

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

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
институт

«Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ А.С.Торопов

подпись

инициалы, фамилия

« _____ » _____ 2024 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

код – наименование направления

Анализ аварийных ситуаций в распределительных сетях
филиала ПАО «Россети Сибирь» - «Хакасэнерго»

тема

Руководитель

подпись, дата

доцент, к.э.н.

должность, ученая степень

Н.В. Дулесова

инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

И.А. Чаптыкова

инициалы, фамилия

Нормоконтролер

подпись, дата

И.А. Кычакова

инициалы, фамилия

Абакан 2024

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

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
институт

«Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ А.С.Торопов _____

подпись

инициалы, фамилия

« _____ » _____ 2024 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в виде бакалаврской работы

Студенту Чаптыковой Ирине Александровне
Группа ХЭн 20-01 (10-1) Направление (специальность) 13.03.02
«Электроэнергетика и электротехника»

Тема выпускной квалификационной работы: Анализ аварийных ситуаций в распределительных сетях филиала ПАО «Россети Сибирь» - «Хакасэнерго»

Утверждена приказом по университету № 259 от 07.05.2024

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

Исходные данные для ВКР Данные оперативных журналов о количестве аварийных отключений в распределительных сетях филиала ПАО «Россети Сибирь» – «Хакасэнерго»

Перечень разделов выпускной квалификационной работы:

ВВЕДЕНИЕ

1 Теоретическая часть

- 1.1 Проблема аварийности в электроэнергетике
- 1.2 Основные понятия надежности
- 1.3 Случайное событие, случайная величина и интенсивность отказов
- 1.4 Законы распределения непрерывных случайных величин
 - 1.4.1 Нормальное распределение
 - 1.4.2 Экспоненциальное распределение

2 Аналитическая часть

- 2.1 Анализ аварийных ситуаций на ВЛ 6-35 кВ
- 2.2 Анализ аварийных ситуаций на ВЛ 6-35 кВ за 2019 год
- 2.3 Анализ аварийных ситуаций на ВЛ 6-35 кВ за 2020 год
- 2.4 Анализ аварийных ситуаций на ВЛ 6-35 кВ за 2021 год
- 2.5 Анализ аварийных ситуаций на ВЛ 6-35 кВ за 2022 год
- 2.6 Анализ аварийных ситуаций на ВЛ 6-35 кВ за 2023 год
- 2.7 Выявление наличия соответствия аварийных ситуаций на ВЛ 6-35 кВ закону нормального распределения

3 Практическая часть

- 3.1 Мера неопределенности информации к оценке случайного поведения ВЛ
- 3.2 Выявление экспоненциальной зависимости
- 3.3 Мероприятия и рекомендации по снижению риска возникновения аварийных ситуаций

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Перечень обязательных листов графической части:

1. ГЧ1 Распределение аварийных отключений по сезонам
2. ГЧ2 Распределение аварийных отключений по техническим причинам
3. ГЧ3 Гистограммы, экспоненциальные кривые и результат прогноза

Руководитель ВКР

(подпись)

Н.В. Дулесова
(инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению

(подпись)

И.А. Чаптыкова
(инициалы и фамилия)

«05» февраля 2024 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Анализ аварийных ситуаций в распределительных сетях филиала ПАО «Россети Сибирь» - «Хакасэнерго» содержит 56 страниц текстового документа, 28 рисунков, 17 таблиц, 25 использованных источников.

НАДЕЖНОСТЬ, НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ, АВАРИЙНОСТЬ, ЛИНИЯ, АНАЛИЗ, ПРОГНОЗ, ЭНТРОПИЯ, ПРИЧИНА.

Объектом исследования являются распределительные электрические сети, получающие централизованное питание и использующие распределенную генерацию для повышения надежности.

Предметом исследования являются:

- 1) информационные технологии анализа и обработки данных;
- 2) методы и модели оценки надежности распределительных сетей.

Методы исследования:

- 1) методы математической статистики и теории вероятности;
- 2) методы теории надежности и информации.

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

Целью выполнения выпускной квалификационной работы являются такие задачи, как:

- 1) исследование причин отключений воздушных линий 6-35 кВ;
- 2) разработка рекомендаций по снижению отключений и повышению их надежности.

Практическая значимость заключается в том, что полученные результаты в виде предложенных рекомендаций могут быть использованы специалистами энергетических компаний при проектировании и обслуживании распределительных сетей.

Результаты исследования были представлены на:

1) международной конференции «Перспектив Свободный – 2024, где работа была награждена дипломом лауреата (II место) в секции «Интеллектуальные энергетические системы в промышленности и на транспорте»;

2) международной научно-практической конференции "МИРОВЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ: СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ, РИСКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ" в секции «Технические науки и разработки».

Так же они были опубликованы в виде доклада «Анализ причин аварийности ЛЭП 6-35 кВ в Республике Хакасия» в сборнике «МИРОВЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ: СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ, РИСКИ, ПЕРСПЕКТИВЫ: материалы XIV Международной научно-практической конференции» – Ставрополь: Издательство ПАРАГРАФ, 2023. – 290 с.

Помимо этого, рекомендованы к публикации в виде доклада «Анализ причин непреднамеренных отключений ЛЭП 6-35 кВ» в сборнике «ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ – 2024. Материалы XX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых».

Исследование в выпускной квалификационной работе включает в себя такие аспекты, как:

- 1) выделение методологических аспектов исследования;
- 2) проведение анализа причин отключений воздушных линий 6-35 кВ в установленный период (2019-2023 гг.);
- 3) применение математической модели для оценки состояния воздушных линий при помощи меры неопределенности информации;
- 4) разработка мероприятий по снижению вероятности возникновения аварийных ситуаций в сетях 6-35 кВ.

В течение работы над выпускной квалификационной работой выполнен статистический анализ аварийных отключений и их причин и предложены мероприятия по снижению риска возникновения аварийных ситуаций на в распределительных сетях 6-35 кВ.

ABSTRACT

Graduation qualification work on the topic Analysis of emergencies in distribution networks of Khakas-Energo, a branch of PJSC ROSSETI Siberia, contains 56 pages of text document, 28 figures, 17 tables, and 25 sources used.

RELIABILITY, UNCERTAINTY, ACCIDENT, LINE, ANALYSIS, FORECAST, ENTROPY, CAUSE.

The object of the study is distribution grids that receive centralized power supply and use distributed generation to improve reliability.

The subjects of the study are:

- 1) information technologies of data analysis and processing;
- 2) methods and models for assessing the reliability of distribution networks.

Research methods:

- 1) methods of mathematical statistics and probability theory;
- 2) methods of reliability and information theory.

Scientific novelty of the research lies in the application of modern methods of measuring information about the state of power lines.

The purpose of fulfilment of the graduate qualification work is such tasks as:

- 1) investigation of the causes of outages of 6-35 kV overhead lines;
- 2) development of recommendations to reduce outages and improve their reliability.

Practical significance lies in the fact that specialists of energy companies in the design and maintenance of distribution networks can use the obtained results in the form of proposed recommendations.

The results of the research were presented at:

- 1) international conference 'Prospect Svobodny – 2024, where the work was awarded with a laureate diploma (II place) in the section «Intellectual energy systems in industry and transport»;

2) international scientific-practical conference 'WORLD SCIENTIFIC RESEARCH AND DEVELOPMENT: MODERN ADVANTAGES, RISKS AND PERSPECTIVES' in the section «Technical Science and Development».

They were also published in the form of a report 'Analysis of the causes of accidents of 6-35 kV power lines in the Republic of Khakassia' in the collection 'WORLD SCIENTIFIC RESEARCH AND DEVELOPMENT: MODERN ACHIEVEMENTS, RISKS, PERSPECTIVES: Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference' - Stavropol: PARAGRAPH Publishing House, 2023. - 290 c.

In addition, recommended for publication in the form of a report 'Analysis of the causes of unintentional disconnections of power lines 6-35 kV' in the collection 'PROSPECT FREE - 2024. Materials of the XX International Scientific Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists".

The research in the graduation qualification work includes a number of tasks:

- 1) to highlight the methodological aspects of the study;
- 2) to analyse the causes of 6-35 kV overhead line outages in the established period (2019-2023);
- 3) to apply mathematical models to assess the state of overhead lines using the measure of information uncertainty;
- 4) to develop measures to reduce the probability of emergencies in 6-35 kV networks.

During the work on the graduate qualification work the statistical analysis of emergency shutdowns and their causes was carried out and measures to reduce the risk of emergencies in distribution networks 6-35 kV were proposed.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 Теоретическая часть.....	8
1.1 Проблема аварийности в электроэнергетике	8
1.2 Основные понятия надежности	8
1.3 Случайное событие, случайная величина и интенсивность отказов	10
1.4 Законы распределения непрерывных случайных величин.....	11
1.4.1 Нормальное распределение	11
1.4.2 Экспоненциальное распределение	13
2 Аналитическая часть.....	14
2.1 Анализ аварийных ситуаций на ВЛ 6-35 кВ	14
2.2 Анализ аварийных ситуаций на ВЛ 6-35 кВ за 2019 год.....	18
2.3 Анализ аварийных ситуаций на ВЛ 6-35 кВ за 2020 год.....	22
2.4 Анализ аварийных ситуаций на ВЛ 6-35 кВ за 2021 год.....	26
2.5 Анализ аварийных ситуаций на ВЛ 6-35 кВ за 2022 год.....	29
2.6 Анализ аварийных ситуаций на ВЛ 6-35 кВ за 2023 год.....	33
2.7 Выявление наличия соответствия аварийных ситуаций на ВЛ 6-35 кВ закону нормального распределения.....	37
3 Практическая часть	42
3.1 Мера неопределенности информации к оценке случайного поведения ВЛ	42
3.2 Выявление экспоненциальной зависимости	46
3.3 Мероприятия и рекомендации по снижению риска возникновения аварийных ситуаций	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	53
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	54

ВВЕДЕНИЕ

Исследование воздушных линий электропередачи представляет собой сложную задачу, связанную с различными факторами, влияющими на надежность и безопасность электросетей. Несмотря на множество проведенных исследований в данной области, проблемы отключений линий остаются актуальными из-за разнообразия возможных причин, таких как технические неисправности, погодные условия, недостатки в эксплуатации и т.д.

Эффективное функционирование электропередачи напрямую зависит от надежности линий, что требует постоянного мониторинга и анализа их состояния. Отказы элементов линий могут привести к неплановым отключениям, ограничивающим передачу электроэнергии.

Исследование причин отказов воздушных линий и разработка рекомендаций для повышения их надежности имеют важное значение в условиях постоянно меняющейся инфраструктуры и технологий электроэнергетики. Обеспечение надежности систем электроснабжения становится ключевым аспектом с увеличением их сложности и внедрением новых технологий, что обуславливает актуальность данной темы. Выполнение выпускной квалификационной работы, направленной на исследование причин отключений воздушных линий и разработку мер по снижению рисков, играет важную роль в обеспечении стабильности электроснабжения.

Исследование, проведенное в рамках работы, включает анализ причин отключений, использование математических моделей для оценки состояния линий и разработку мероприятий по снижению вероятности аварийных ситуаций. Полученные результаты, включая статистический анализ и предложенные рекомендации, обладают научной новизной и могут быть использованы персоналом, производящим обслуживание оборудования и технико-экономическое обоснование расчетов проектной организации. Это подчеркивает ее значимость для отрасли энергетики.

1 Теоретическая часть

1.1 Проблема аварийности в электроэнергетике

Аварийность в электроэнергетике представляет собой серьезную проблему, поскольку она может привести к множеству негативных последствий, таких как: нарушение электроснабжения потребителей, недоотпуск электроэнергии, снижение надежности, повреждение оборудования, а также существует значительный риск возникновения угрозы жизни и здоровья людей. Для борьбы с аварийностью в электроэнергетике применяются различные методы, включая регулярное техническое обслуживание оборудования, модернизацию инфраструктуры, использование современных технологий мониторинга и диагностики, а также обучение персонала [1]. Предупреждение аварий и быстрое реагирование на них играют ключевую роль в обеспечении стабильной работы электроэнергетических систем.

1.2 Основные понятия надежности

Связь между надежностью и аварийностью является важным аспектом при проектировании, эксплуатации и обслуживании различных технических систем. Высокая надежность обычно сопровождается низким уровнем аварийности, что способствует безопасной и эффективной работе системы.

