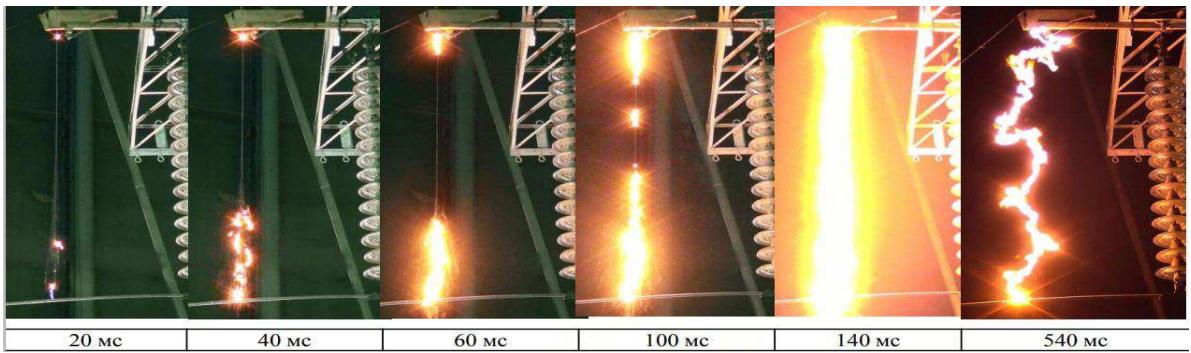


Рисунок 10 – Процесс перекрытия изоляции по «струе птичьего помета»

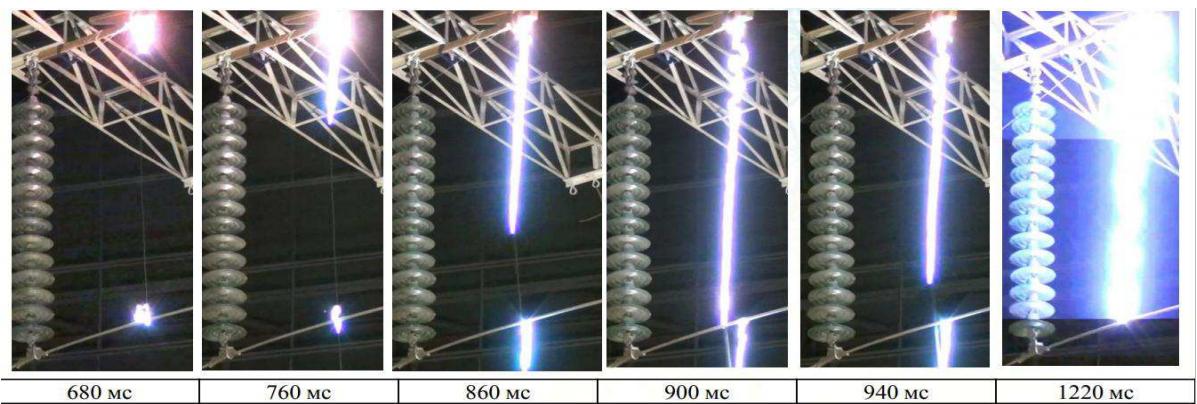


Рисунок 11 – Процесс перекрытия изоляции при падении стебля травы с траверсы (напряжение 65 кВ, длина стебля 140 см, сопротивление 500 кОм)