ГОСТ Р 27.102 – 2021 «Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения» устанавливает понятие надежности – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования [2]. Надежность содержит в себе совокупность свойств, таких как: безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Ремонтопригодность – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способности объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Надежность объекта обладает количественной характеристикой – показателями надежности. Рассмотрены показатели безотказности:

1) вероятность безотказной работы – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет;

2) вероятность отказа – вероятность того, что объект откажет хотя бы один раз в течение заданной наработки, будучи работоспособным в начальный момент времени;

3) гамма-процентная наработка до отказа – наработка, в течение которой отказ объекта не возникает с вероятностью, выраженной в процентах;

4) средняя наработка до отказа – математическое ожидание наработки объекта до первого отказа;

5) средняя наработка на отказ – отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки;

6) интенсивность отказов – условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник;

7) параметр потока отказов – отношение математического ожидания числа отказов восстанавливаемого объекта за достаточную матую его наработку к значению этой наработки;

8) осредненный параметр потока отказов – отношение математического ожидания числа отказов восстанавливаемого объекта за конечную наработку к значению этой наработки.

1.3 Случайное событие, случайная величина и интенсивность отказов

Во время изучения надежности особое внимание уделяется случайным событиям, которые могут произойти при определенных условиях, и для которого существует вероятность наступления.

Случайная величина принимает одно значение из множества возможных результатов опыта, причем появление конкретной величины невозможно предсказать.

В контексте теории надежности они могут быть дискретные, непрерывные и дискретно-непрерывные значения. Например, в теории надежности – время работы (время до возникновения отказа) рассматривается как случайная величина.

Анализ данных явлений позволяет разрабатывать более эффективные стратегии и методы поддержания нормальной работоспособности объекта и общем надежности энергосистем.

Интенсивность отказов – условная величина, характеризующая плотность вероятности отказов. Типичная функция представен на рисунке 1.1. В общем виде представлена в формуле (1):

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}, \quad (1)$$

где $f(t)$ – плотность распределения;

$P(t)$ – вероятность безотказной работы.

Статистическая оценка интенсивности отказов имеет вид:

$$\lambda(t) = \frac{n(t+\Delta t) - n(t)}{N\Delta t}, \quad (2)$$

где N – число объектов, работоспособных в начальный момент времени;
 n_i – число объектов, отказавших на отрезке от 0 до t .

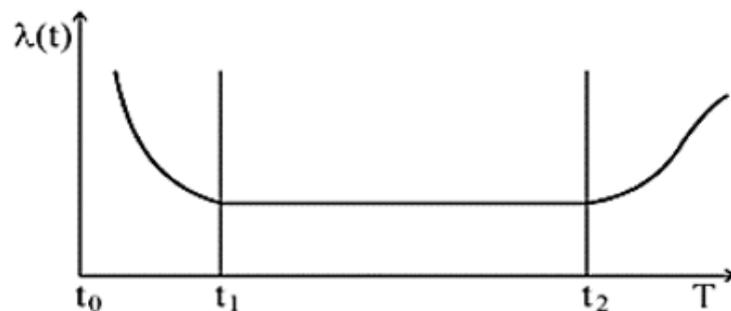


Рисунок 1.1 – Типичная функция интенсивности отказов

Период приработки ($t-t_0$), представляет собой время испытания на прочность и надежность. Участок при $\lambda(t) = const$ (t_1-t_2) – период нормальной эксплуатации. Внезапные отказы в этот период, приобретают случайный и непредсказуемый характер. Период износовых при исчерпании ресурса подчеркивает важность регулярного технического обслуживания и замены деталей для поддержания надежной работы системы на протяжении всего её срока службы.

1.4 Законы распределения непрерывных случайных величин

1.4.1 Нормальное распределение

Нормальное распределение случайной величины – закон, использующийся для оценки надежности, чья зависимость от большого числа случайных факторов

не зависит от отдельного показателя, поскольку его отдельное влияние незначительно. Оно зависит от таких параметров, как: математическое ожидание (m) и среднеквадратичное отклонение (σ). Выражение в виде формулы (3):

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(t-m)^2/(2\sigma^2)}. \quad (3)$$

График плотности нормального распределения называют нормальной кривой, или кривой Гаусса, представлен на рисунке 1.2.

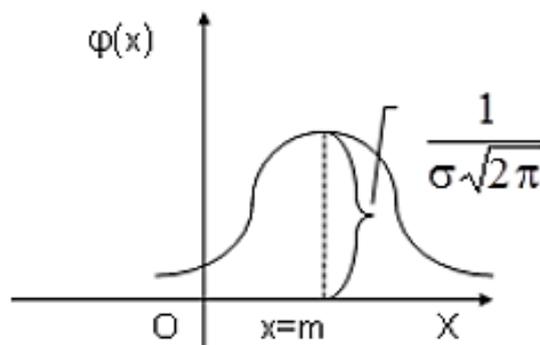


Рисунок 1.2 – Кривая Гаусса

Влияние параметров на форму и положение кривой важно для понимания нормального распределения. Первый параметр, как математическое ожидание, влияет на смещение кривой вдоль оси абсцисс в зависимости от его увеличения или уменьшения. Среднеквадратичное отклонение, в свою очередь, определяет форму кривой: при увеличении отклонения кривая становится более полой, а при уменьшении – остроконечной, следовательно, оно влияет на координату вдоль оси ординат. Нормальное распределение характеризуется постепенным увеличением интенсивности отказов со временем [3]. Этот закономерный процесс подчеркивает важность правильного анализа параметров для обеспечения надежности системы на протяжении всего её срока службы.

1.4.2 Экспоненциальное распределение

Экспоненциальное распределение играет ключевую роль в аппроксимации времени безотказной работы множества элементов. Оно отражает постоянство интенсивности отказов, что особенно важно для предсказания внезапных сбоев при нормальной эксплуатации. Данный закон также применим к сложным системам, где отказы комплектующих элементов влияют на общую интенсивность. В математическом виде можно записать в виде формулы (4):

$$f(t) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda t}, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (4)$$

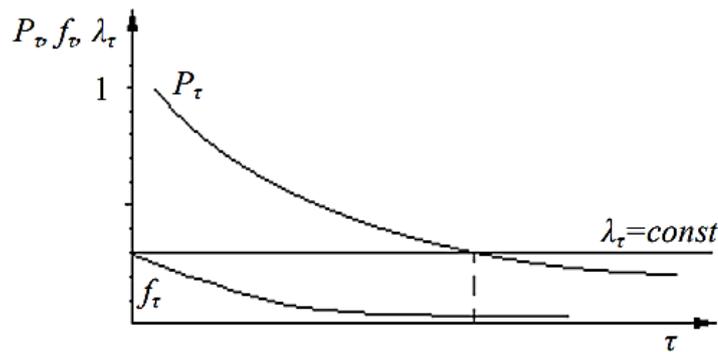


Рисунок 1.3 – Графическое выражение экспоненциального закона отказов

Преимущества экспоненциального распределения отказов в том, что единственный параметр – интенсивность отказов, что упрощает анализ, помимо этого распределение не зависит от предыдущей наработки изделия, если интенсивность остается постоянной, а так же для ремонтируемых изделий независимо от вида функции плотности отказов f_τ , параметр потока отказов w_τ при $\tau \rightarrow \infty, w_\tau \rightarrow 1/T_{cp}$, то есть для ремонтируемых изделий при длительной эксплуатации объекта, практически всегда действует экспоненциальный закон распределения отказов, то есть интенсивность отказов практически постоянна.

Это делает модель универсальной и применимой в различных сценариях наблюдения за системами.

2 Аналитическая часть

2.1 Анализ аварийных ситуаций на ВЛ 6-35 кВ

Для обеспечения надежности и эффективности работы электротехнических установок и комплексов необходимо тщательно анализировать аварийные ситуации. Этот процесс позволяет не только выявить причины отключений, но и определить пути улучшения системы управления и разработки новых технических решений. Проведение статистического анализа данных за период с 2019 по 2023 годы по аварийным отключениям на линиях 6-35 кВ является ключевым этапом в этом процессе.

Изучение оперативных журналов диспетчерского персонала показало, что за указанный период произошло 2248 отключений на линиях 6-35 кВ, из которых 1801 были вызваны техническими причинами. Подробные данные представлены в таблице 2.1 и будут использованы для дальнейшего анализа.

Таблица 2.1 – Количество аварийных отключений за период 2019-2023 гг.

Год	2019	2020	2021	2022	2023 (9 мес.)
Количество аварийных отключений	363	397	305	353	383

Построена диаграмма (рис. 2.1), отображающая частоту отключений в зависимости от года в течение 2019-2023 гг.

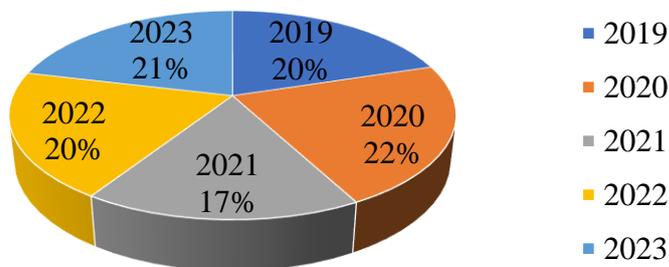


Рисунок 2.1 – Процентное соотношение количества аварийных отключений относительно общего числа случаев по годам за период 2019-2023 гг.

Необходимо рассмотреть влияние сезонности на количество отключений. Оно отражено в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Количество аварийных отключений в период 2019-2023 гг. в зависимости от сезона.

Сезон	Зима	Весна	Лето	Осень
Количество аварийных отключений	236	498	771	296

Во время изучения представленной информации была построена диаграмма (рис. 2.2), отображающая частоту отключений в течение 2019-2023 гг. Этот график позволил выявить сезонные колебания в аварийных ситуациях и их влияние на электросети. Представленный анализ помогает лучше понять динамику отключений и выделить особенности работы электросетей в разные времена года.

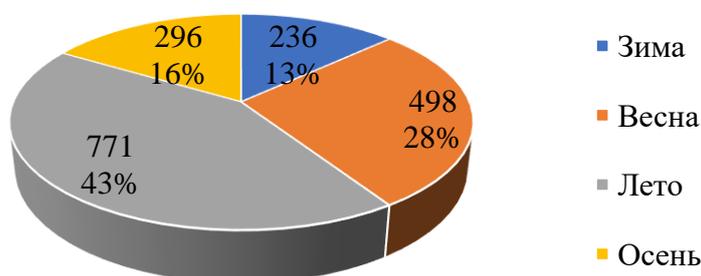


Рисунок 2.2 – Распределение аварийных отключений относительно технических причин по сезонам за период 2019-2023 гг.

Самый большой процент отключений приходится на летний период (771 случай из 1801 (43%)), самый маленький на осенний и зимний периоды (16% и 13%).

Далее необходимо рассмотреть распределение числа отключений по техническим причинам. Оно отображено в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Состав технических причин относительно количества отключений

№	Вид причины	Количество отключений, ед.	Количество отключений, %
1	Механическое воздействие атмосферных явлений	616	34,2
2	Нарушение электрической изоляции	479	26,6
3	Электродуговое повреждение	295	16,4
4	Нарушение эл. контакта, размыкание, обрыв цепи	116	6,4
5	Механическое воздействие сторонних лиц и организаций	48	2,7
6	Нарушение структуры материала в результате высыхания	44	2,4
7	Нарушение структуры материала в результате длительной эксплуатации	27	1,5
8	Нарушение структуры материала в результате загнивания	26	1,4
9	Загрязнение посторонними предметами	23	1,3
10	Механическое воздействие при падении деревьев, веток	23	1,3
11	Загрязнение продуктами жизнедеятельности птиц	20	1,1
12	Механический износ вследствие длительного срока	16	0,9
13	Нарушение механического соединения в результате воздействия знакопеременных и (или) изгибающих нагрузок	11	0,6
14	Прочие механические воздействия	10	0,6
15	Механическое воздействие в результате сдавливания или вытягивания	9	0,5
16	Термическое повреждение, перегрев, пережог	9	0,5
17	Нарушение механического соединения в результате износа	6	0,3
18	Механическое разрушение, деформация, перекося	5	0,3
19	Нарушение структуры материала в результате ультрафиолетового излучения	3	0,2
20	Механический износ вследствие разрегулировки	2	0,1

Окончание таблицы 2.3

№	Вид причины	Количество отключений, ед.	Количество отключений, %
21	Низовой пожар, приведший к пожару на объектах ЭСК	2	0,1
22	Механический износ вследствие длительного срока эксплуатации (старения) и загрязнение продуктами жизнедеятельности птиц	1	0,1
23	Механический износ вследствие прочих причин	1	0,1
24	Механическое воздействие атмосферных явлений. Исчерпание ресурса	1	0,1
25	Нарушение механического соединения в результате дефекта изготовления	1	0,1
26	Нарушение механического соединения в результате перегрузки	1	0,1
27	Нарушение структуры материала в результате высыхания. Электродуговое повреждение	1	0,1
28	Нарушение структуры материала в результате длительной эксплуатации. Нарушение эл. контакта, размыкание, обрыв цепи	1	0,1
29	Нарушение структуры материала в результате прочих воздействий	1	0,1
30	Нарушение электрической изоляции. Исчерпание ресурса	1	0,1
31	Электродуговое повреждение. Нарушение эл. контакта, размыкание, обрыв цепи	1	0,1
32	Электродуговое повреждение. Нарушение электрической изоляции	1	0,1
Итого		1801	100

В результате исследования выявлено, что наибольшее количество аварийных отключений за 2019-2023 гг. происходит из-за механического воздействия атмосферных явлений, 616 (34,2 %), и нарушения электрической изоляции, 479 (26,6 %).