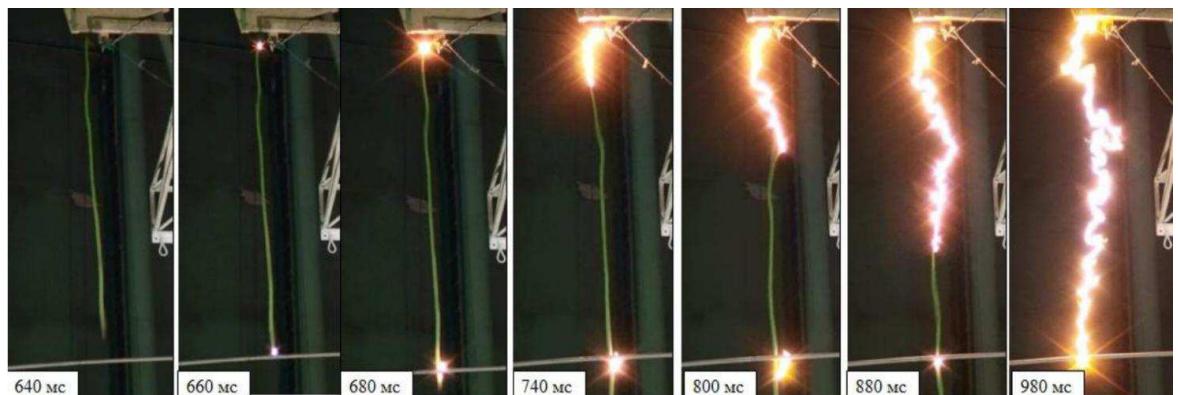


Рисунок 12 – Процесс перекрытия изоляции при падении стебля травы с траверсы (напряжение 65 кВ, длина стебля 140 см, сопротивление 500 кОм)

Необходимые условия перекрытия изоляции при внесении в промежуток инородных проводящих предметов:

- Для перекрытия изоляции ВЛ 220 кВ при рабочем напряжении 130 кВ

длина проволоки или другого проводящего предмета должна быть сопоставима с расстоянием от провода до траверсы и отличаться от него в меньшую сторону не более, чем на 30 см.

- Сопротивление инородных проводящих предметов не должно превышать 1 МОм;
- Перекрытия изоляции в этом случае должны происходить преимущественно при отрицательной полярности напряжения;
- Длина струи должна составлять не менее 230 см, при этом она должна сохранять цельность и сквозную проводимость на длине не менее 1,5-1,8;
- Погонное сопротивление струи должно быть не более 250 кОм/м.

Струя должна располагаться непосредственно над проводом или проходить достаточно близко к нему на расстоянии не более 20 см. Указанные условия не противоречат известным данным по характеристикам струи птичьего помета для крупных хищных птиц (типа канюка), приведенным в работе Кайзера. Как правило, птицы садятся на концы траверс (в месте крепления гирлянды), и их посадка направлена вдоль линии. Струя помета, которую птица выбрасывает при взлете, будет направлена в этом случае от траверсы к проводу. Таким образом, возможность перекрытия изоляции ВЛ 220 кВ по струе птичьего помета вполне вероятна [22].



Рисунок 13 – Жизнедеятельность птиц на трассе ВЛ 220 кВ

Функционирования ВЛ имеет случайный характер, сложно определить правильный выбор в пользу вероятного появления события. На базе анализа статистических данных можно воспользоваться методом неопределенности информации, а также построить график информационной энтропии, который позволит корректировать и создавать улучшенный график планово-предупредительных работ.

Разработка и рекомендации мероприятий по снижению риска возникновения аварийных отключений ВЛ позволяют улучшить надежность электроснабжения.

3.2 Мера неопределенности информации к оценки случайного поведения ВЛ

Системы электроснабжения относятся к сложным системам, потому что зависимы от первоначальных условий. Рассматривая состояния технического объекта в определенном интервале времени, нельзя с абсолютной уверенностью заявить, что прослеживается определяемость конкретного алгоритма. 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):

$$H = - \sum_{i=1}^N p_i \cdot \log_2 p_i, \quad (2)$$

где H – энтропийная мера количества информации;

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 «количество информации», содержащегося в событии, генерируемом самим источником информации. Мера энтропии Шеннона позволяет измерить (как правило, в битах) неопределенность в реализации случайной величины. Отметим, что в условии (2), вероятность перед логарифмом – 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 – животные или птицы).

На их основе определены вероятности отказа ВЛ по формуле:

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

где q_i – вероятность отказа ВЛ (q_1 – вероятность отказа от воздействия птиц).

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 данным диспетчерского журнала, представленных в таблице 7, выполним расчёт энтропии воздушных линий с учётом воздействия птиц, приводящих к отключению ВЛ напряжением 500-220 кВ.

Исходные данные и результаты расчета энтропии по годам представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Результаты расчета энтропии по годам

Год	Показатели	Животные или птицы
1	2	3
2015	n_i	12
	q_i	0,2
	H_i	0,464
2016	n_i	16
	q_i	0,267
	H_i	0,508
2017	n_i	19
	q_i	0,3167
	H_i	0,525
2018	n_i	7
	q_i	0,1167
	H_i	0,361
2019	n_i	6
	q_i	0,1
	H_i	0,332

На основании результатов расчета таблицы 18 построим график информационной энтропии по годам, который представлен на рисунке 14.