Анализ влияния каждого фактора позволил построить диаграмму процентного распределения относительного общего числа случаев (рис. 2.3). Важно отметить, что в этой диаграмме учитывались также другие причины отключений, которые составляли менее 1% от общего числа аварийных ситуаций за рассматриваемый период (2019-2023 гг.). Это позволило получить более полное представление о структуре и распределении причин отключений в электросетях.

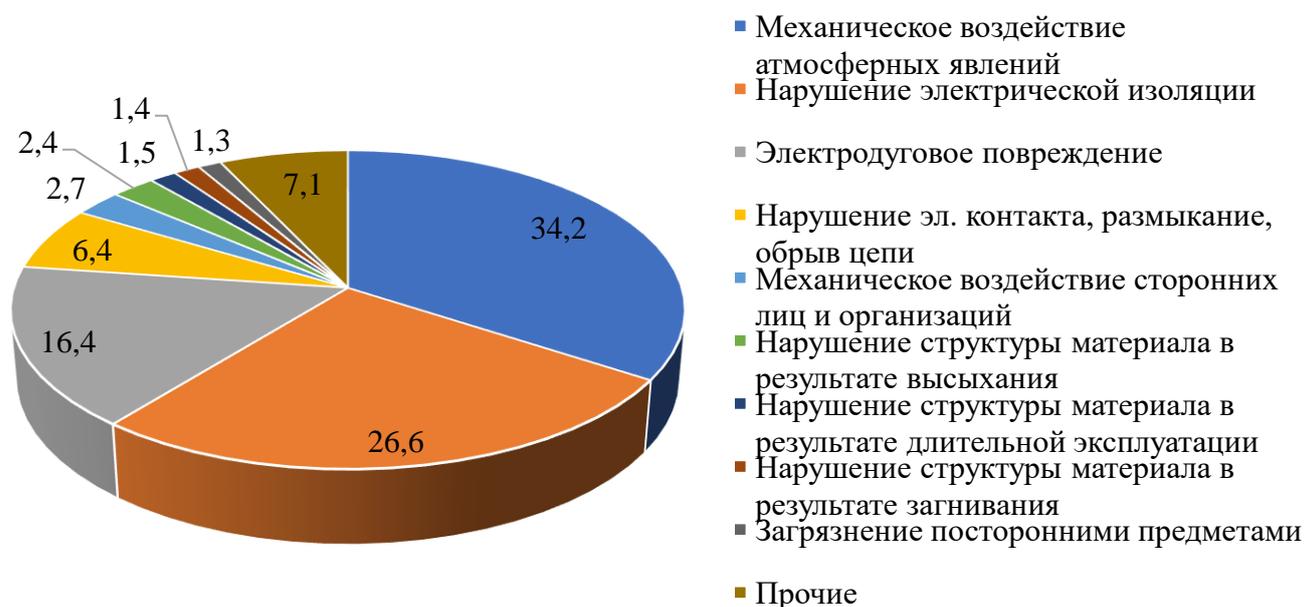


Рисунок 2.3 – Распределение аварийных отключений относительно технических причин за период 2019-2023 г.

Рассмотрим более детально каждый год периода 2019-2023 гг. на предмет сезонности и отдельных технических причин.

2.2 Анализ аварийных ситуаций на ВЛ 6-35 кВ за 2019 год

Во время изучения представленной информации была построена диаграмма, отображающая частоту отключений за 2019 г. (рис. 2.4). Этот график позволил выявить сезонные колебания в аварийных ситуациях и их влияние на

электросети. Представленный анализ помогает лучше понять динамику отключений и выделить особенности работы электросетей в разные времена года.

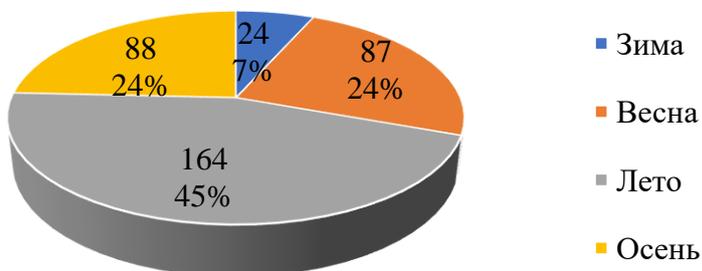


Рисунок 2.4 – Распределение аварийных отключений относительно технических причин по сезонам за 2019 г.

Самый большой процент отключений приходится на летний период (164 случая из 363 (45%)), самый маленький – на зимний период, 24 случая (7%).

В таблице 2.4 представлены данные распределения числа отключений по видам технических причинам за 2019 г.

Таблица 2.4 – Состав технических причин относительно количества отключений 2019 г.

№	Вид причины	Количество отключений, ед.	Количество отключений, %
1	Механическое воздействие атмосферных явлений	134	36,9
2	Нарушение электрической изоляции	89	24,5
3	Электродуговое повреждение	76	20,9
4	Нарушение эл. контакта, размыкание, обрыв цепи	13	3,6
5	Прочие механические воздействия	9	2,5
6	Нарушение структуры материала в результате высыхания	7	1,9
7	Механическое воздействие сторонних лиц и организаций	5	1,4

Продолжение таблицы 2.4

№	Вид причины	Количество отключений, ед.	Количество отключений, %
8	Нарушение структуры материала в результате загнивания	5	1,4
9	Термическое повреждение, перегрев, пережог	4	1,1
10	Нарушение механического соединения в результате износа	4	1,1
11	Нарушение структуры материала в результате длительной эксплуатации	3	0,8
12	Механический износ вследствие длительного срока эксплуатации (старения)	3	0,8
13	Нарушение механического соединения в результате воздействия знакопеременных и (или) изгибающих нагрузок	3	0,8
14	Механическое воздействие при падении деревьев, веток	1	0,3
15	Механическое воздействие в результате сдавливания или вытягивания	1	0,3
16	Механическое разрушение, деформация, перекос	1	0,3
17	Механический износ вследствие разрегулировки	1	0,3
18	Механический износ вследствие прочих причин	1	0,3
19	Нарушение механического соединения в результате дефекта изготовления	1	0,3
20	Нарушение механического соединения в результате перегрузки	1	0,3
21	Нарушение структуры материала в результате прочих воздействий	1	0,3
22	Загрязнение посторонними предметами	0	0,0
23	Загрязнение продуктами жизнедеятельности птиц	0	0,0
24	Нарушение структуры материала в результате ультрафиолетового излучения	0	0,0
25	Низовой пожар, приведший к пожару на объектах ЭСК	0	0,0

Окончание таблицы 2.4

№	Вид причины	Количество отключений, ед.	Количество отключений, %
26	Нарушение механического соединения в результате перегрузки	0	0,0
27	Механическое воздействие атмосферных явлений. Исчерпание ресурса	0	0,0
28	Нарушение структуры материала в результате высыхания. Электродуговое повреждение	0	0,0
29	Нарушение структуры материала в результате длительной эксплуатации. Нарушение эл. контакта, размыкание, обрыв цепи	0	0,0
30	Нарушение электрической изоляции. Исчерпание ресурса	0	0,0
31	Электродуговое повреждение. Нарушение эл. контакта, размыкание, обрыв цепи	0	0,0
32	Электродуговое повреждение. Нарушение электрической изоляции	0	0,0
Итого		363	100

Наибольшее количество аварийных отключений за 2019 г. происходит из-за механического воздействия атмосферных явлений, 134 (36,9 %).

Анализ влияния каждого фактора позволил построить диаграмму процентного распределения относительного общего числа случаев (рис. 2.5). Важно отметить, что в этой диаграмме учитывались также другие причины отключений, которые составляли менее 1% от общего числа аварийных ситуаций за рассматриваемый период (2019 г.). Это позволило получить более полное представление о структуре и распределении причин отключений в электросетях.

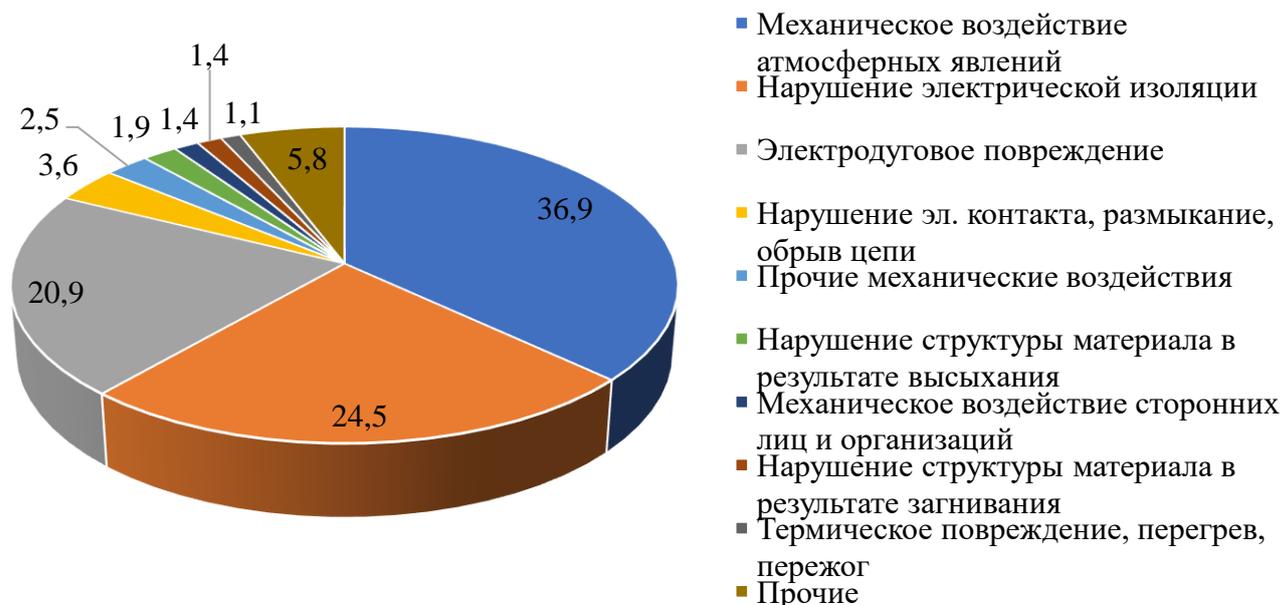


Рисунок 2.5 – Распределение аварийных отключений относительно технических причин за 2019 г.

2.3 Анализ аварийных ситуаций на ВЛ 6-35 кВ за 2020 год

Во время изучения представленной информации была построена диаграмма, отображающая частоту отключений в течение 2020 года (рис. 2.6). Этот график позволил выявить сезонные колебания в аварийных ситуациях и их влияние на электросети. Представленный анализ помогает лучше понять динамику отключений и выделить особенности работы электросетей в разные времена года.

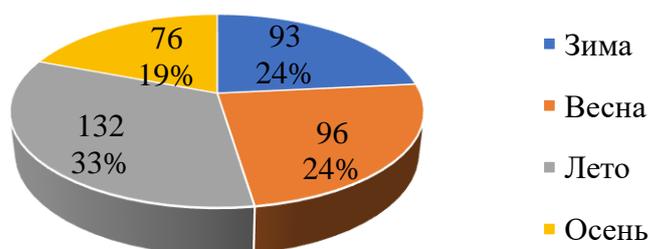


Рисунок 2.6 – Распределение аварийных отключений относительно технических причин за 2020 г.

Наибольший процент отключений приходится на летний период (132 случая из 397 (33%)), наименьший – на осенний период, 76 случаев (19%).

В таблице 2.5 представлены данные распределения числа отключений по видам технических причинам за 2020 г.

Таблица 2.5 – Состав технических причин относительно количества отключений 2020 г.

№	Вид причины	Количество отключений, ед.	Количество отключений, %
1	Механическое воздействие атмосферных явлений	164	41,3
2	Нарушение электрической изоляции	88	22,2
3	Электродуговое повреждение	64	16,1
4	Нарушение эл. контакта, размыкание, обрыв цепи	31	7,8
5	Механическое воздействие сторонних лиц и организаций	13	3,3
6	Нарушение структуры материала в результате длительной эксплуатации	7	1,8
7	Механическое воздействие при падении деревьев, веток	6	1,5
8	Нарушение структуры материала в результате высыхания	5	1,3
9	Нарушение структуры материала в результате загнивания	4	1,0
10	Загрязнение посторонними предметами	4	1,0
11	Термическое повреждение, перегрев, пережог	3	0,8
12	Загрязнение продуктами жизнедеятельности птиц	2	0,5
13	Механический износ вследствие длительного срока эксплуатации (старения)	2	0,5
14	Нарушение механического соединения в результате воздействия знакопеременных и (или) изгибающих нагрузок	1	0,3
15	Механическое воздействие в результате сдавливания или вытягивания	1	0,3

Продолжение таблицы 2.5

№	Вид причины	Количество отключений, ед.	Количество отключений, %
16	Механическое разрушение, деформация, перекося	1	0,3
17	Механический износ вследствие разрегулировки	1	0,3
18	Прочие механические воздействия	0	0,0
19	Нарушение механического соединения в результате износа	0	0,0
20	Нарушение структуры материала в результате ультрафиолетового излучения	0	0,0
21	Низовой пожар, приведший к пожару на объектах ЭСК	0	0,0
22	Механический износ вследствие длительного срока эксплуатации (старения). Загрязнение продуктами жизнедеятельности птиц	0	0,0
23	Механический износ вследствие прочих причин	0	0,0
24	Механическое воздействие атмосферных явлений. Истощение ресурса	0	0,0
25	Нарушение механического соединения в результате дефекта изготовления	0	0,0
26	Нарушение механического соединения в результате перегрузки	0	0,0
27	Нарушение структуры материала в результате высыхания. Электродуговое повреждение	0	0,0
28	Нарушение структуры материала в результате длительной эксплуатации. Нарушение эл. контакта, замыкание, обрыв цепи	0	0,0
29	Нарушение структуры материала в результате прочих воздействий	0	0,0
30	Нарушение электрической изоляции. Истощение ресурса	0	0,0
31	Электродуговое повреждение. Нарушение эл. контакта, замыкание, обрыв цепи	0	0,0

Окончание таблицы 2.5

№	Вид причины	Количество отключений, ед.	Количество отключений, %
32	Электродуговое повреждение. Нарушение электрической изоляции	0	0,0
Итого		397	100

Наибольшее количество аварийных отключений за 2020 г. происходит из-за механического воздействия атмосферных явлений, 164 (41,3 %).

Анализ влияния каждого фактора позволил построить диаграмму процентного распределения относительного общего числа случаев (рис. 2.7). Важно отметить, что в этой диаграмме учитывались также другие причины отключений, которые составляли менее 1% от общего числа аварийных ситуаций за рассматриваемый период (2020 г.). Это позволило получить более полное представление о структуре и распределении причин отключений в электросетях.



Рисунок 2.7 – Распределение аварийных отключений относительно технических причин за 2020 г.

2.4 Анализ аварийных ситуаций на ВЛ 6-35 кВ за 2021 год

Во время изучения представленной информации была построена диаграмма, отображающая частоту отключений в течение 2021 года (рис. 2.8). Этот график позволил выявить сезонные колебания в аварийных ситуациях и их влияние на электросети. Представленный анализ помогает лучше понять динамику отключений и выделить особенности работы электросетей в разные времена года.

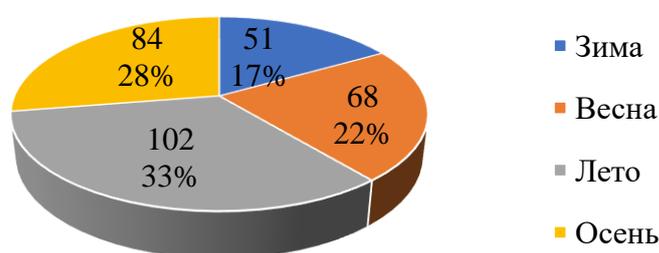


Рисунок 2.8 – Распределение аварийных отключений относительно технических причин за 2021 г.

Наибольший процент отключений приходится на летний период (102 случая из 305 (33%)), наименьший – на зимний период, 51 случай (17%).

В таблице 2.6 представлены данные распределения числа отключений по видам технических причинам за 2021 г.

Таблица 2.6 – Состав технических причин относительно количества отключений 2021 г.

№	Вид причины	Количество отключений, ед.	Количество отключений, %
1	Механическое воздействие атмосферных явлений	101	33,1
2	Нарушение электрической изоляции	79	25,9
3	Электродуговое повреждение	58	19,0
4	Нарушение эл. контакта, размыкание, обрыв цепи	19	6,2

Продолжение таблицы 2.6

№	Вид причины	Количество отключений, ед.	Количество отключений, %
5	Механическое воздействие сторонних лиц и организаций	11	3,6
6	Нарушение структуры материала в результате высыхания	6	2,0
7	Нарушение структуры материала в результате загнивания	6	2,0
8	Загрязнение посторонними предметами	6	2,0
9	Механический износ вследствие длительного срока эксплуатации (старения)	4	1,3
10	Нарушение структуры материала в результате длительной эксплуатации	3	1,0
11	Механическое воздействие в результате сдавливания или вытягивания	3	1,0
12	Нарушение структуры материала в результате ультрафиолетового излучения	3	1,0
13	Механическое воздействие при падении деревьев, веток	1	0,3
14	Загрязнение продуктами жизнедеятельности птиц	1	0,3
15	Нарушение механического соединения в результате воздействия знакопеременных и (или) изгибающих нагрузок	1	0,3
16	Прочие механические воздействия	1	0,3
17	Термическое повреждение, перегрев, пережог	1	0,3
18	Механическое разрушение, деформация, перекося	1	0,3
19	Нарушение механического соединения в результате износа	0	0,0
20	Механический износ вследствие разрегулировки	0	0,0
21	Низовой пожар, приведший к пожару на объектах ЭСК	0	0,0

Окончание таблицы 2.6

№	Вид причины	Количество отключений, ед.	Количество отключений, %
22	Механический износ вследствие длительного срока эксплуатации (старения). Загрязнение продуктами жизнедеятельности птиц	0	0,0
23	Механический износ вследствие прочих причин	0	0,0
24	Механическое воздействие атмосферных явлений. Истощение ресурса	0	0,0
25	Нарушение механического соединения в результате дефекта изготовления	0	0,0
26	Нарушение механического соединения в результате перегрузки	0	0,0
27	Нарушение структуры материала в результате высыхания. Электродуговое повреждение	0	0,0
28	Нарушение структуры материала в результате длительной эксплуатации. Нарушение эл. контакта, замыкание, обрыв цепи	0	0,0
29	Нарушение структуры материала в результате прочих воздействий	0	0,0
30	Нарушение электрической изоляции. Истощение ресурса	0	0,0
31	Электродуговое повреждение. Нарушение эл. контакта, замыкание, обрыв цепи	0	0,0
32	Электродуговое повреждение. Нарушение электрической изоляции	0	0,0
Итого		305	100

Наибольшее количество аварийных отключений за 2021 г. происходит из-за механического воздействия атмосферных явлений, 101 (33,1 %).

Анализ влияния каждого фактора позволил построить диаграмму процентного распределения относительного общего числа случаев (рис. 2.9).

Важно отметить, что в этой диаграмме учитывались также причины отключений, которые составляли менее 1% от общего числа аварийных ситуаций за 2021 г.



Рисунок 2.9 – Распределение аварийных отключений относительно технических причин за 2021 г.

2.5 Анализ аварийных ситуаций на ВЛ 6-35 кВ за 2022 год

Во время изучения представленной информации была построена диаграмма, отображающая частоту отключений в течение 2022 года (рис. 2.10). Этот график позволил выявить сезонные колебания в аварийных ситуациях и их влияние на электросети. Представленный анализ помогает лучше понять динамику отключений и выделить особенности работы электросетей в разные времена года.

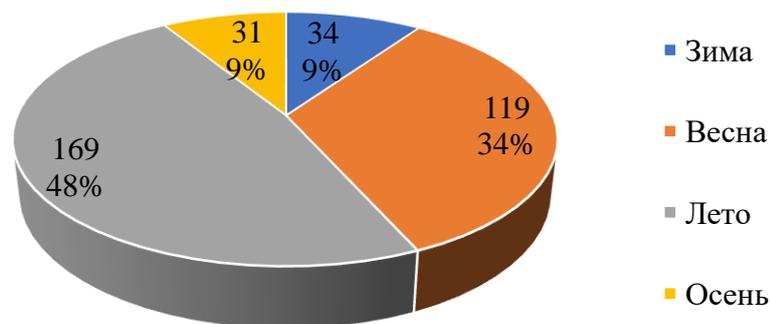


Рисунок 2.10 – Распределение аварийных отключений относительно технических причин за 2022 г.

Наибольший процент отключений приходится на летний период (169 случая из 353 (48%)), наименьший – на осенний и зимний периоды, 31 и 34 случая соответственно (по 9% каждый).

В таблице 2.7 представлены данные распределения числа отключений по видам технических причинам за 2022 г.

Таблица 2.7 – Состав технических причин относительно количества отключений 2022 г.

№	Вид причины	Количество отключений, ед.	Количество отключений, %
1	Нарушение электрической изоляции	111	31,4
2	Механическое воздействие атмосферных явлений	102	28,9
3	Электродуговое повреждение	36	10,2
4	Нарушение эл. контакта, размыкание, обрыв цепи	30	8,5
5	Нарушение структуры материала в результате высыхания	13	3,7
6	Механическое воздействие при падении деревьев, веток	11	3,1
7	Нарушение структуры материала в результате длительной эксплуатации	8	2,3
8	Механическое воздействие сторонних лиц и организаций	6	1,7

Продолжение таблицы 2.7

№	Вид причины	Количество отключений, ед.	Количество отключений, %
9	Загрязнение посторонними предметами	6	1,7
10	Загрязнение продуктами жизнедеятельности птиц	5	1,4
11	Механический износ вследствие длительного срока эксплуатации (старения)	5	1,4
12	Нарушение механического соединения в результате воздействия знакопеременных и (или) изгибающих нагрузок	5	1,4
13	Нарушение структуры материала в результате загнивания	4	1,1
14	Механическое воздействие в результате сдавливания или вытягивания	3	0,8
15	Нарушение механического соединения в результате износа	2	0,6
16	Низовой пожар, приведший к пожару на объектах ЭСК	2	0,6
17	Термическое повреждение, перегрев, пережог	1	0,3
18	Механическое воздействие атмосферных явлений. Исчерпание ресурса	1	0,3
19	Нарушение электрической изоляции. Исчерпание ресурса	1	0,3
20	Электродуговое повреждение. Нарушение электрической изоляции	1	0,3
21	Прочие механические воздействия	0	0,0
22	Механическое разрушение, деформация, перекося	0	0,0
23	Нарушение структуры материала в результате ультрафиолетового излучения	0	0,0
24	Механический износ вследствие разрегулировки	0	0,0
25	Механический износ вследствие длительного срока эксплуатации (старения). Загрязнение продуктами жизнедеятельности птиц	0	0,0
26	Механический износ вследствие прочих причин	0	0,0

Окончание таблицы 2.7

№	Вид причины	Количество отключений, ед.	Количество отключений, %
27	Нарушение механического соединения в результате дефекта изготовления	0	0,0
28	Нарушение механического соединения в результате перегрузки	0	0,0
29	Нарушение структуры материала в результате высыхания. Электродуговое повреждение	0	0,0
30	Нарушение структуры материала в результате длительной эксплуатации. Нарушение эл. контакта, замыкание, обрыв цепи	0	0,0
31	Нарушение структуры материала в результате прочих воздействий	0	0,0
32	Электродуговое повреждение. Нарушение эл. контакта, замыкание, обрыв цепи	0	0,0
Итого		353	100

Наибольшее количество аварийных отключений за 2022 г. происходит из-за нарушения электрической изоляции, 111 (31,4 %).

Анализ влияния каждого фактора позволил построить диаграмму процентного распределения относительного общего числа случаев (рис. 2.11). Важно отметить, что в этой диаграмме учитывались также другие причины отключений, которые составляли менее 1% от общего числа аварийных ситуаций за рассматриваемый период. Это позволило получить более полное представление о структуре и распределении причин отключений в электросетях.