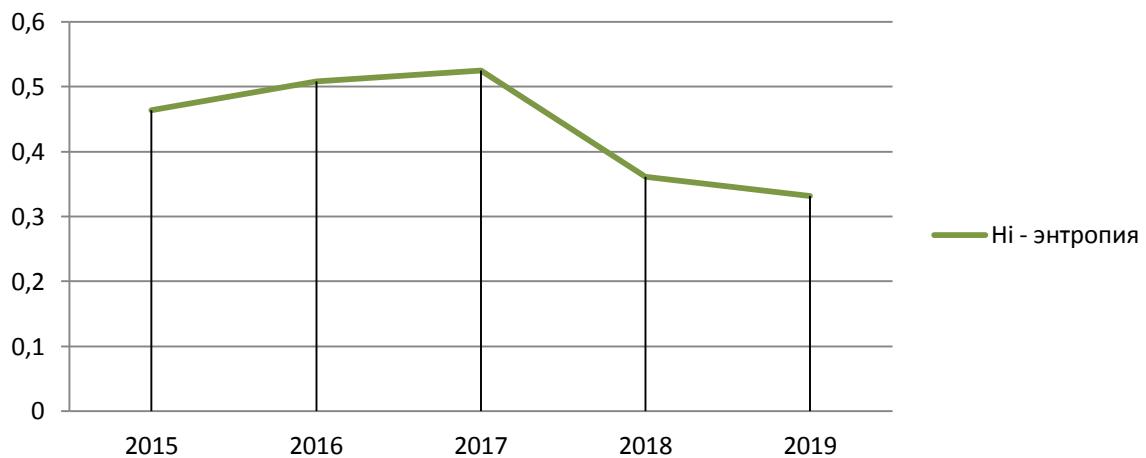


Рисунок 14 – График информационной энтропии по годам

Из графика видно, что энтропия воздушной линии повышалась с каждым годом с 2015-2017 гг, наибольшее количество энтропии приходится на 2017 г. Это свидетельствует о том, что наибольшее количество аварийных отключений приходилось на 2017 г. Затем мы видим планомерное снижение энтропии, что доказывает в свою очередь повышении надежности и устойчивости ВЛ.

Рассмотрим распределение отключений воздушных линий напряжение 500-220 кВ помесячно в течение рассматриваемого периода и результаты представим в таблице 19.

Таблица 19 – Распределение отключений ВЛ 500-220 кВ

месяц	год				
	2015	2016	2017	2018	2019
январь	+				
февраль					
март	+	+		+	
апрель	+		+	+	+
	+		+		+
	+				+
май	+	+			+
июнь	+		+	+	
июль	+	+	+		
	+	+	+		
	+	+	+		
	+	+			

Продолжение таблицы 19

август		+	+			+
		+	+			
		+	+			
		+	+			
		+	+			
сентябрь	+	+	+	+	+	+
		+	+	+	+	
		+	+	+	+	
		+	+	+	+	
		+	+	+	+	
		+	+	+	+	
		+	+	+	+	
		+	+	+	+	
октябрь						
ноябрь	+					
	+					
декабрь			+	+		
			+	+		

Исходные данные и результаты расчета энтропии представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Результаты расчета энтропии по месяцам

показатели	год					классификатор
	2015	2016	2017	2018	2019	
n_i	январь	1	–	–	–	Птицы
q_i		0,083	–	–	–	
H_i		0,298	–	–	–	
n_i	февраль	–	–	–	–	Птицы
q_i		–	–	–	–	
H_i		–	–	–	–	
n_i	март	1	1	–	1	Птицы
q_i		0,083	0,062	–	0,142	
H_i		0,298	0,248	–	0,399	
n_i	апрель	3	–	2	1	Птицы
q_i		0,25	–	0,105	0,142	
H_i		0,5	–	0,341	0,399	
n_i	май	1	1	–	–	Птицы
q_i		0,083	0,062	–	–	
H_i		0,298	0,248	–	–	
n_i	июнь	1	–	1	1	Птицы
q_i		0,083	–	0,052	0,142	
H_i		0,298	–	0,221	0,399	

Продолжение таблицы 20

n_i	июль	2	5	2	—	—
q_i		0,166	0,312	0,105	—	—
H_i		0,430	0,524	0,341	—	—
n_i	август	—	1	4	—	1
q_i		—	0,062	0,210	—	0,166
H_i		—	0,248	0,472	—	0,430
n_i	сентябрь	1	8	8	3	1
q_i		0,083	0,5	0,421	0,428	0,166
H_i		0,298	0,5	0,525	0,524	0,430
n_i	октябрь	—	—	—	—	—
q_i		—	—	—	—	—
H_i		—	—	—	—	—
n_i	ноябрь	2	—	—	—	—
q_i		0,166	—	—	—	—
H_i		0,430	—	—	—	—
n_i	декабрь	—	—	2	1	—
q_i		—	—	0,105	0,142	—
H_i		—	—	0,341	0,399	—

На основании результатов расчета таблицы 20 построим график информационной энтропии по месяцам, который представлен на рисунке 15.