Рисунок 2.11 – Распределение аварийных отключений относительно технических причин за 2022 г.

2.6 Анализ аварийных ситуаций на ВЛ 6-35 кВ за 2023 год

Во время изучения представленной информации была построена диаграмма, отображающая частоту отключений в течение 2023 года (рис. 2.12). Этот график позволил выявить сезонные колебания в аварийных ситуациях и их влияние на электросети. Представленный анализ помогает лучше понять динамику отключений и выделить особенности работы электросетей в разные времена года.

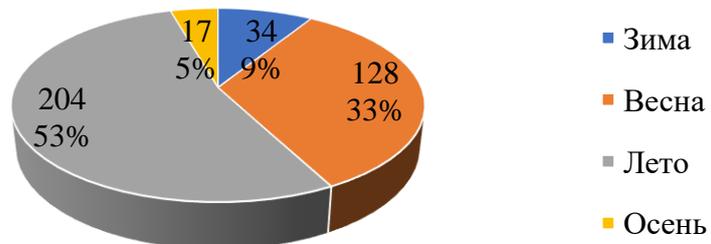


Рисунок 2.12 – Распределение аварийных отключений относительно технических причин за 2023 г.

Наибольший процент отключений приходится на летний период (204 случая из 383 (53%)), наименьший – на осенний период, 17 случаев (5%).

В таблице 2.8 представлены данные распределения числа отключений по видам технических причинам за 2023 г.

Таблица 2.8 – Состав технических причин относительно количества отключений 2023 г.

№	Вид причины	Количество отключений, ед.	Количество отключений, %
1	Механическое воздействие атмосферных явлений	115	30,0
2	Нарушение электрической изоляции	112	29,2
3	Электродуговое повреждение	61	15,9
4	Нарушение эл. контакта, размыкание, обрыв цепи	23	6,0
5	Механическое воздействие сторонних лиц и организаций	13	3,4
6	Нарушение структуры материала в результате высыхания	13	3,4
7	Загрязнение продуктами жизнедеятельности птиц	12	3,1
8	Нарушение структуры материала в результате загнивания	7	1,8
9	Загрязнение посторонними предметами	7	1,8
10	Нарушение структуры материала в результате длительной эксплуатации	6	1,6
11	Механическое воздействие при падении деревьев, веток	4	1,0
12	Механический износ вследствие длительного срока эксплуатации (старения)	2	0,5
13	Механическое разрушение, деформация, перекос	2	0,5
14	Нарушение механического соединения в результате воздействия знакопеременных и (или) изгибающих нагрузок	1	0,3
15	Механическое воздействие в результате сдавливания или вытягивания	1	0,3

Продолжение таблицы 2.8

№	Вид причины	Количество отключений, ед.	Количество отключений, %
16	Механический износ вследствие длительного срока эксплуатации (старения). Загрязнение продуктами жизнедеятельности птиц	1	0,3
17	Нарушение структуры материала в результате высыхания. Электродуговое повреждение	1	0,3
18	Нарушение структуры материала в результате длительной эксплуатации. Нарушение эл. контакта, замыкание, обрыв цепи	1	0,3
19	Электродуговое повреждение. Нарушение эл. контакта, замыкание, обрыв цепи	1	0,3
20	Прочие механические воздействия	0	0,0
21	Термическое повреждение, перегрев, пережог	0	0,0
22	Нарушение механического соединения при износе	0	0,0
23	Нарушение структуры материала в результате ультрафиолетового излучения	0	0,0
24	Механический износ вследствие разрегулировки	0	0,0
25	Низовой пожар, приведший к пожару на объектах	0	0,0
26	Механический износ вследствие прочих причин	0	0,0
27	Механическое воздействие атмосферных явлений. Истощение ресурса	0	0,0
28	Нарушение механического соединения в результате дефекта изготовления	0	0,0
29	Нарушение механического соединения в результате перегрузки	0	0,0
30	Нарушение структуры материала в результате прочих воздействий	0	0,0
31	Нарушение электрической изоляции. Истощение ресурса	0	0,0
32	Электродуговое повреждение. Нарушение электрической изоляции	0	0,0
Итого		383	100

Наибольшее количество аварийных отключений за 2023 г. происходит из-за механического воздействия атмосферных явлений, 115 (30,0 %).

Анализ влияния каждого фактора позволил построить диаграмму процентного распределения относительного общего числа случаев. Важно отметить, что в этой диаграмме учитывались также другие причины отключений, которые составляли менее 1% от общего числа аварийных ситуаций за рассматриваемый период. Это позволило получить более полное представление о структуре и распределении причин отключений в электросетях.



Рисунок 2.13 – Распределение аварийных отключений относительно технических причин за 2023 г.

Проведенный анализ статистических данных по причинам аварийных отключений на линиях напряжением 6-35 кВ за период 2019-2023 годов выявил такие факты как:

1) лето оказалось самым аварийным сезоном, что может быть связано с различными климатическими условиями и повышенной нагрузкой на электросети в этот период;

2) помимо механического воздействия атмосферных явлений, также выявлены проблемы с нарушением электрической изоляции как одной из основных причин аварийных отключений. Это подчеркивает важность тщательного контроля за состоянием оборудования.

2.7 Выявление наличия соответствия аварийных ситуаций на ВЛ 6-35 кВ закону нормального распределения

Закон нормального распределения или «закон распределения Гаусса» – статистический закон, описывающий частоту появления случайной величины. Его суть заключается в том, что значения случайной величины будут сгруппированы вокруг среднего значения, и чем дальше от среднего значения, тем меньше вероятность того, что такое значение появится.

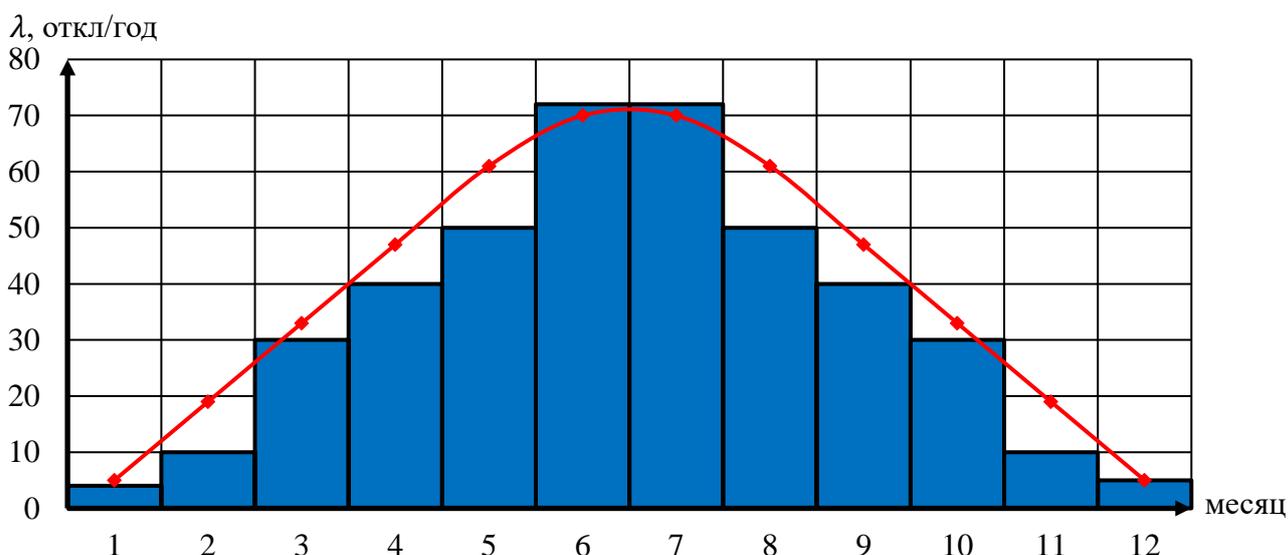


Рисунок 2.14 – Гистограмма нормального распределения

Рассмотрим на соответствие данного закона зависимость распределения количества отключений от месяца в период 2019-2023 гг.

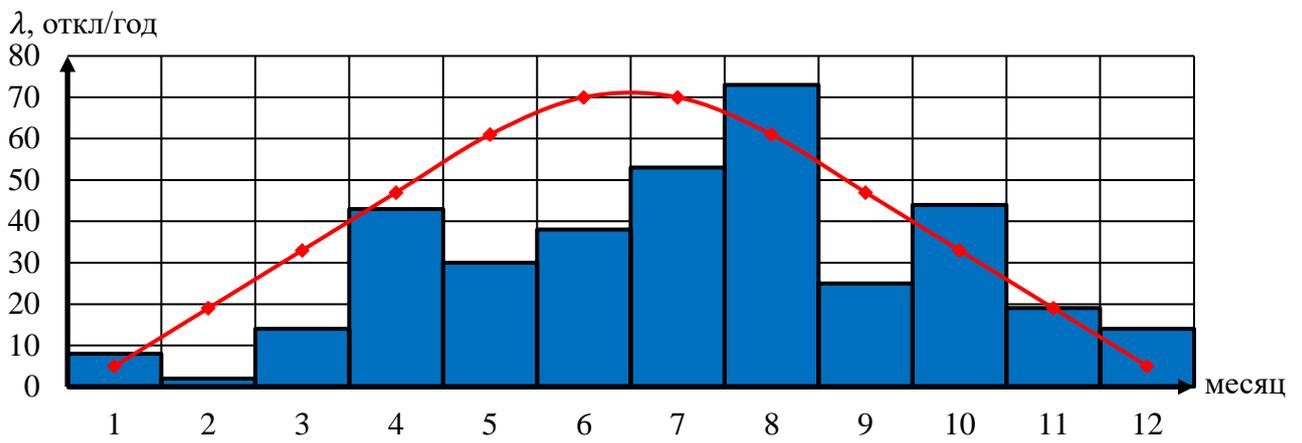


Рисунок 2.15 – Гистограмма распределения отключений за 2019 г.

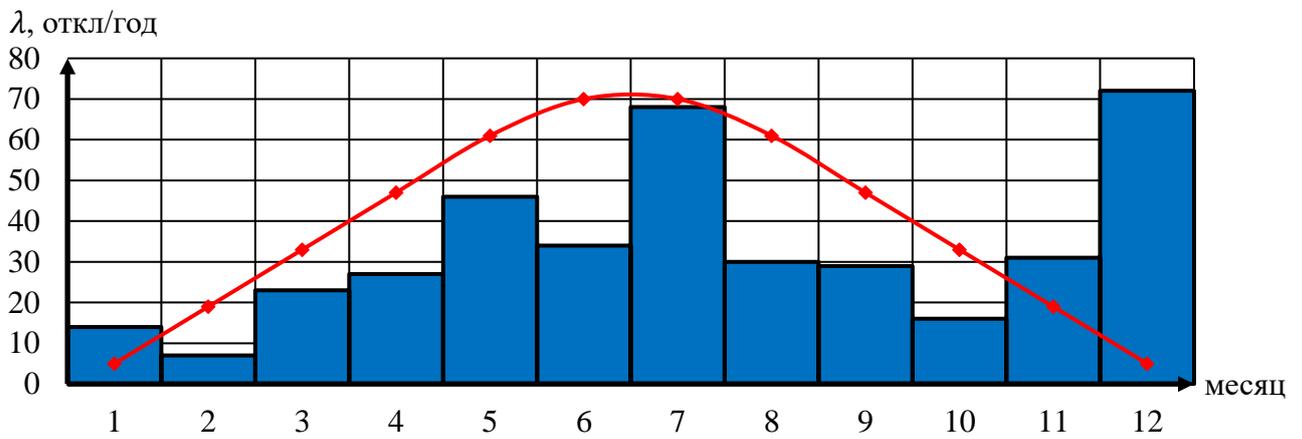


Рисунок 2.16 – Гистограмма распределения отключений за 2020 г.

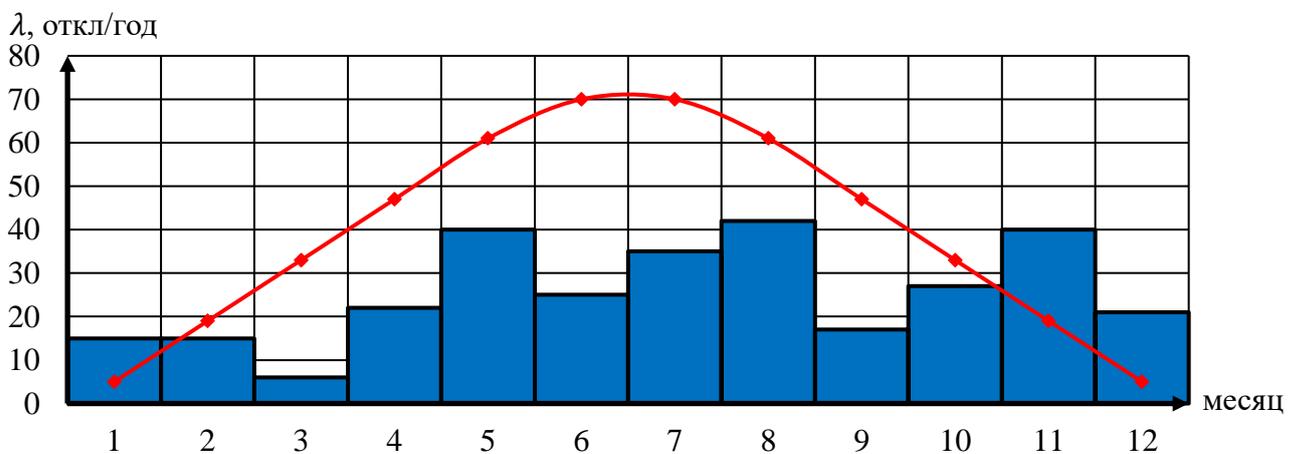


Рисунок 2.17 – Гистограмма распределения отключений за 2021 г.

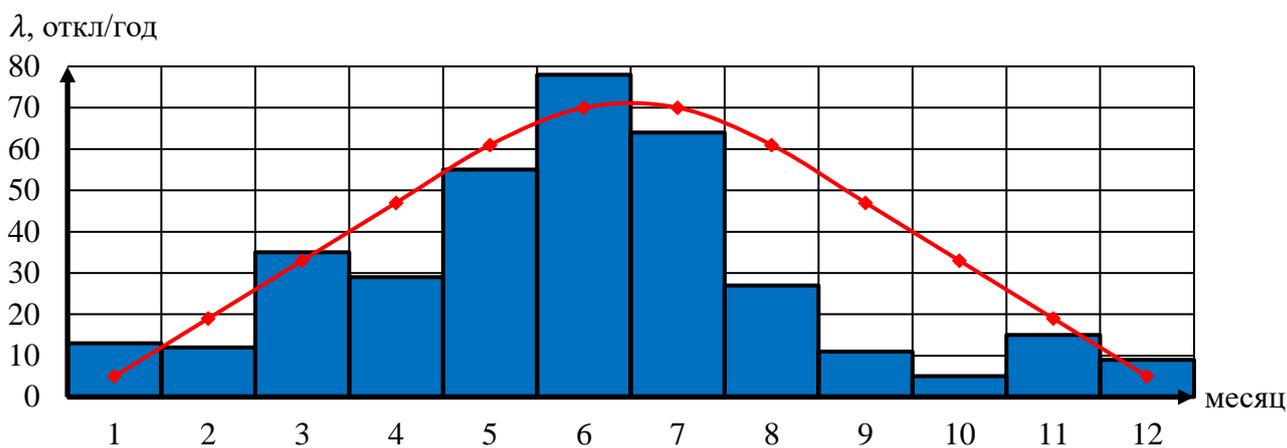


Рисунок 2.18 – Гистограмма распределения отключений за 2022 г.

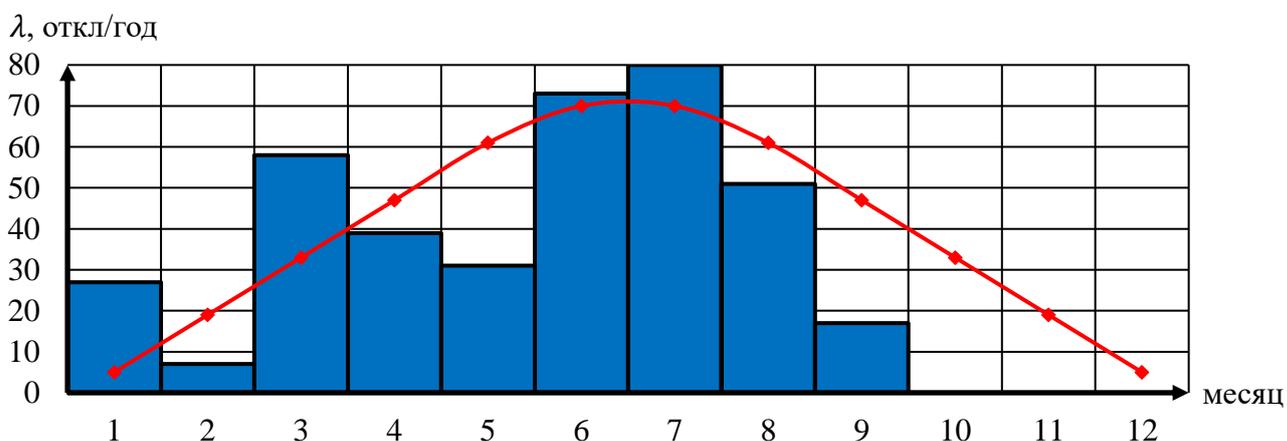


Рисунок 2.19 – Гистограмма распределения отключений за 2023 г.

Рассмотрев полученные зависимости, можно проследить, что величина отключений за рассматриваемый период случайна и не подчиняется закону нормального распределения, что не дает точного прогноза.

В таком случае рассмотрим факторы, влияющие на величину отключений, для этого выделим две основные группы:

- 1) факторы, зависящие от человека;
- 2) факторы, не зависящие от человека.

Представим полученные данные в виде таблиц (табл. 2.9, табл. 2.10).

Таблица 2.9 – Причины, зависящие от человеческого фактора, влияющие на величину отключений

Название	Количество, ед.
Механическое воздействие сторонних лиц и организаций	48
Нарушение структуры материала в результате высыхания	45
Нарушение структуры материала в результате длительной эксплуатации	28
Нарушение структуры материала в результате загнивания	26
Механический износ вследствие длительного срока эксплуатации (старения)	17
Прочие механические воздействия	11
Нарушение механического соединения в результате износа	6
Нарушение механического соединения в результате дефекта изготовления	1
Итого	182

Таблица 2.10 – Причины, не зависящие от человеческого фактора, влияющие на величину отключений

Название	Количество, ед.
Механическое воздействие атмосферных явлений	616
Нарушение электрической изоляции	479
Электродуговое повреждение	295
Нарушение эл. контакта, размыкание, обрыв цепи	116
Загрязнение посторонними предметами	23
Механическое воздействие при падении деревьев, веток	23
Загрязнение продуктами жизнедеятельности птиц	20
Нарушение механического соединения в результате воздействия знакопеременных и (или) изгибающих нагрузок	11
Механическое воздействие в результате сдавливания или вытягивания	9
Термическое повреждение, перегрев, пережог	9
Механическое разрушение, деформация, перекос	5

Окончание таблицы 2.10

Название	Количество, ед.
Нарушение структуры материала в результате ультрафиолетового излучения	3
Механический износ вследствие разрегулировки	2
Низовой пожар, приведший к пожару на объектах ЭСК	2
Механическое воздействие атмосферных явлений. Исчерпание ресурса	1
Нарушение механического соединения в результате перегрузки	1
Нарушение структуры материала в результате прочих воздействий	1
Нарушение электрической изоляции. Исчерпание ресурса	1
Электродуговое повреждение. Нарушение эл. контакта, размыкание, обрыв цепи	1
Электродуговое повреждение. Нарушение электрической изоляции	1
Итого	1619

Причины отключений ВЛ 6-35 кВ в большей степени не зависят от человеческого фактора. Следовательно, далее необходимо рассмотреть мероприятия по устранению наиболее частых причин отключения, которые не зависят от человеческого фактора.

3 Практическая часть

3.1 Мера неопределенности информации к оценке случайного поведения ВЛ

Электроснабжение – система, в которой взаимодействуют множество переменных и факторов, начиная от условий окружающей среды до технических параметров оборудования. При анализе динамики электрических систем нельзя полагаться исключительно на предсказуемость, так как они подвержены влиянию различных статистических данных, формируемых в результате разнообразных событий.

Используя разнообразные математические методы, мы можем извлечь ценные количественные сведения из этого массива данных, сопоставлять различные объекты и выявлять между ними важные взаимосвязи. Например, моделирование с использованием теории информационной энтропии позволяет оценить неопределенность информации и ее влияние на работу электрических сетей. Представление в виде формулы при условии $\sum_{i=1}^N p_i = 1$:

$$H = -\sum_{i=1}^N p_i \log p_i, \quad (5)$$

где N – количество рассматриваемых событий;

p_i – вероятность появления i -го события.

Используя ранее полученные данные, рассмотрим расчет общего количества отключений λ за 5 лет по каждому году в отдельности. Общее число отключений рассчитывается как сумма отключений от каждой i -й причины:

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_i. \quad (6)$$

Полученные данные представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Общее количество отключений оборудования за год

Элемент сети	2019 г	2020 г	2021 г	2022г	2023 г. (9 мес.)
ВЛ 6-35 кВ	363	397	305	353	383

Далее, используя рассчитанные величины, найдем вероятности отказов q_i и энтропию H_i :

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=2019}^{2023} \lambda_i = 1801. \quad (7)$$

$$q_{2019} = \frac{\lambda_{2019}}{\lambda_{\Sigma}} = \frac{363}{1801} = 0,202. \quad (8)$$

$$H_{2019} = -q_{2019} \cdot \log_2 q_{2019} = -0,202 \cdot \log_2 0,202 = 0,466. \quad (9)$$

$$q_{2020} = \frac{\lambda_{2020}}{\lambda_{\Sigma}} = \frac{397}{1081} = 0,220.$$

$$H_{2020} = -q_{2020} \cdot \log_2 q_{2020} = -0,220 \cdot \log_2 0,220 = 0,481.$$

$$q_{2021} = \frac{\lambda_{2021}}{\lambda_{\Sigma}} = \frac{305}{1801} = 0,169.$$

$$H_{2021} = -q_{2021} \cdot \log_2 q_{2021} = -0,169 \cdot \log_2 0,169 = 0,433.$$

$$q_{2022} = \frac{\lambda_{2022}}{\lambda_{\Sigma}} = \frac{353}{1801} = 0,196.$$

$$H_{2022} = -q_{2022} \cdot \log_2 q_{2022} = -0,196 \cdot \log_2 0,196 = 0,461.$$

$$q_{2023} = \frac{\lambda_{2023}}{\lambda_{\Sigma}} = \frac{383}{1801} = 0,213.$$

$$H_{2023} = -q_{2023} \cdot \log_2 q_{2023} = -0,213 \cdot \log_2 0,213 = 0,475.$$

Полученные показатели сведем в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Сводная таблица расчета вероятности отказа и энтропии для ВЛ 6-35 кВ

Год	2019	2020	2021	2022	2023 (9 мес.)
q_i	0,202	0,220	0,169	0,196	0,213
H_i	0,466	0,481	0,433	0,461	0,475

Используя статистические данные вероятностей отказа и энтропии относительно прошлых лет, появляется возможность осуществить прогноз поведения системы в будущем [7].

Необходимость прогнозирования данного параметра в электрических системах вызвана перспективой снижения сбоев и аварий, а также потенциального простоя оборудования. К тому же, подобная статистика позволит обеспечить более надежную и безопасную работу системы, сделав ее более гибкой относительно различных факторов, влияющих на стабильность и надежность поставок электроэнергии.

Используя программный продукт SPSS Statistics мы имеем возможность подобрать наиболее подходящую модель прогнозирования.

Описание модели			
			Тип модели
ИД модели	VAR00003	Модель_1	Хольт

Рисунок 3.1 – Описание модели прогнозирования

Модель Хольта, использованная в данном случае, подходит для анализа временных рядов с линейным трендом и без сезонности. Ее параметры позволяют независимо сглаживать уровень и тренд данных. Модель

экспоненциального сглаживания Хольта является более универсальной по сравнению с моделью Брауна, но требует больше времени для обработки длинных рядов. Эта модель напоминает модель авторегрессии с двумя порядками дифференцирования и скользящим средним.

Анализ статистики модели позволяет сделать вывод о возможности прогнозирования по данным временного ряда.

Статистики модели						
Модель	Число предикторов	Статистики подгонки модели	Q-статистика Льюнга-Бокса (18)			Число выбросов
		Стационарный R-квадрат	Статистика	DF	Значимость	
VAR00003-Модель_1	0	,842	.	0	.	0

Рисунок 3.2 – Статистики модели Хольта

Значение Стационарный R-квадрат дает оценку доли общей вариации в ряду, которая объясняется данной моделью. Чем ближе это значение к 1 (максимум), тем согласие модели лучше. Полученное значение больше 0,8, что говорит о приемлемости модели Хольта для прогнозирования.