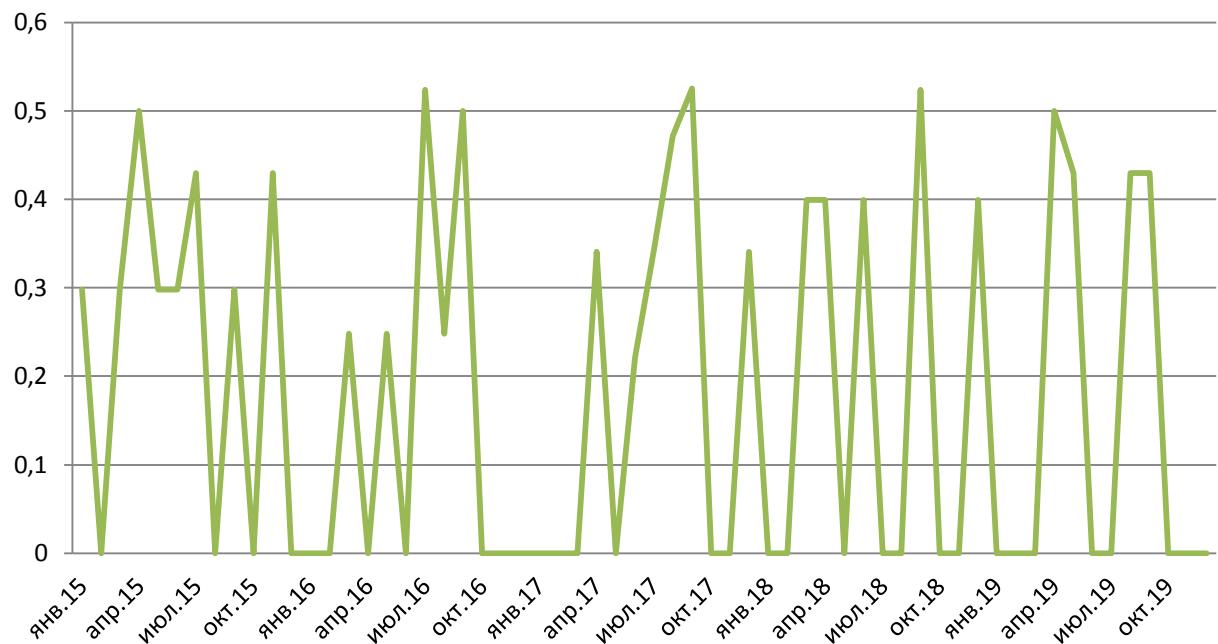


Рисунок 15 – График информационной энтропии по месяцам

Из графика видно, что энтропия воздушной линии имеет тенденцию к наличию высокого значения в весенне-осенний период в течение всего рассматриваемого периода. Это свидетельствует о том, что на лицо высокая неопределенность в появлении отказов по причине воздействия птиц. Очевидно, что места появления отказов трудно определить. Неопределенность поиска мест отказов можно планомерно снизить за счет расширения объема статистических данных о поведении и размещении птиц.

Использование энтропии предусматривает необходимость выявления события, относящегося к участию птиц, в конкретное время. Практика эксплуатации ВЛ свидетельствует о влиянии сезонности на ОПН.

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

3.3 Мероприятия и рекомендации по снижению риска возникновения аварий

Основными причины, которые приводят к аварийным отключениям воздушные линии 220 кВ являются, вызванные «действиями» птиц.

Наглядное представление фактора свидетельствует об особенностях и борьбы против гнездованием и присаживанием птиц на опоры.

Один из вариантов решения проблем с птицами – это использование современного самонесущего изолированного провода (СИП). Это такой провод, который покрыт специальной полимерной оболочкой. Это означает, что возможность контакта птиц с токонесущей частью исключена самой конструкцией. 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 также 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 [24].