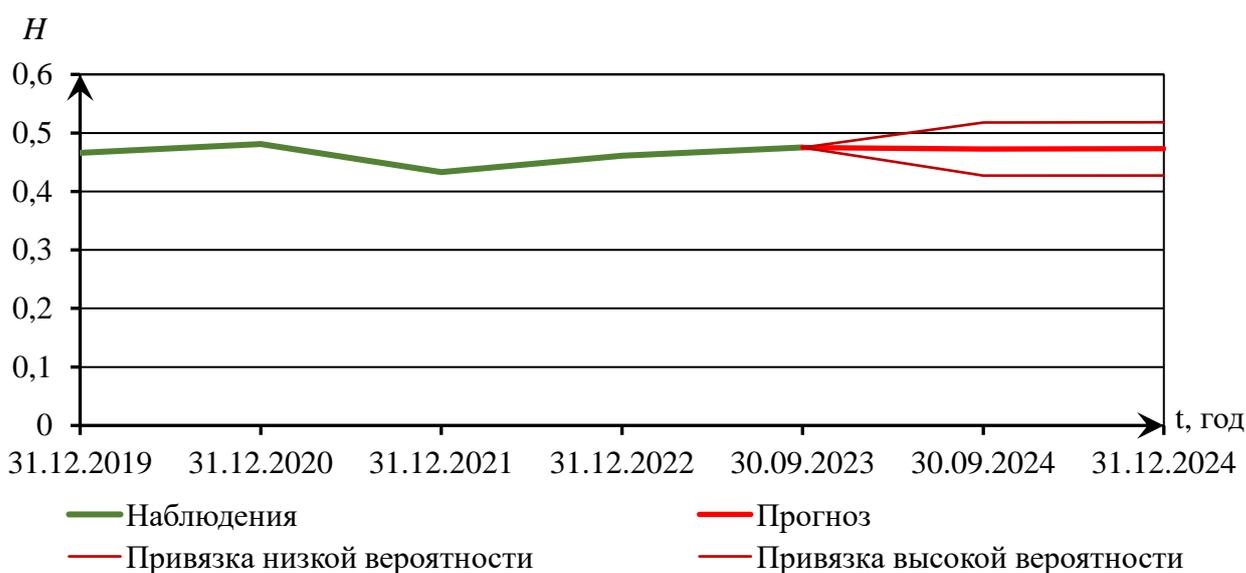


Рисунок 3.3 – Результат прогноза относительно энтропии H

3.2 Выявление экспоненциальной зависимости

Имея данные о суммарном количестве отключений за каждый год в период 2019-2023 гг. (таблица 3.1) рассчитаем среднее количество отключений относительно каждого года:

$$\lambda_{\text{ср}2019} = \frac{\lambda_{\Sigma 2019}}{12} = \frac{363}{12} = 30,25. \quad (10)$$

$$\lambda_{\text{ср}2020} = \frac{\lambda_{\Sigma 2020}}{12} = \frac{397}{12} = 33,08.$$

$$\lambda_{\text{ср}2021} = \frac{\lambda_{\Sigma 2021}}{12} = \frac{305}{12} = 25,42.$$

$$\lambda_{\text{ср}2022} = \frac{\lambda_{\Sigma 2022}}{12} = \frac{353}{12} = 29,42.$$

$$\lambda_{\text{ср}2023} = \frac{\lambda_{\Sigma 2023}}{12} = \frac{383}{12} = 31,92.$$

Полученный результаты сведем в таблицу 3.3 и построим график, представленный на рисунке 3.4.

Таблица 3.3 – Среднее количество отключений оборудования в год

Элемент сети	2019 г	2020 г	2021 г	2022г	2023 г. (9 мес.)
ВЛ 6-35 кВ	30,25	33,08	25,42	29,42	31,92

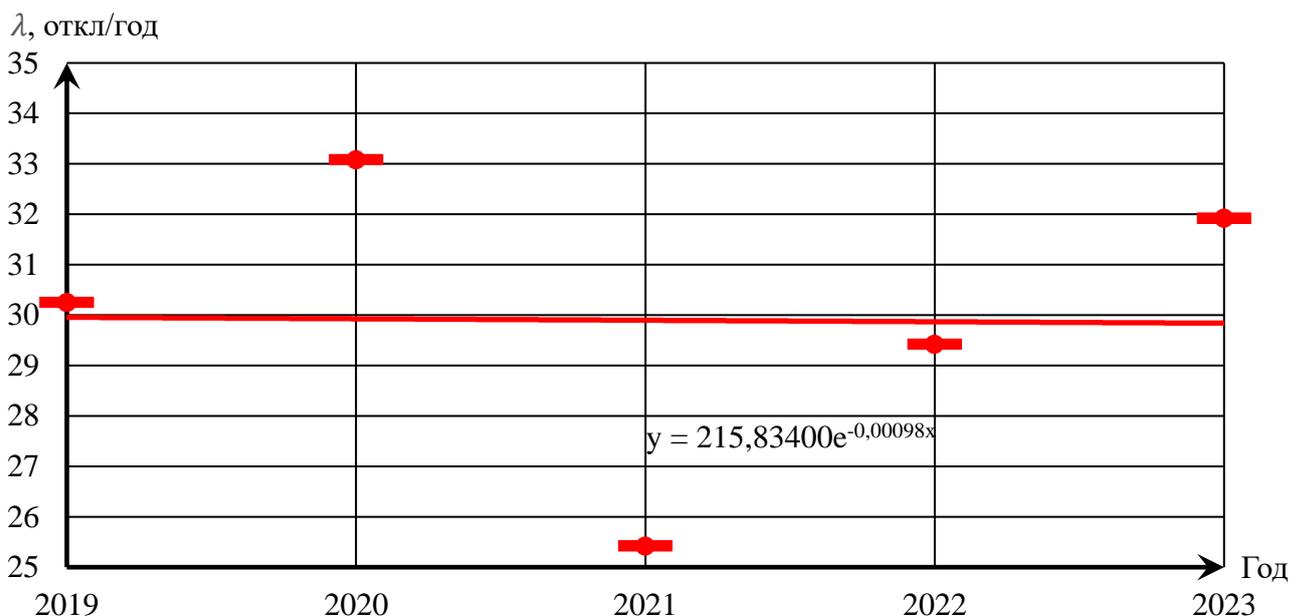


Рисунок 3.4 – Экспоненциальная кривая и ее уравнение

Исходя из полученных результатов частота отказов колеблется в некоторых пределах от средней величины за пять лет. Это свидетельствует о том, что уровень надежности постоянный, то есть отсутствуют тенденции роста частоты отказов системы электроснабжения.

Переходя от общего к частному, произведем те же расчеты относительно двух основных причин: механическое воздействие атмосферных явлений и нарушение электрической изоляции. Данные отключений в период 2019 – 2023 гг. представлены в таблицах 3.4 – 3.5.

Таблица 3.4 – Среднее количество отключений оборудования в год

Причина	2019 г	2020 г	2021 г	2022г	2023 г. (9 мес.)
Механическое воздействие атмосферных явлений	134	164	101	102	115

Таблица 3.5 – Среднее количество отключений оборудования в год

Причина	2019 г	2020 г	2021 г	2022г	2023 г. (9 мес.)
Нарушение электрической изоляции	89	88	79	111	112

Рассчитаем среднее количество отключений относительно каждого года для механического воздействия атмосферных явлений:

$$\lambda_{\text{ср.атм.2019}} = \frac{\lambda_{\Sigma\text{атм.2019}}}{12} = \frac{134}{12} = 11,17.$$

$$\lambda_{\text{ср.атм.2020}} = \frac{\lambda_{\Sigma\text{атм.2020}}}{12} = \frac{161}{12} = 13,42.$$

$$\lambda_{\text{ср.атм.2021}} = \frac{\lambda_{\Sigma\text{атм.2021}}}{12} = \frac{101}{12} = 8,43.$$

$$\lambda_{\text{ср.атм.2022}} = \frac{\lambda_{\Sigma\text{атм.2022}}}{12} = \frac{102}{12} = 8,5.$$

$$\lambda_{\text{ср.атм.2023}} = \frac{\lambda_{\Sigma\text{атм.2023}}}{12} = \frac{115}{12} = 9,58.$$

Полученные результаты сведем в таблицу 3.6 и построим график, представленный на рисунке 3.5.

Таблица 3.6 – Среднее количество отключений оборудования в год

Причина	2019 г	2020 г	2021 г	2022г	2023 г. (9 мес.)
Механическое воздействие атмосферных явлений	11,17	13,42	8,43	8,5	9,58

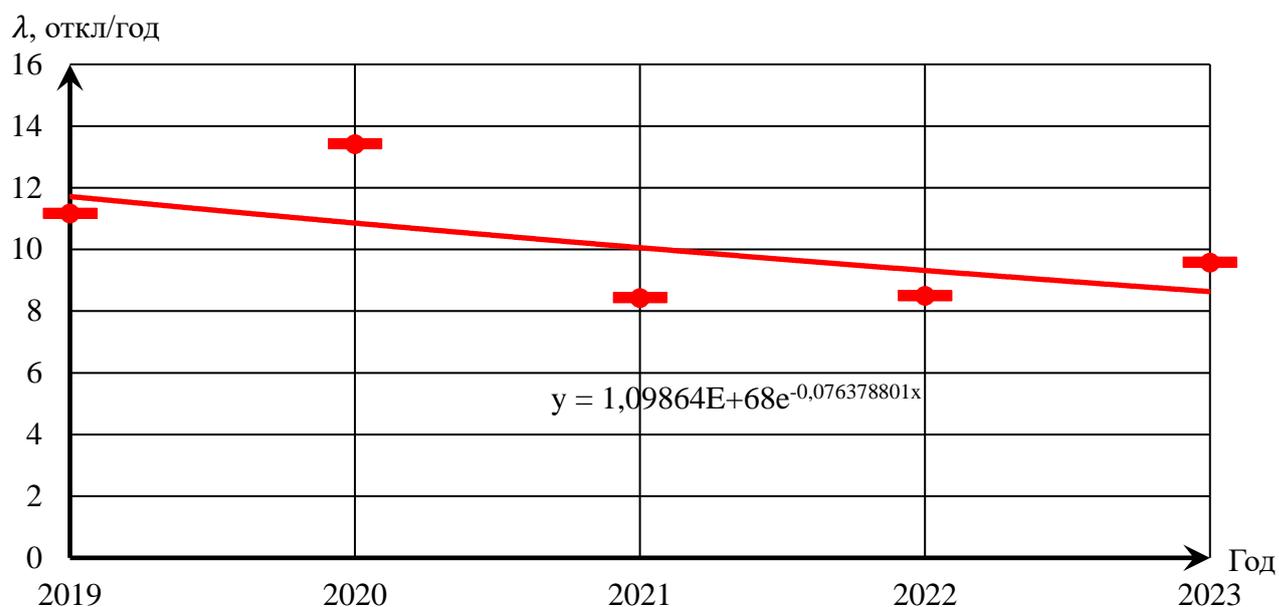


Рисунок 3.5 – Экспоненциальная кривая по причине «Механическое воздействие атмосферных явлений» и ее уравнение

Атмосферные явления связаны с природой, что не подчиняется управлению со стороны человека, тем не менее из рисунка видно, что тенденция изменения λ является результатом повышения надежности системы электроснабжения.

Рассчитаем среднее количество отключений относительно каждого года для нарушения электрической изоляции:

$$\lambda_{\text{ср.из.2019}} = \frac{\lambda_{\Sigma\text{из.2019}}}{12} = \frac{89}{12} = 7,42.$$

$$\lambda_{\text{ср.из.2020}} = \frac{\lambda_{\Sigma\text{из.2020}}}{12} = \frac{88}{12} = 7,33.$$

$$\lambda_{\text{ср.из.2021}} = \frac{\lambda_{\Sigma\text{из.2021}}}{12} = \frac{79}{12} = 6,58.$$

$$\lambda_{\text{ср.из.2022}} = \frac{\lambda_{\Sigma\text{из.2022}}}{12} = \frac{111}{12} = 9,25.$$

$$\lambda_{\text{ср.из.2023}} = \frac{\lambda_{\Sigma\text{из.2023}}}{12} = \frac{112}{12} = 9,33.$$

Полученный результаты сведем в таблицу 3.7 и построим график, представленный на рисунке 3.6.

Таблица 3.7 – Среднее количество отключений оборудования в год

Причина	2019 г	2020 г	2021 г	2022г	2023 г. (9 мес.)
Нарушение электрической изоляции	7,42	7,33	6,58	9,25	9,33

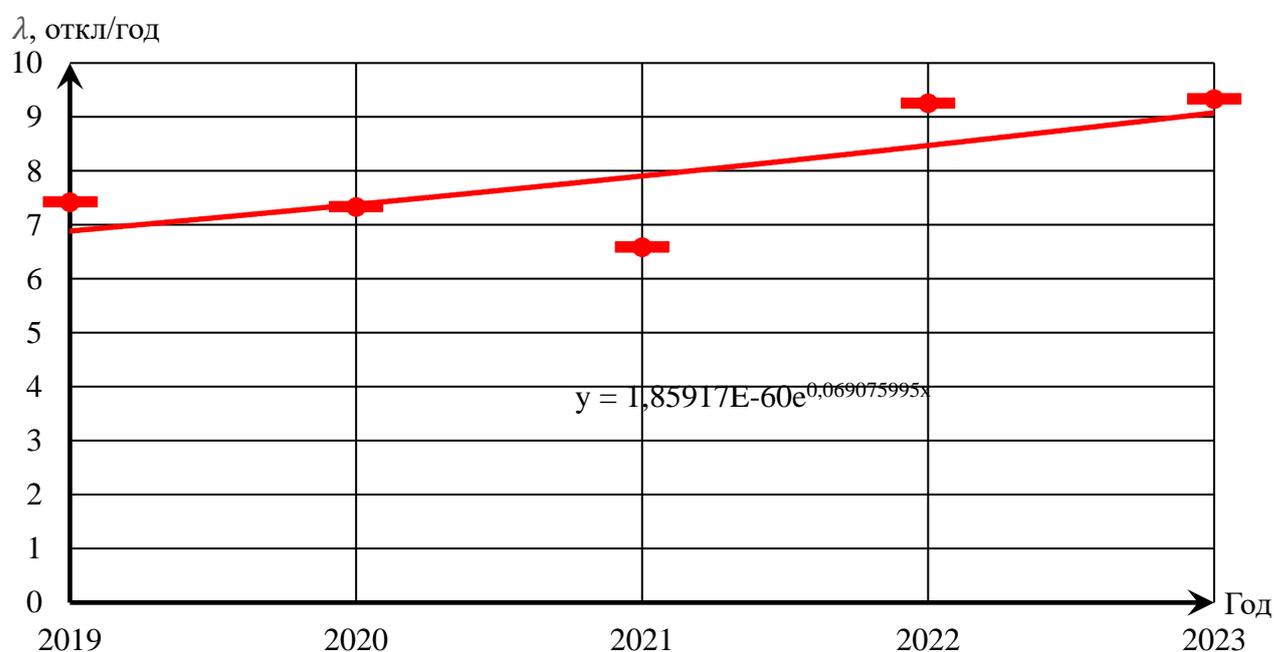


Рисунок 3.6 – Экспоненциальная кривая для причины «Нарушение электрической изоляции» и ее уравнение

Среднее количество отключений за 5 лет имеет тенденцию к незначительному росту, что объясняется медленным старением изоляции электрооборудования. Одним из мероприятий по устранению роста λ является своевременная замена системы изоляции.

3.3 Мероприятия и рекомендации по снижению риска возникновения аварийных ситуаций

К основным мероприятиям по снижению аварийности воздушных линий напряжением 6-35 кВ можно отнести следующее:

1) регулярное техническое обслуживание: проведение регулярных инспекций и технического обслуживания линий для выявления дефектов и предотвращения возможных аварий (Планово-предупредительный ремонт) [9];

2) мониторинг состояния линий: использование специализированных систем мониторинга для отслеживания параметров работы линий (температура, нагрузка, вибрация и др.);

Например, применение устройств УМЛ – устройство мониторинга параметров одной фазы ВЛ 6-35 кВ. Как правило, применяется группами, состоящими из 3 устройств на каждую фазу (А, В, С), с применением передающего сигнала устройством коммутационного шлюза (ШК). Размещается в узлах отпаяк ЛЭП с целью определения пути прохождения токов короткого замыкания. При обнаружении аварийной ситуации происходит активация устройств на всем пути протекания аварийного тока от питающего центра до места аварии [10].

3) использование современных материалов: замена устаревших материалов на более надежные и прочные, что уменьшит вероятность возникновения повреждений;

Важно отметить, что современные технологии, такие как самонесущие изолированные провода (СИП), играют ключевую роль в обеспечении надежности электроснабжения. Благодаря специальной конструкции и полимерной оболочке, они могут предотвратить нежелательные ситуации, такие как контакт птиц с токоведущими частями, что способствует снижению вероятности аварий и отключений. Также они уменьшают вероятность обрыва в следствии падения тяжелых предметов в связи с большой механической прочностью, исключает КЗ при падении веток, схлестывании проводов, а также

не боится гололеда и мокрого снега, так как последний в свою очередь не задерживается на поверхности провода [11].

4) обучение персонала: внедрение современных программ повышения квалификации для сотрудников по правилам эксплуатации и технике безопасности при работе с воздушными линиями;

Помимо теоретической базы, подразумевает также проведение практических занятий и учебных симуляций с целью закрепление полученных ранее знаний и навыков.

5) оптимизация конструкций линий: проектирование и строительство линий с учетом особенностей местности и климатических факторов, чтобы уменьшить риск повреждений;

Существующие климатические карты по количеству грозových часов за год, ветровой и гололедной нагрузке не отображают реальное положение дел, так как не учитывают тенденцию к изменению климата (проявление нехарактерных для конкретных регионов метеорологических явлений). Таким образом, базовым решением поставленного вопроса является: для новых проектируемых ЛЭП – пересмотр климатических карт, а для ныне существующих – усиление конструкции [12].

6) разработка планов аварийной готовности: создание планов действий в случае аварии, обучение персонала и проведение учебных симуляций для эффективного реагирования на чрезвычайные ситуации;

7) система мониторинга и анализа данных: внедрение системы сбора и анализа данных об авариях и инцидентах для выявления причин и разработки мер по их предотвращению в будущем [13].

В данном случае, система должна включать в себя анализ данных, позволяющий выявить повторяющиеся проблемы и тренды, способные привести к аварийным ситуациям, для дальнейшей разработки стратегии их предотвращения, системы автоматического управления, способные автоматически реагировать на потенциальные аварийные ситуации для предотвращения возможных отказов и визуализацию данных для персонала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения работы, посвященной анализу статистических данных и изучению причин отключений линий электропередачи напряжением 6-35 кВ филиала ПАО «Россети Сибирь» – «Хакасэнерго», были предложены мероприятия и рекомендации, направленные на снижение вероятности возникновения аварийных ситуаций.

Основными факторами, влияющими на отключения воздушных линий 6-35 кВ, являются неблагоприятные погодные условия и износ оборудования. Путем анализа информационной энтропии и построения экспоненциальных кривых для различных групп причин можно разработать эффективные стратегии по улучшению надежности сетей электропередачи.

Результаты исследования были представлены на международной конференции «Перспектив Свободный – 2024, где работа была награждена дипломом лауреата (II место) в секции «Интеллектуальные энергетические системы в промышленности и на транспорте» и международной научно-практической конференции «МИРОВЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ: СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ, РИСКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ» в секции «Технические науки и разработки».

Так же они были опубликованы в виде доклада «Анализ причин аварийности ЛЭП 6-35 кВ в Республике Хакасия» в сборнике «МИРОВЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ: СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ, РИСКИ, ПЕРСПЕКТИВЫ: материалы XIV Международной научно-практической конференции» – Ставрополь: Издательство ПАРАГРАФ, 2023. – 290 с.

Помимо этого, рекомендованы к публикации в виде доклада «Анализ причин непреднамеренных отключений ЛЭП 6-35 кВ» в сборнике «ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ – 2024. Материалы XX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Российская Федерация. Приказ. Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок. Правила организации техобслуживания и ремонта объектов электроэнергетики : Приказ № 1013 : [принят министерством энергетики 25 октября 2017 года]. – М., 2017. – 343 с.

2. ГОСТ Р 27.102-2021 «Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения» – Введ. 01.01.2022 – М.: ЗАО «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем», 2021 – 46 с.

3. Токликшвили А. Г. Надежность технических систем и техногенный риск: Учебное пособие. – Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2019. – 65 с.

4. Дулесова Н. В., Чаптыкова И. А. Анализ причин аварийности ЛЭП 6-35 кВ в Республике Хакасия // Мировые научные исследования и разработки: современные достижения, риски, перспективы. 2023. С. 207–209.

5. Загрязнение электрической изоляции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=587863> (дата обращения 15.05.2024 г.)

6. Скорость и сила ветра [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kakras.ru/interesn/wind.htm7> (дата обращения 15.05.2024 г.)

7. Информационная энтропия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Информационная_энтропия (дата обращения 15.05.2024 г.)

8. ГОСТ Р 51901.16-2017 «Повышение надежности. Статистические критерии и методы оценки» - Введ. 12.09.2017 – М.: ЗАО «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем», 2017 – 45 с.

9. Планово-предупредительный ремонт оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.galaktika.ru/eam/planovopredupreditelnyj-remont-oborudovaniya.html> (дата обращения 15.05.2024 г.)
10. Система дистанционного оперативного мониторинга состояния воздушных линий электропередачи – 6-35 кВ – «УМЛ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rossetivolga.ru/> (дата обращения 15.05.2024 г.)
11. Бояринов, Е. Самонесущие изолированные провода (СИП), устройство и особенности применения / Е. Бояринов // Вестник науки. Электротехника, электронная техника, информационные технологии. – 2023. – Т. 5, № 62. – С. 1032-1034.
12. Климатические условия и нагрузки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://almih.narod.ru/lib-en/pue.html> (дата обращения 15.05.2024 г.)
13. Савина Н. В. Надежность систем электроэнергетики: Учеб. пособие. – Благовещенск: Амурский государственный университет, 2014. – 268 с.
14. Классификация и характеристики отказов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/6302905/> (дата обращения 15.05.2024 г.)
15. О повышении надежности электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sinp.com.ua/work/625901/> (дата обращения 15.05.2024 г.)
16. Роза ветров Хакасии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kakras.ru/interesn/roza_wind.htm (дата обращения 15.05.2024 г.)
17. Воздушные линии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2014/88/06.php> (дата обращения 15.05.2024 г.)
18. Кабашов, В. Ю. Исследование причин аварийных отключений сельских ВЛ 6-10 кВ / В. Ю. Кабашов // Инновационная наука. Прочие технологии – 2017. – Т. 3, №4. – С. 70-74.
19. Планово-предупредительный ремонт оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.galaktika.ru/eam/planovopredupreditelnyj-remont-oborudovaniya.html> (дата обращения 15.05.2024 г.)

20. Хабрат, А. Р. Анализ аварийности в сетях среднего напряжения филиала «Янтарьэнерго». Западные электрические сети / А. Р. Хабрат, А. Ю. Никишин // Вестник молодежной науки. Электротехника, электронная техника, информационные технологии. – 2019. – Т. 2, № 19. – С. 113-120.

21. Елизарьев, А.Ю. Обеспечение надежности работы воздушных линий электропередачи в условиях гололедных нагрузок : специальность 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергетические системы» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Елизарьев Артем Юрьевич ; Уфимский государственный авиационный технических университет. – Уфа, 2017. – 184 с.

22. Энергетическая стратегия Российской Федерации до 2035 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://static.government.ru> (дата обращения 15.05.2024 г.)

23. Краткая характеристика развития электрических сетей и систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elektro-dox.ru/proekt/2.html> (дата обращения 15.05.2024 г.)

24. Правила устройства электроустановок. Издание 7 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://zazemlidom.ru/wp-content/ПУЭ-7.pdf> (дата обращения 15.05.2024 г.)

25. Птицезащитные устройства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rrrcn.ru/ru/electrocutions/bpd> (дата обращения 15.05.2024 г.)

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
институт

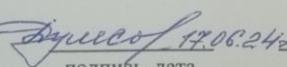
«Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
 А.С.Торопов
подпись инициалы, фамилия
« 18 » 06 2024 г.

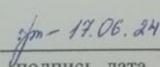
БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника
код – наименование направления

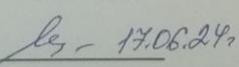
Анализ аварийных ситуаций в распределительных сетях
филиала ПАО «Россети Сибирь» - «Хакасэнерго»
тема

Руководитель  17.06.24 доцент, к.э.н.
подпись, дата должность, ученая степень

Н.В. Дулесова
инициалы, фамилия

Выпускник  17.06.24
подпись, дата

И.А. Чаптыкова
инициалы, фамилия

Нормоконтролер  17.06.24
подпись, дата

И.А. Кычакова
инициалы, фамилия