К наиболее распространенным устройствам и приспособлениям, ограничивающим доступ птиц к элементам опор, относятся всевозможные защитные кожухи, защитные тканевые сетки, металлические щиты колпачки, одеваляемые на изоляторы. Наиболее эффективными устройствами против гнездования являются устройства, генерирующие в ночное время импульсные световые вспышки: птицы к ним не могут привыкнуть [25].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы получены результаты анализа статистических данных и проведено исследование причины отключений воздушных линий 220-500 кВ, а так же предложены рекомендации по снижению риска возникновения аварийных отключений в распределительных электрических сетях Хакасского предприятия филиала ПАО «ФСК ЕЭС».

Подведя итоги выполнения данной бакалаврской работы можно сделать следующие основные выводы: основными причинами воздушных линий напряжением 220 кВ являются вызванные «действиями» птиц. 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, могут быть использованы специалистами ХП МЭС и специалистами различных электросетевых компаний при проектировании и обслуживании распределительных сетей.

Результаты исследования были представлены на:

– международной студенческой конференции «Проспект Свободный – 2020», посвященной году памяти и славы (75-летию Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.). Был награжден дипломом лауреата в номинации «Повышение надежности работы энергосистем».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Проблемы утренних отключений воздушных линий электропередачи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gisprofi.com/gd/documents/2010/92965>
2. Линия электропередачи — Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Линия_электропередачи
3. Линия электропередачи [Электронный ресурс]: материал из Википедии – свободной энциклопедии. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Линия_электропередачи
4. СТО 4.2–07–2014. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Красноярск: ИПК СФУ, 2014. – с.59
5. Классификация и характеристики отказов [Электронный ресурс] // Файловый архив студентов. – Режима доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/6302905/page:8/>
6. СТО 34.01-2.2-010-2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.rosseti.ru/investment/standart/corp_standart/doc/34.01-2.2-010-2015.pdf
7. Характеристики воздушных линий, таблица характеристик ВЛ 220-1250кВ [Электронный ресурс] // ПУЭ8. – Режим доступа: <http://pue8.ru/transport-elektroenergii/197-xarakteristiki-vozdushnyh-liniy.html>
8. Шатова, Ю. А. Методика расчета показателей надежности воздушных линий электропередачи на основе их длин [Электронный ресурс] / Ю. А. Шатова, Н. Н. Алешина // Науковедение. – 2013. – № 5. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/49tvn513.pdf>
9. Обеспечение надежности как фактор эффективного функционирования ЭЭС. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/41519/Obespechenie_nadezhnosti_kak_faktor_efektivnogo_funkcionirovaniya_EHEHS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

10. О надежности электроснабжения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.si-electro.ru/article/4/126/>

11. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике (ССНТ). Основные понятия. Термины и определения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200004984>

12. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике (ССНТ). Основные понятия. Термины и определения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200004984>

13. Надежность систем электроэнергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/3060.pdf

14. Загрязнение электрической изоляции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://biblio.fond.ru/view.aspx?id=587863>

15. Загрязнение электрической изоляции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://biblio.fond.ru/view.aspx?id=587863>

16. Планово-предупредительный ремонт электрооборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/4614833/>

17. 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.

18. 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.

19. Воздушные линии | АВАРИЙНЫЕ ОТКЛЮЧЕНИЯ ВЛ [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://news.elteh.ru/arh/2014/88/06.php>

20. Воздушные линии | АВАРИЙНЫЕ ОТКЛЮЧЕНИЯ ВЛ [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://news.elteh.ru/arh/2014/88/06.php>

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

22. Воздушные линии | Версия «птичьих отключений» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://news.elteh.ru/arh/2014/88/06.php>

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

24. Воздушные линии [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://news.elteh.ru/arh/2014/88/06.php>

25. Лучинкин А. В. Проблемы управления режимами работы энергетических систем / А. В. Лучинкин, Ю. А. Шатова, А. А. Кривоцапов // 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.
Использованные 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)

Ленкин Р.Н.
(ФИО)

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
«**23.07**» 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» код – наименование направления

Повышение надежности ВЛ за счёт применения средств защиты от воздействия птиц

Н.В. Дулесова
инициалы, фамилия

Выпускник  23.07.20
подпись, дата

Р.Н. Ленкин
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

Лу 23.07.20
подпись, дата

И.А. Кычакова
ициалы, фамилия

Абакан 2020